

A person is shown from the side, wearing a VR headset. The background is a blue, futuristic scene with glowing molecular structures and a grid pattern. The word "Нанотехнологии" is written in large, blue, stylized letters across the center of the image.

# Нанотехнологии

The background image is a digital illustration of a futuristic city. It features several tall, slender, blue and white towers. In the center, there is a large, complex structure that looks like a space station or a large robot, with many smaller components. The scene is viewed through a window with a grid pattern, and there are raindrops falling on the glass. The overall color scheme is blue and white, with some yellow and orange accents.

«Нанотехнологии - это ворота,  
открывающиеся в иной мир».

Рита Колвелл



# Содержание:

- История нанотехнологии
- Нано - книги
- Нано - журналы
- Internet - ресурсы
- Диски

## Обозначения отделов библиотеки:

**АУЛ** – абонемент учебной литературы (ауд. 1102)

**АНЛ** – абонемент научной литературы (ауд. 1109)

**АБХТФ** – абонемент химико-технологического факультета  
(ауд. 5119а)

**ЧЗГиЕН** – читальный зал гуманитарных и естественных наук  
(ауд. 5119)

**ЧЗТН** – читальный зал технических наук (ауд. 1202)

**ЧЗС** – читальный зал стандартов (ауд. 3210)

**СИЦ** – справочно-информационный центр (ауд. 1211)

**КХР** – отдел книгохранения (ауд. 1109, 1202)

# История нанотехнологии



Демокрит

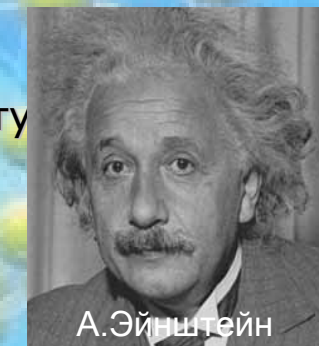
Отцом нанотехнологии можно считать греческого философа **Демокрита**. Примерно в **400 г. до н.э.** он впервые использовал слово «атом», что в переводе с греческого означает «нераскалываемый», для описания самой малой частицы вещества.



Д.Истмэн

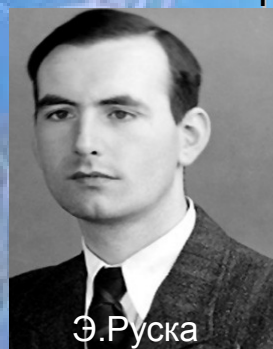
Вероятно впервые в современной истории нанотехнологический прорыв был достигнут американским изобретателем **Джорджем Истмэном** (впоследствии основал известную компанию Kodak), который изготовил фотопленку (это произошло в **1883** году).

**1905 год.** Швейцарский физик **Альберт Эйнштейн** опубликовал работу в которой доказывал, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нанометр.



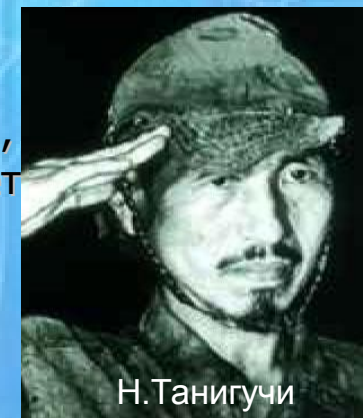
А.Эйнштейн

**1931 год.** Немецкие физики **Макс Кнолл** и **Эрнст Руска** создали электронный микроскоп, который впервые позволил исследовать нанообъекты.



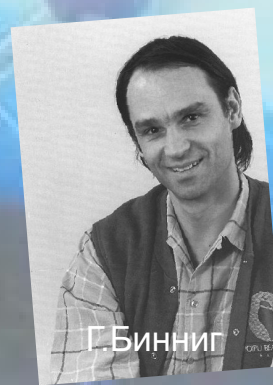
Э.Руска

**1974 год.** Японский физик **Норио Танигучи** ввел в научный оборот слово «нанотехнологии», которым предложил называть механизмы, размером менее одного микрона. Греческое слово «нанос» означает «гном», им обозначают биллионные части целого.



Н.Танигучи

**1981 год.** Германские физики **Герд Бинниг** и **Генрих Рорер** создали микроскоп, способный показывать отдельные атомы.



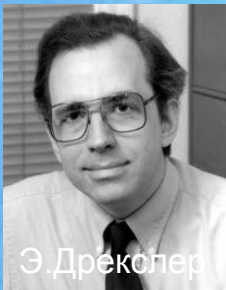
Г.Бинниг



Г.Рорер



**1985 год.** Американские физики **Роберт Керл**, **Хэрольд Крото** и **Ричард Смэйли** создали технологию, позволяющую точно измерять предметы, диаметром в один нанометр.



**1986 год.** Нанотехнология стала известна широкой публике. Американский футуролог **Эрик Дрекслер** опубликовал книгу, в которой предсказывал, что нанотехнология в скором времени начнет активно развиваться.

**1993 год.** В США начали присуждать Фейнмановскую Премию, которая названа в честь физика **Ричарда Фейнмана**, который в **1959 году** Произнес пророческую речь, в которой заявил, что многие научные проблемы будут решены лишь тогда, когда ученые научатся работать на атомарном уровне. В **1965 году** Фейнману была присуждена Нобелевская премия за исследования в сфере квантовой электродинамики - ныне это одна из областей наноауки.



Р.Керл и Х.Крото



Д.Тур

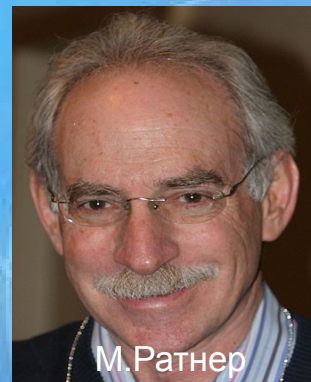
**1999 год.** Американские физики **Джеймс Тур** и **Марк Рид** определили, что отдельная молекула способна вести себя также, как молекулярные цепочки



Р.Фейнман

**2000 год.** Администрация США поддержала создание Национальной Инициативы в Области Нанотехнологии. Нанотехнологические исследования получили государственное финансирование.

**2001 год** - **Марк Ратнер**, автор книги «Нанотехнологии: Введение в Новую Большую Идею», считает, что нанотехнологии стали частью жизни человечества именно в 2001 году. Тогда произошли два знаковых события: влиятельный научный журнал Science назвал нанотехнологии – «прорывом года», а влиятельный бизнес-журнал Forbes – «новой многообещающей идеей». Ныне по отношению к нанотехнологиям периодически употребляют выражение «новая промышленная революция».



М.Ратнер

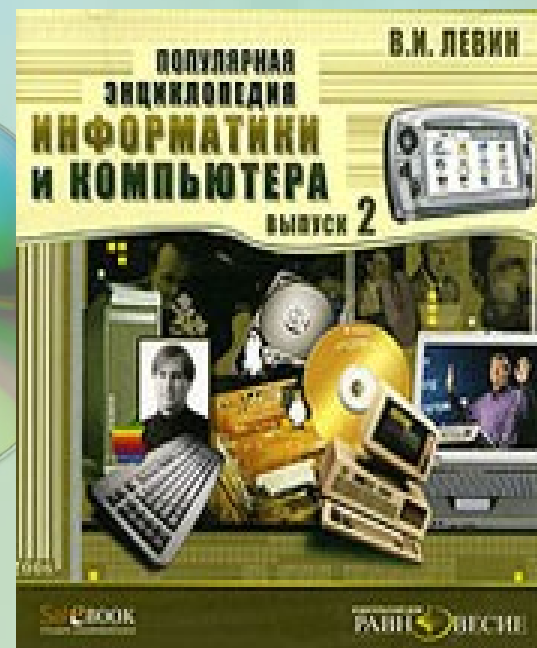
# Internet - ресурсы:

- @ Журнал «Российские нанотехнологии» - <http://nanoru.ru/>
- @ Информационный бюллетень Перст - <http://perst.issp.ras.ru/>
- @ Нанометр.ру Нанотехнологическое сообщество - <http://www.nanometer.ru/>
- @ Наука и технологии России - <http://www.strf.ru/>
- @ Научная электронная библиотека – диссертации, авторефераты, научные статьи - <http://www.scholar.ru>
- @ Научно-популярный сайт о нанотехнологиях «Что могут нанотехнологии?» - <http://kbogdanov5.narod.ru/>
- @ Официальный форум потребителей нанотоваров и наноуслуг - <http://nanoware.ru>
- @ Российская корпорация нанотехнологий - <http://www.rusnano.com/Home.aspx>
- @ Российский электронный наножурнал (нанотехнологии и их применение) - <http://www.nanojournal.ru/>
- @ Сайт о нанотехнологиях № 1 в России - <http://www.nanonewsnet.ru/>
- @ Федеральный Интернет-портал Нанотехнологии и Наноматериалы - <http://portalnano.ru/>



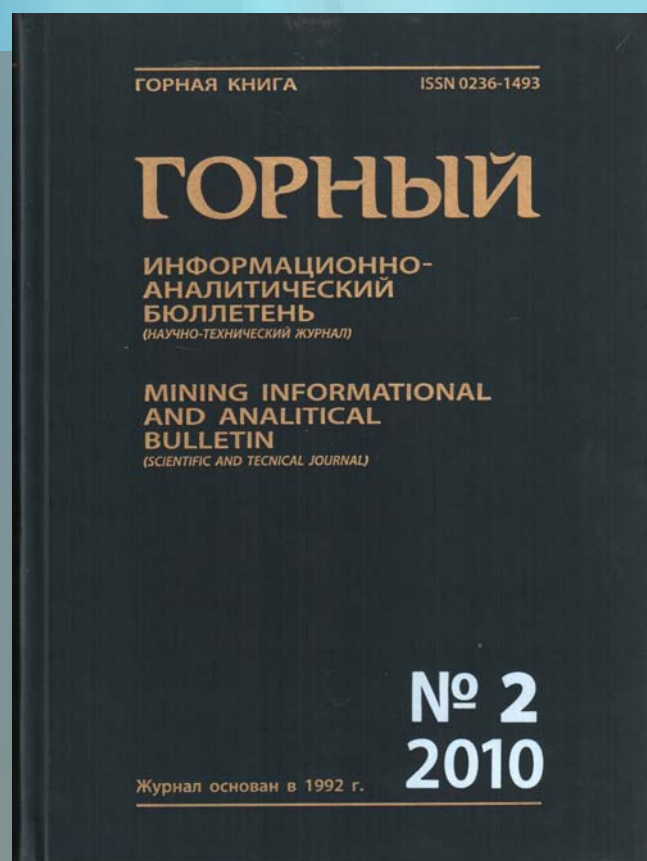


Левин, В. И. Популярная энциклопедия  
информатики и компьютера . вып.2  
[Электронный ресурс]. - М. : Равновесие , 2006





# «ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ»



2008

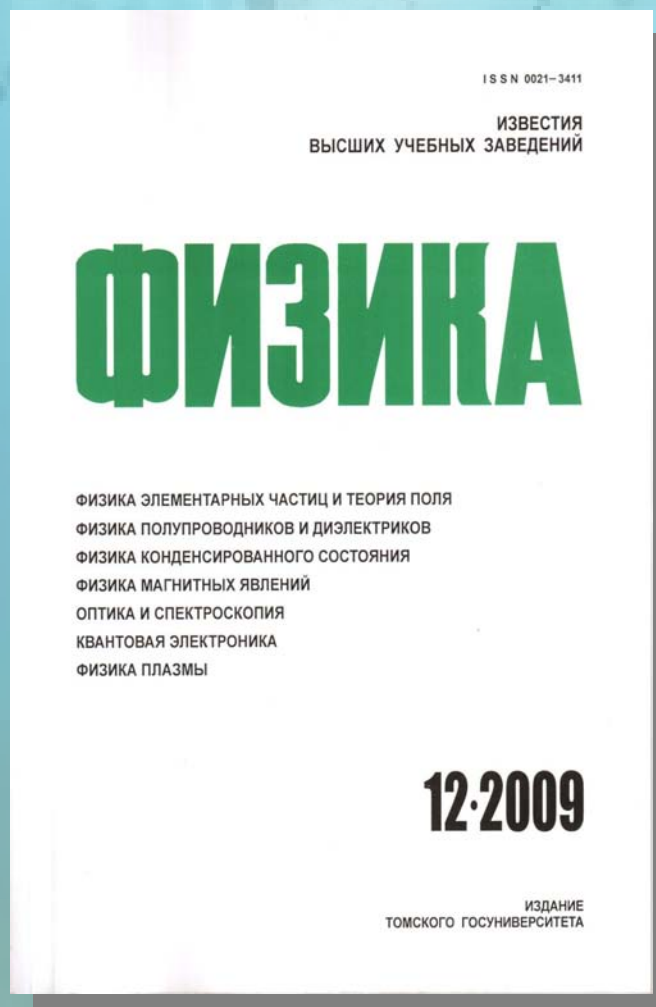
2010

# «ДЕЛОВОЙ КУЗБАСС»

2009



# «ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ФИЗИКА»



2006

2007

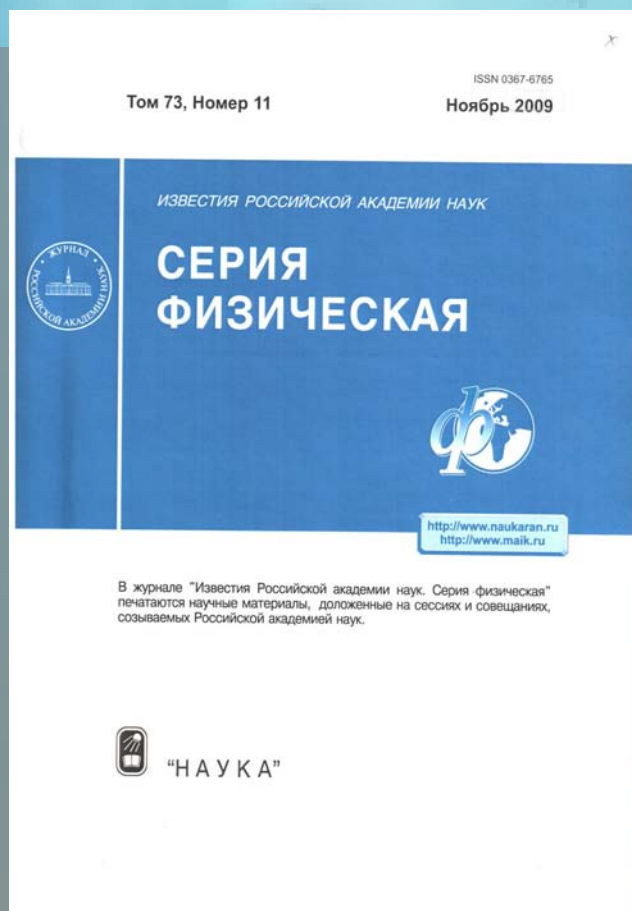
2008

2009

2010



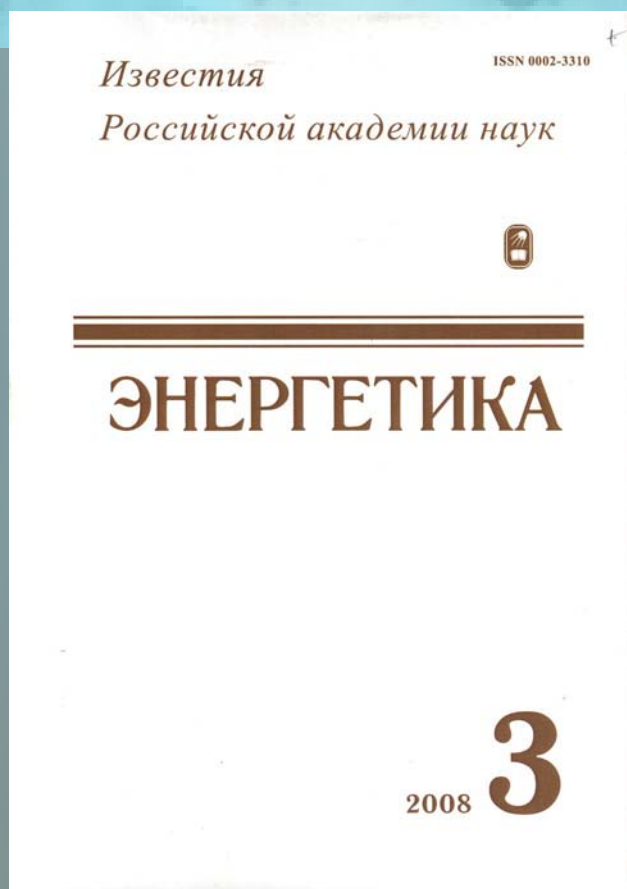
# «ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ»



2008

2009

# «ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. ЭНЕРГЕТИКА»



2008

# «ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ»



2007

2008

2009

2010

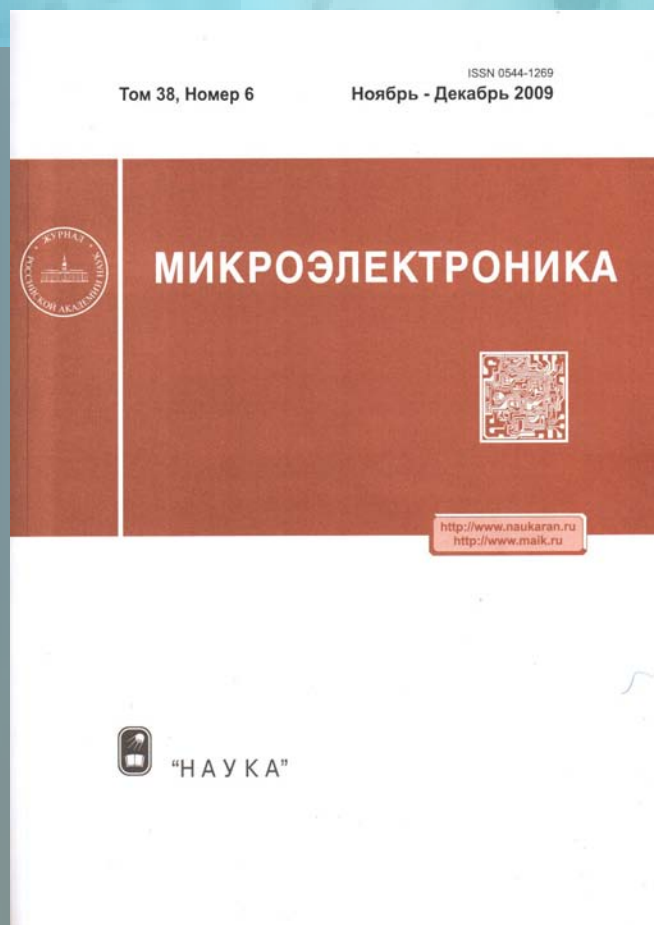


# «МАШИНОСТРОИТЕЛЬ»



2010

# «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»



2007

2008

2009

# «УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОКРЫТИЯ»



2008

2009

2010

# «ФИЗИКА ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА»



2007

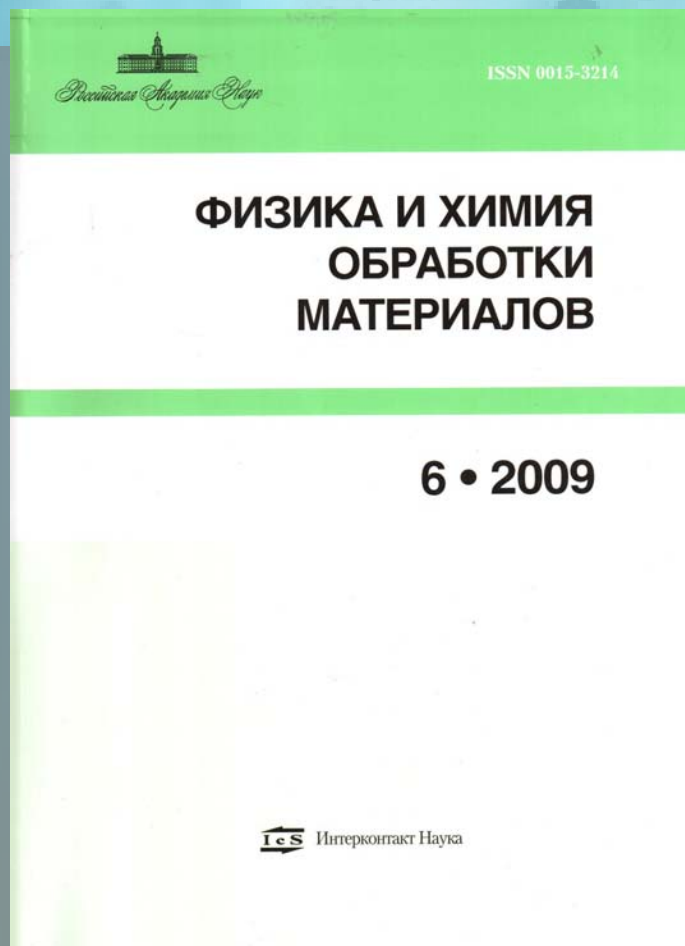
2008

2009

2010



# «ФИЗИКА И ХИМИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»



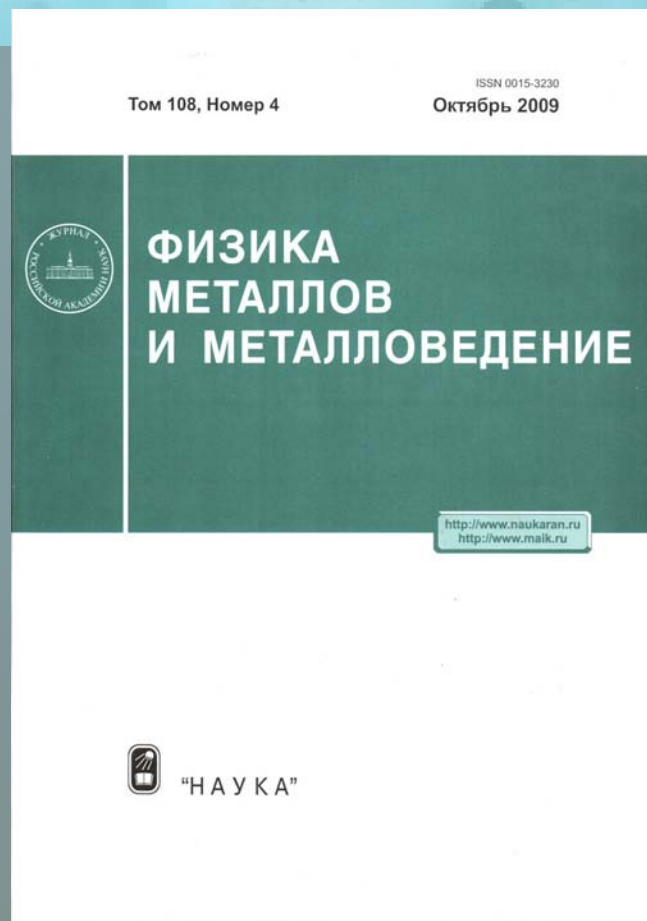
2006

2007

2008

2009

# «ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ»

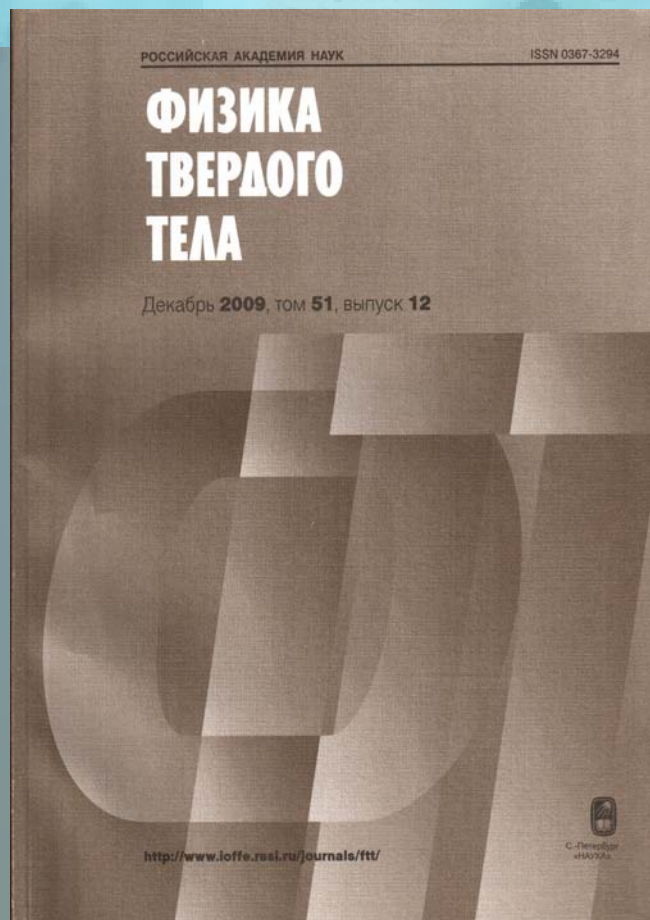


2007

2008

2009

# «ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА»



2006

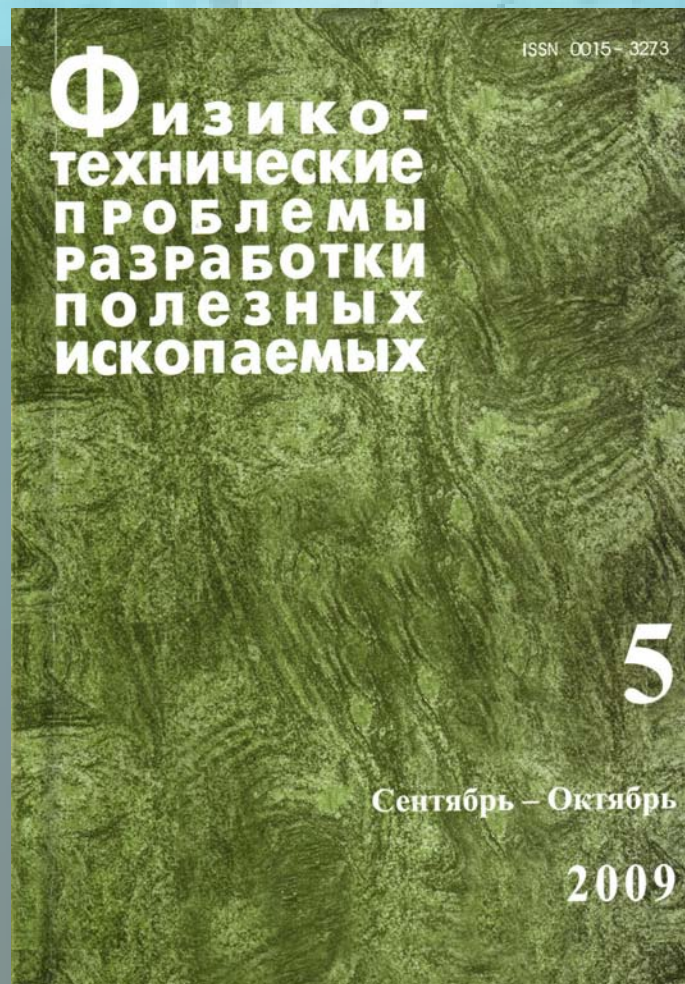
2007

2008

2009

2010

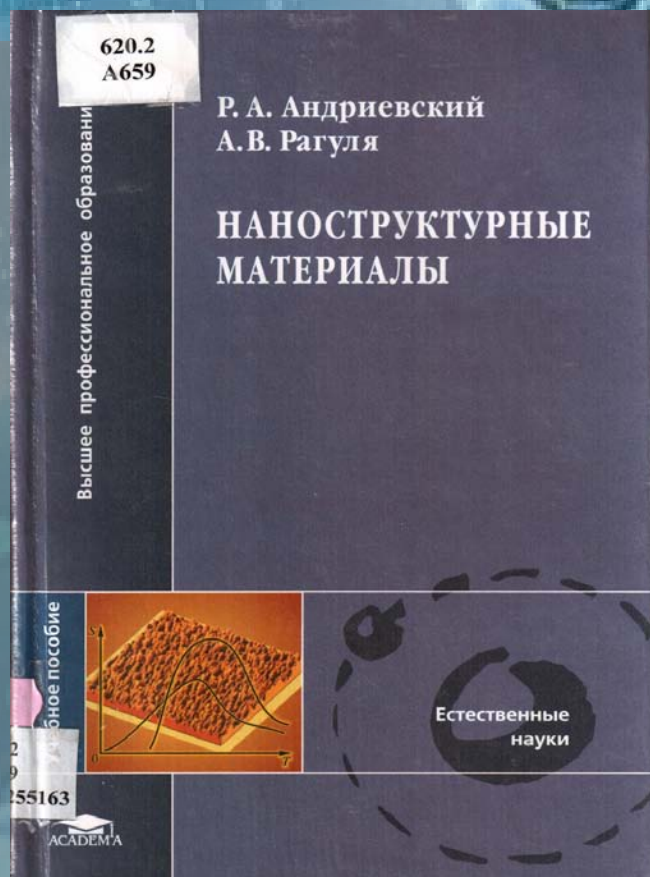
# «ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»



2009



Андриевский, Р. А. Наноструктурные материалы : учеб.  
пособие для вузов по направлению подготовки дипломиров.  
специалистов 651800 "Физ. материаловедение" / Р. А.  
Андриевский, А. В. Рагуля. - М. : Академия , 2005. - 192 с.

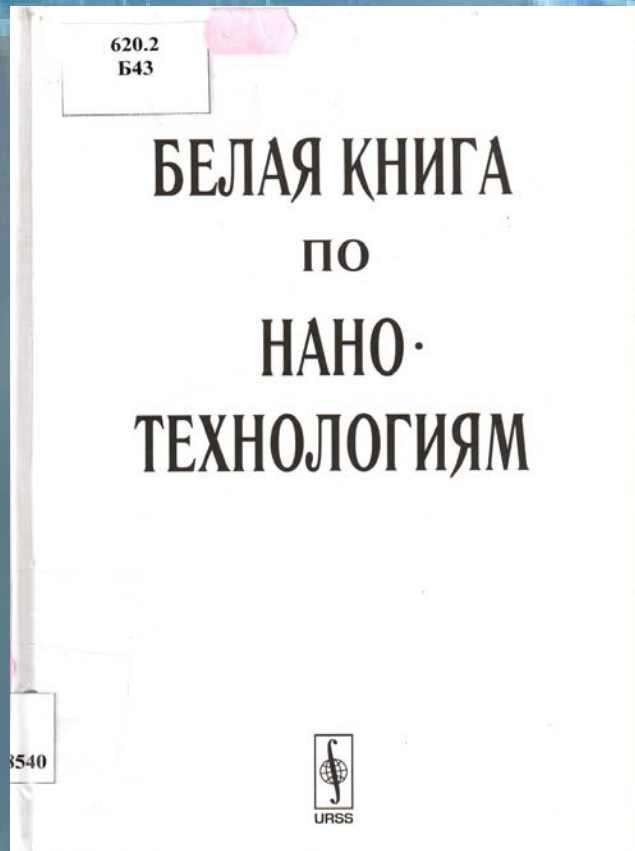


**содержание**

**ЧЗГиЕН, ЧЗС, АБХТФ, АНЛ**

Белая книга по нанотехнологиям: исследования в области наночастиц, наноструктур и нанокompозитов в Российской Федерации: (по материалам Первого Всерос. совещания ученых, инженеров и производителей в обл. нанотехнологий) : [сб. статей] / сост. В. И. Аржанцев [и др.]; Совет Федерации Федер.

Собрания РФ [и др.]. - М. : ЛКИ , 2008. - 344 с.



**содержание**

**ЧЗГиЕН**

Богданов, К. Ю. Что могут нанотехнологии? : [для ст. школ. возраста]. – М.: Просвещение, 2009. – 96 с.

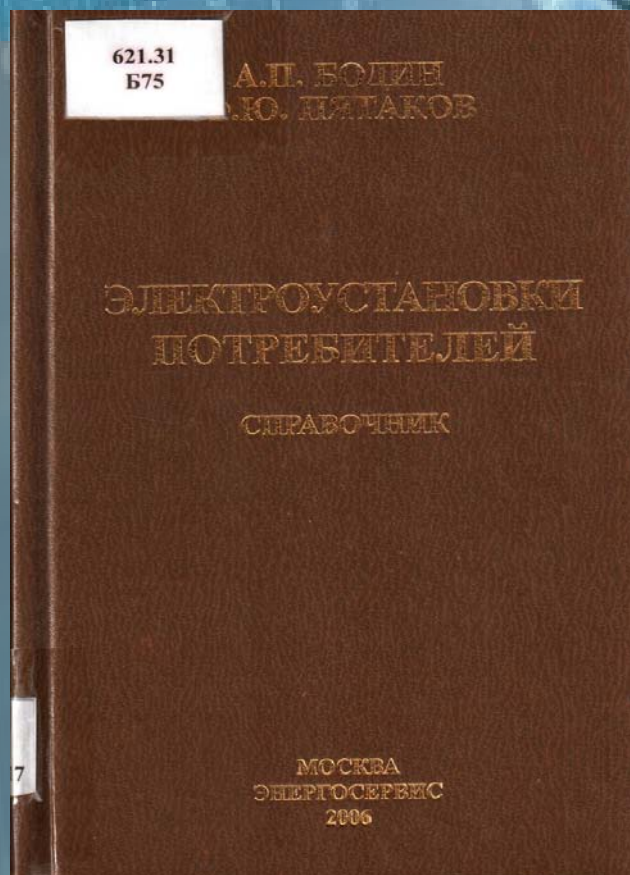


содержание

АНЛ, ЧЗТН



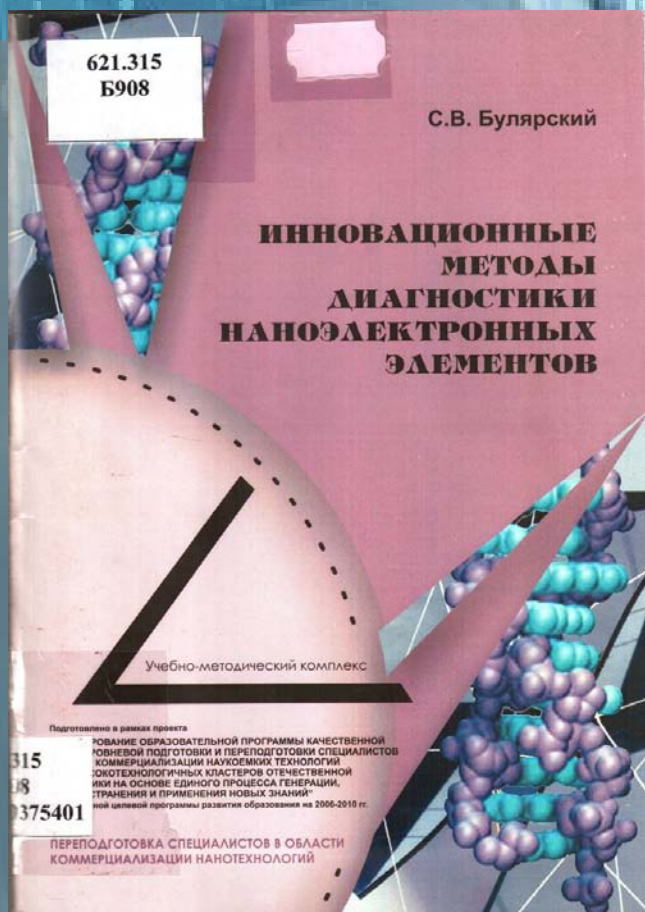
Бодин, А. П. Электроустановки потребителей : справочник / А. П. Бодин, Ф. Ю. Пятаков. - М. : Энергосервис , 2006. - 616 с.



содержание

ЧЗТН

Булярский, С. В. Инновационные методы диагностики  
наноэлектронных элементов : учебно-метод. комплекс / ГОУ  
ВПО Ульянов. гос. ун-т. - Ульяновск , 2006. - 94 с.

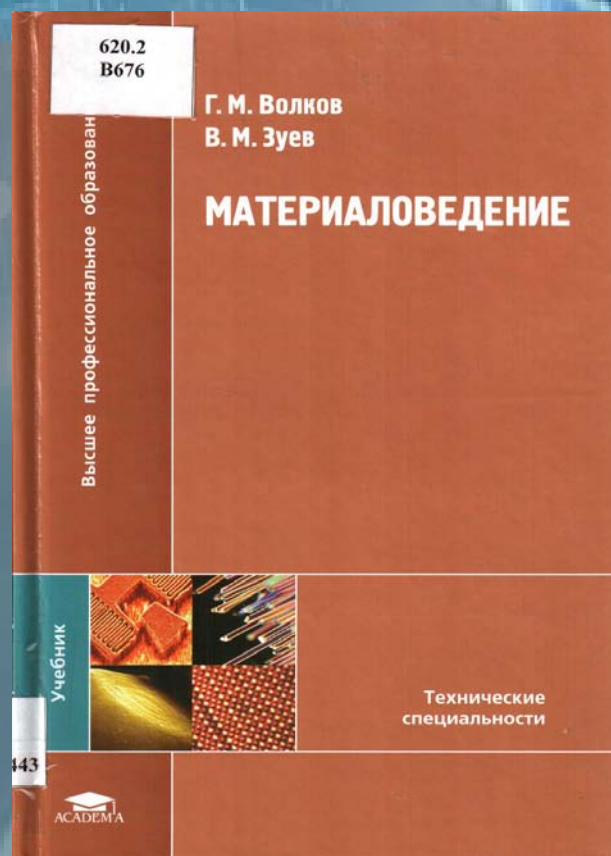


содержание

ЧЗТН



Волков, Г. М. Материаловедение : учебник для студентов технических вузов, обучающихся по немашиностроит. направлениям и специальностям / Г. М. Волков, В. М. Зуев. - М. : Академия , 2008. - 400 с.

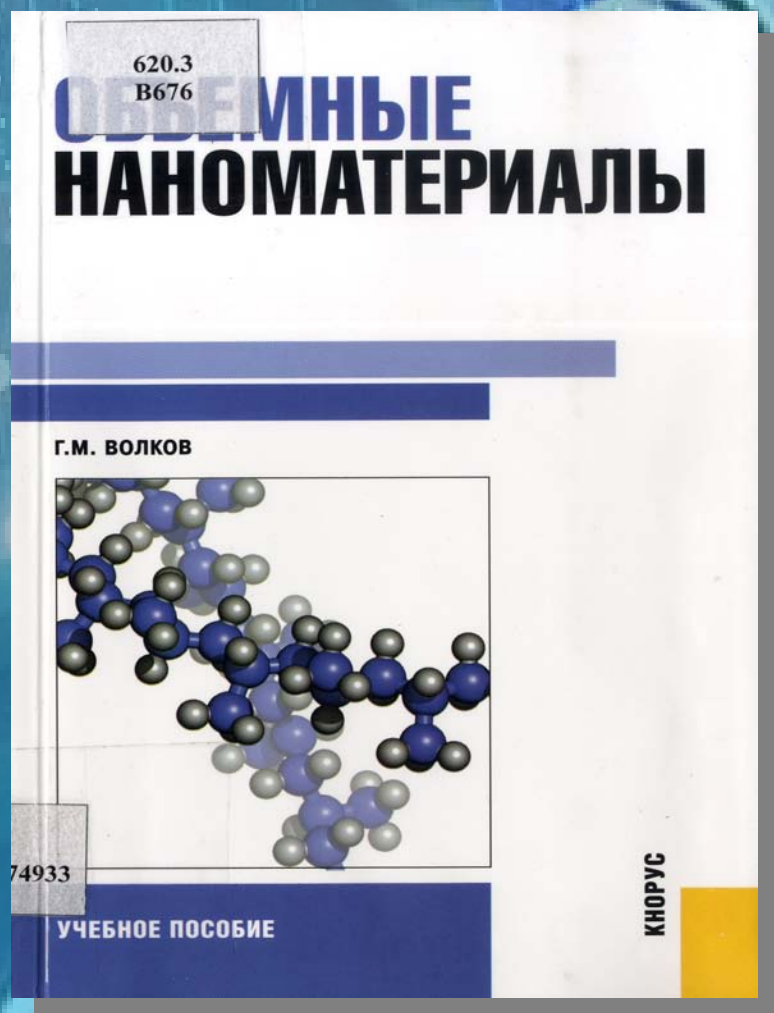


содержание

АУЛ, ЧЗТН, ЧЗГиЕН, ЧЗС, КХР



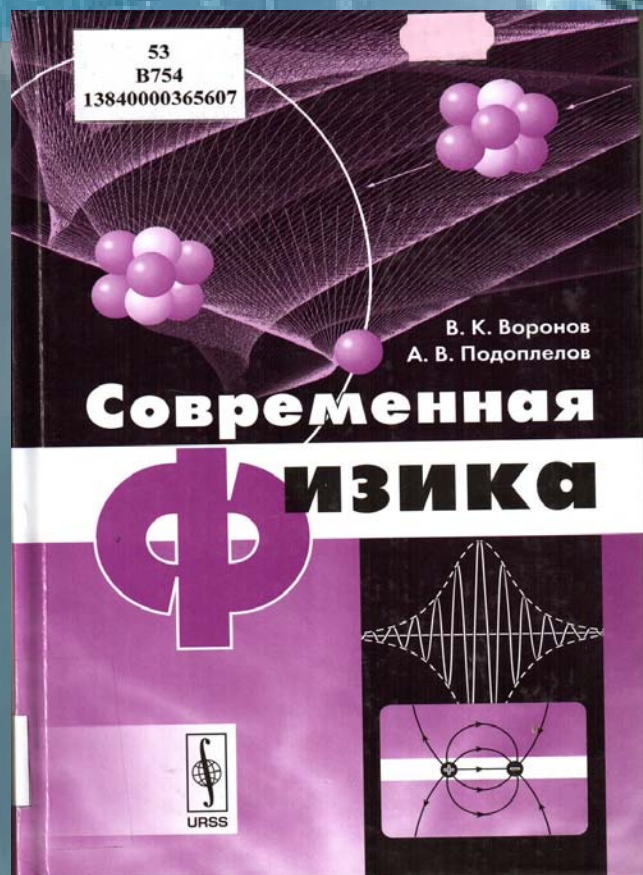
Волков, Г. М. Объемные наноматериалы : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / Г. М. Волков. — М. : КноРус, 2011. — 168 с.



содержание

ЧЗТН

Воронов, В. К. Современная физика : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по техн. и естественно-науч. специальностям / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов. - М. : КомКнига , 2005. - 512 с.

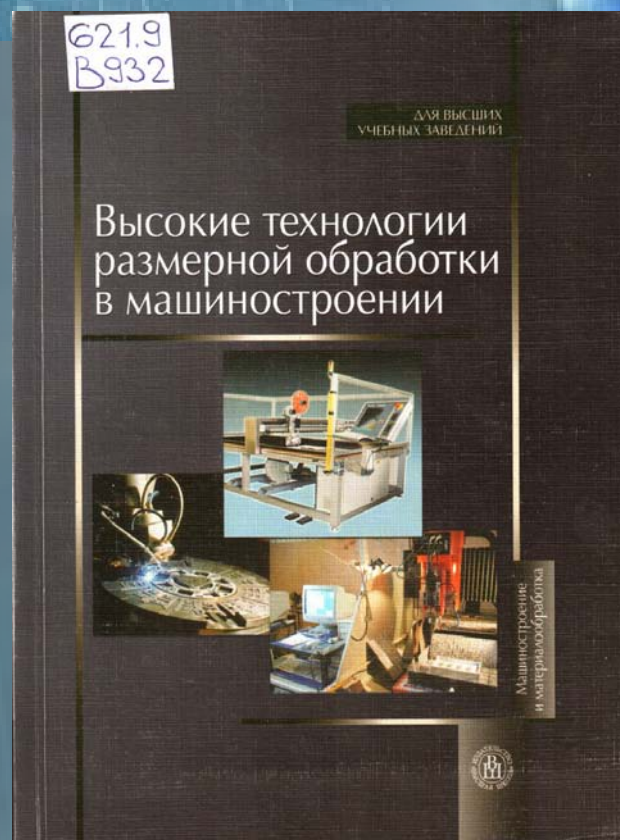


содержание

ЧЗТН



Высокие технологии размерной обработки в машиностроении :  
учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению  
"Конструкт.-технолог. обеспечение машиностроит. пр-в" / А. Н.  
Никифоров [и др.]. - М. : Высшая школа , 2007. - 327 с.

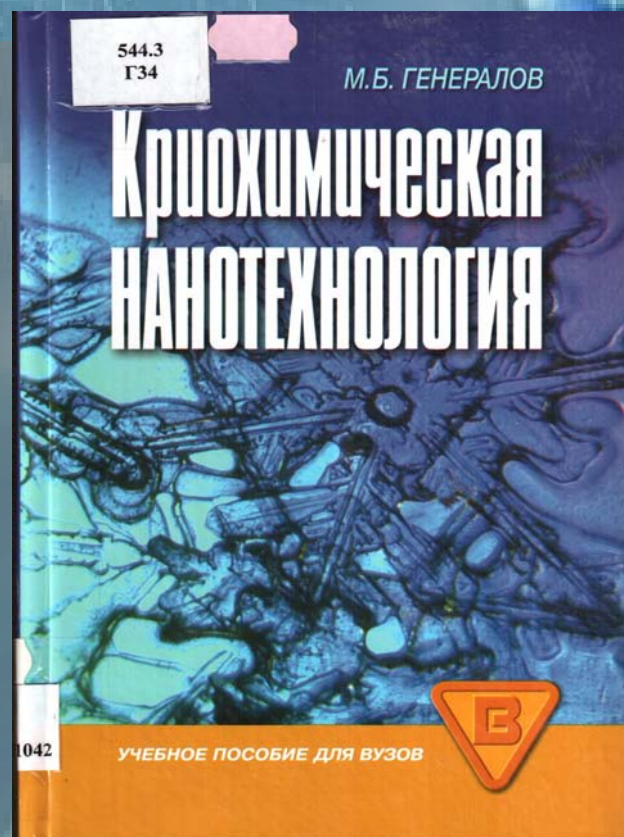


**содержание**

**АНЛ, ЧЗТН, ЧЗС, КХР**



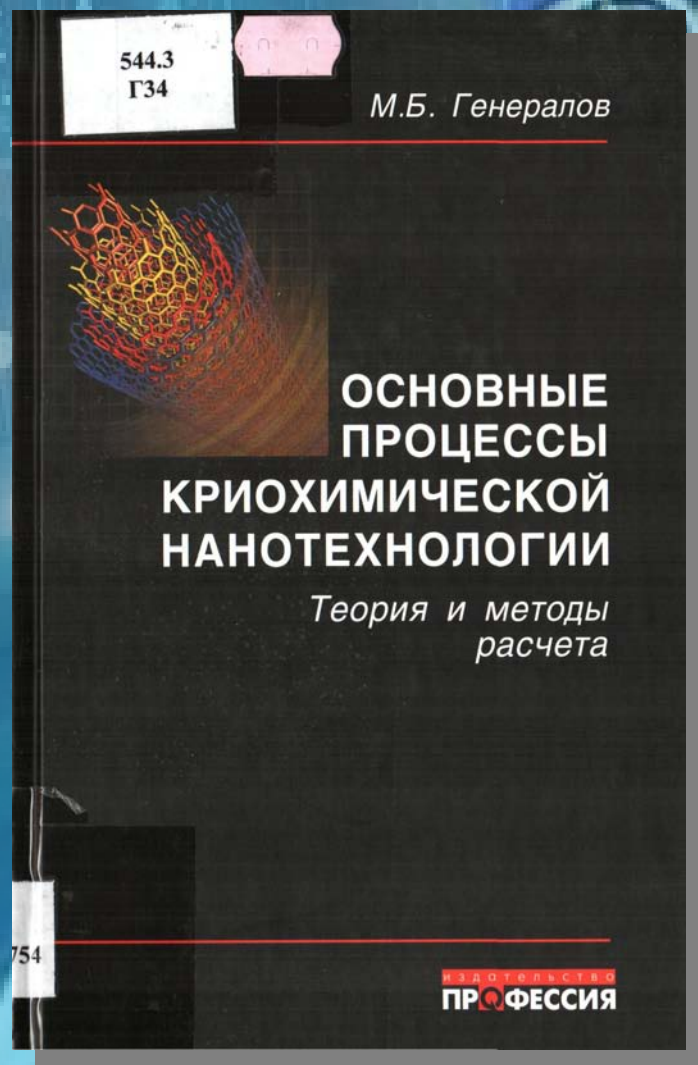
Генералов, М. Б. Криохимическая нанотехнология : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. "Машины и аппараты хим. пр-в", "Автоматизир. пр-во хим. предприятий". - М. : Академкнига , 2006.- 325 с.



содержание

АБХТФ, ЧЗГиЕН

Генералов, М. Б. Основные процессы криохимической нанотехнологии. Теория и методы расчета : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Машины и аппараты хим. пр-в", "Автоматизир. пр-во хим. предприятий" / М. Б. Генералов. – СПб. : Профессия, 2010. – 349 с.



содержание

АБХТФ, ЧЗГиЕН



Гигиена труда : учебник для студентов мед. вузов / под ред. Н. Ф. Измерова, В. Ф. Кириллова. - М. : ГЭОТАР-Медиа , 2008. - 592 с., CD-ROM

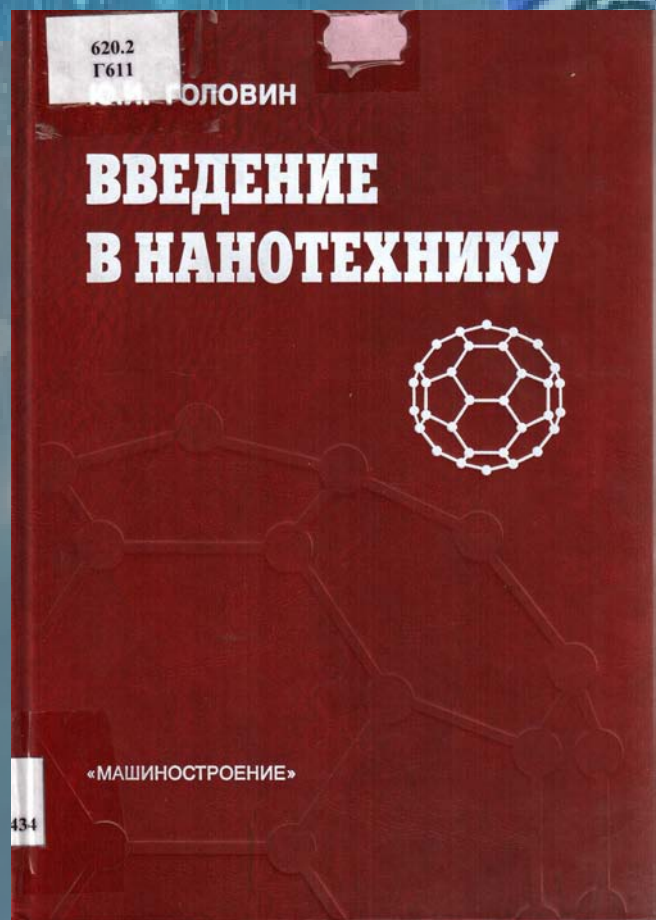


содержание

ЧЗТН



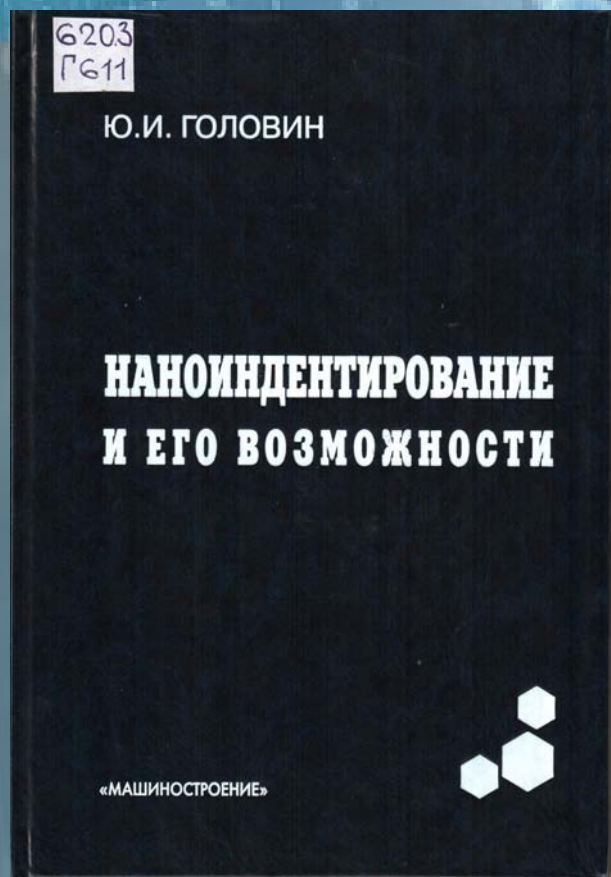
Головин, Ю. И. Введение в нанотехнику. - М. :  
Машиностроение , 2007. - 496 с.



содержание

КХР, ЧЗТН

Головин, Ю. И. Наноидентирование и его возможности. - М. :  
Машиностроение, 2009. - 312 с.

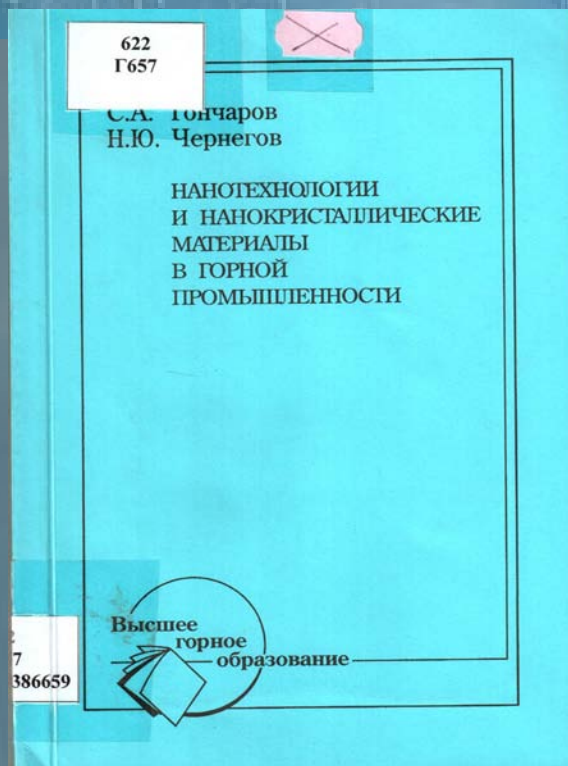


содержание

АНЛ

Гончаров, С. А. Нанотехнологии и нанокристаллические материалы в горной промышленности : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Физ. процессы горн. и нефтегаз. пр-ва" направления подгот. дипломир. специалистов "Горн. дело" / С. А. Гончаров, Н. Ю. Чернегов; Моск. гос. горн. ун-т. - М. : Издательство МГГУ , 2006. - 100 с.

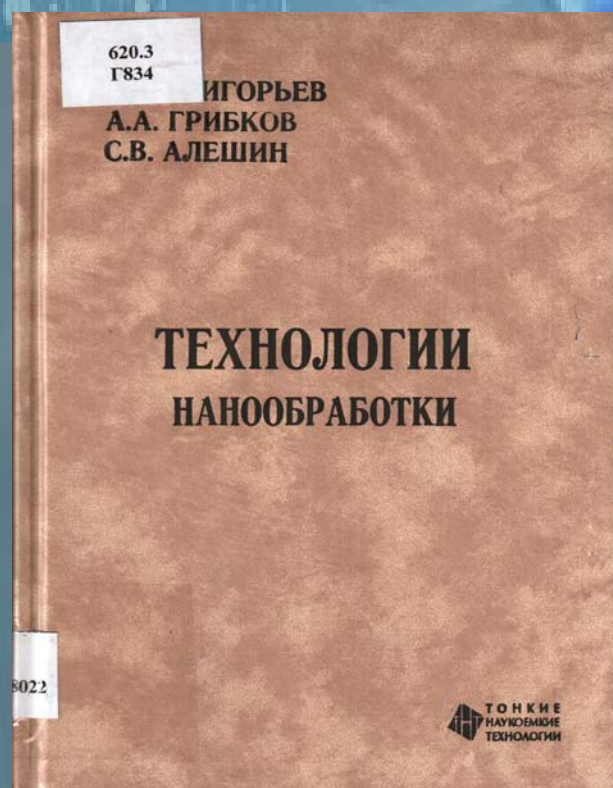
**содержание**



**КХР, ЧЗТН**



Григорьев, С. Н. Технологии нанообработки : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. "Конструкт.-технолог. обеспечение машиностроит. пр-в" / С. Н. Григорьев, А. А. Грибков, С. В. Алешин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ , 2010. - 320 с.



**содержание**

**ЧЗТН**

Гуртов, В. А. Твердотельная электроника : учеб. пособие студентов для вузов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера , 2005. - 408 с.

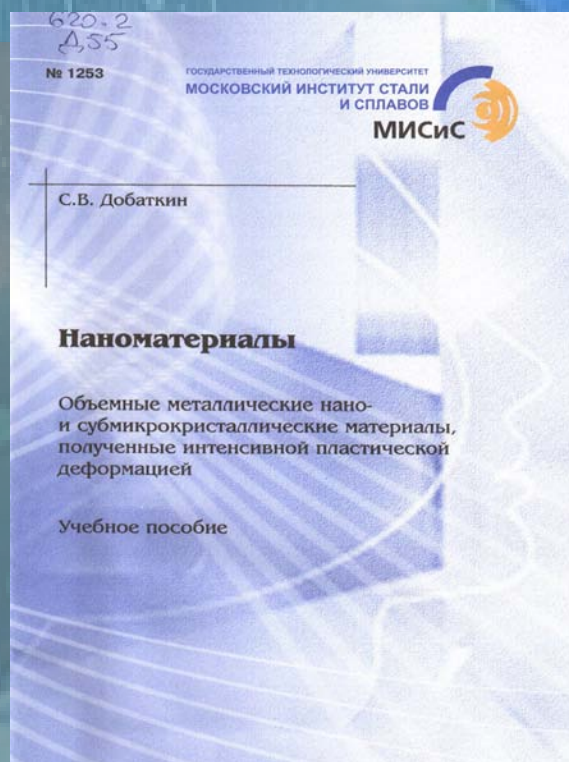


содержание

АНЛ



Добаткин, С. В. Наноматериалы. Объемные металлические нано- и субмикрорекристаллические материалы, полученные интенсивной пластической деформацией : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия" / Гос. технолог. ун-т "Моск. ин-т стали и сплавов" (МИСиС), Каф. металловедения и физики прочности. - М. : УЧЕБА , 2007. - 36 с.



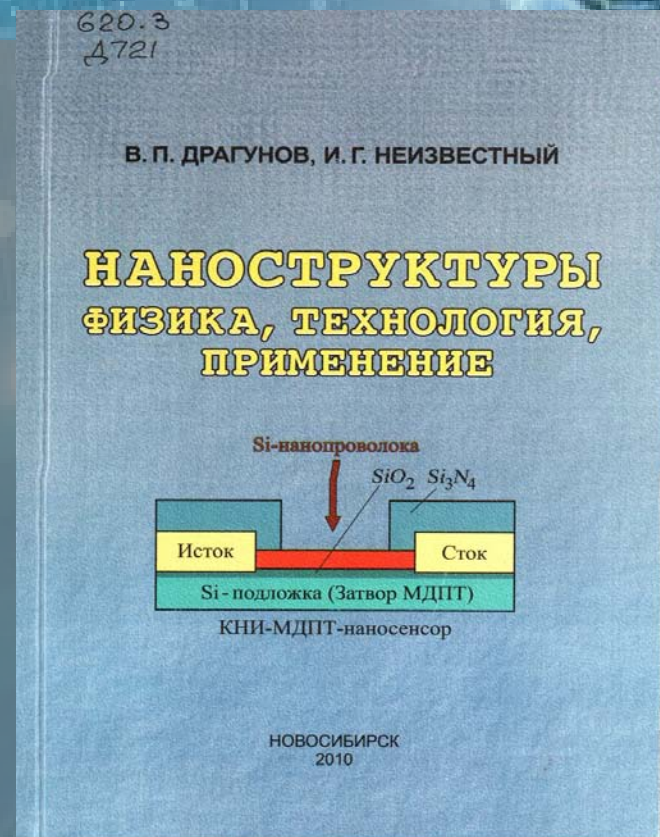
содержание

АНЛ, ЧЗС



Драгунов, В. П. Наноструктуры. Физика, технология, применение : учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный; Новосиб. гос. техн. ун-т . – 2-е изд. Новосибирск :

НГТУ, 2010. – 356 с.



содержание

АНЛ, ЧЗТН

Драгунов, В. П. Основы наноэлектроники : учеб. пособие для студентов вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М. : Физматкнига , 2006. - 496 с.



**содержание**

**АНЛ, КХР**



Жоаким, К. Нанонауки: невидимая революция / К. Жоаким, Л. Плеввер. - М. : КоЛибри, 2009. – 240 с.

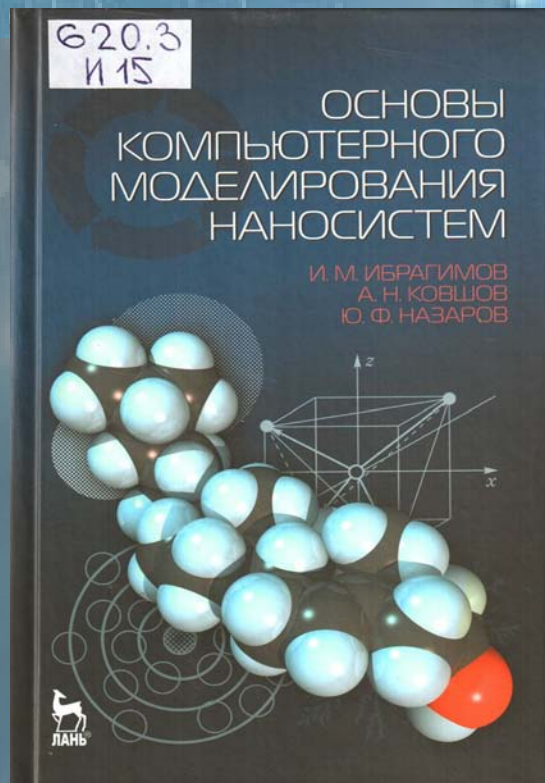


содержание

ЧЗТН



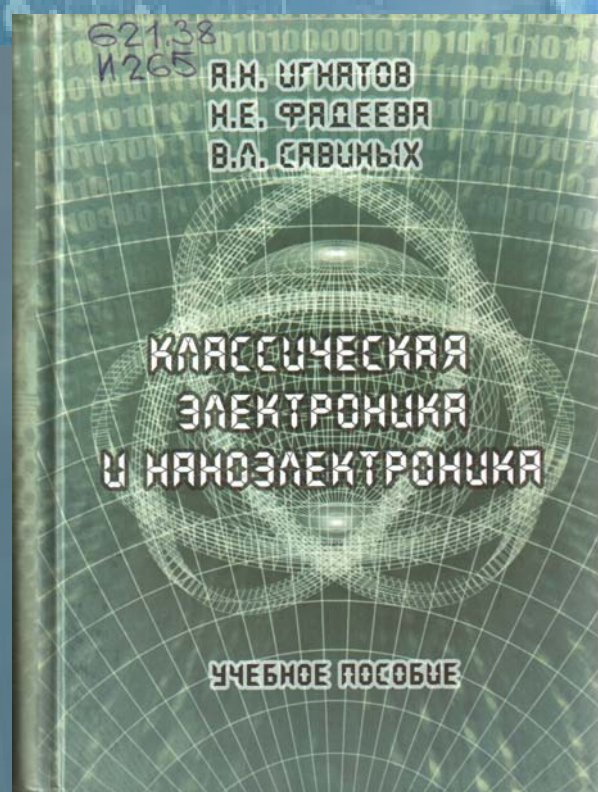
Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учеб. пособие для студентов вузов с специалистов в области вычислит. нанотехнологии / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – СПб. : Лань, 2010. – 384 с.



**содержание**

**АНЛ, ЧЗТН, ЧЗГиЕН**

Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 210400 - Телекоммуникации" / А. Н. Игнатов, Н. Е. Фадеева, В. Л. Савиных. – М. : Флинта, 2009. – 728 с.

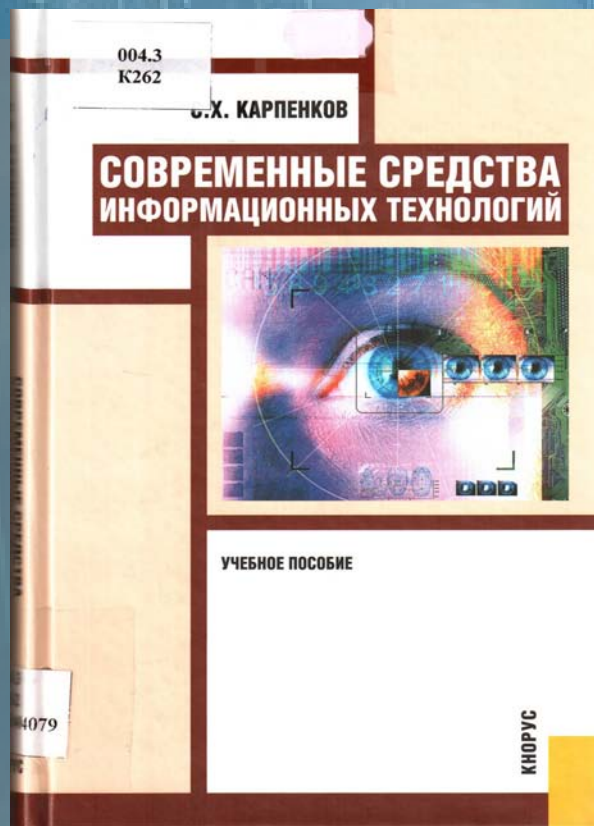


содержание

АНЛ



Карпенков, С. Х. Современные средства информационных технологий : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. дипломир. специалистов "Информатика и вычисл. техника" и "Информ. системы". -2-е изд., испр. и доп. - М. : КноРус , 2009. - 400 с.

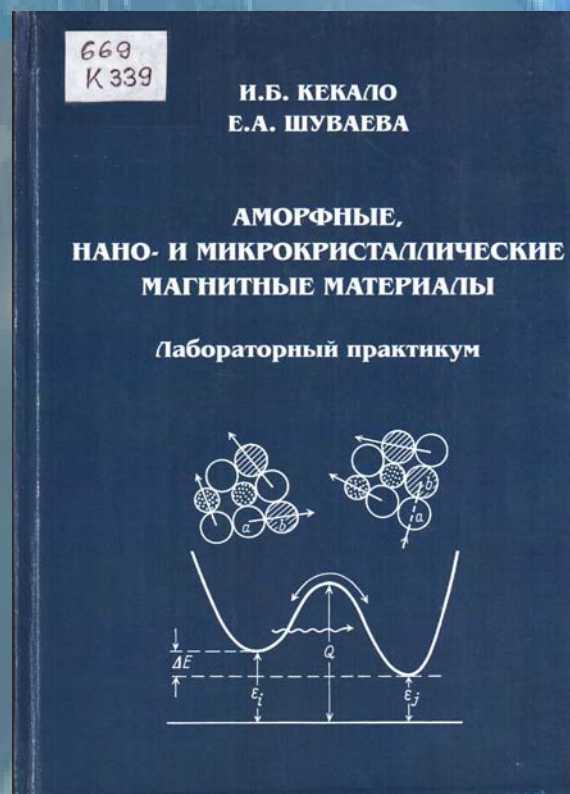


содержание

ЧЗТН



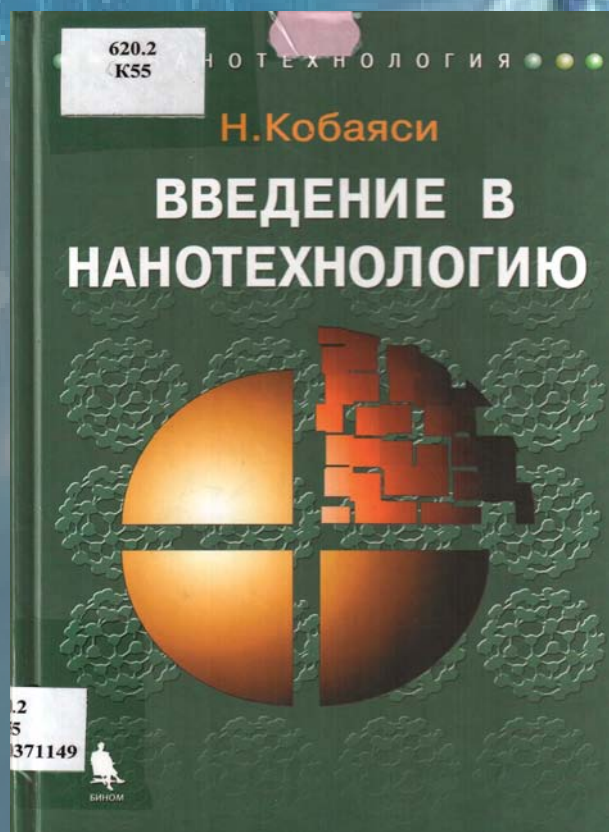
Кекало, И. Б. Аморфные, нано- и микрокристаллические магнитные материалы : лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Физ. материаловедение" и специальности "Наноматериалы" / И. Б. Кекало, Е. А. Шуваева; Моск. ин-т стали и сплавов (технолог. ун-т). - М. : Издательский дом МИСиС , 2008. - 248 с.



содержание

АНЛ, ЧЗС

Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию : [учеб. пособие для вузов] / пер. с яп. А. В. Хачояна под ред. Л. Н. Патрикеева. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний , 2005. - 134 с.

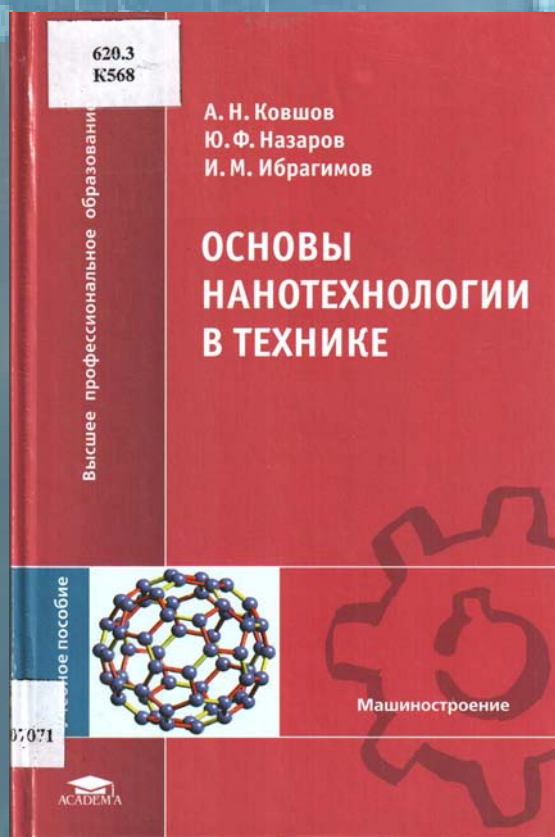


содержание

АХТФ, ЧЗГиЕН



Ковшов, А. Н. Основы нанотехнологии в технике : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки "Конструкт.-технолог. обеспечение машиностроит. пр-в" и "Автоматизированные технологии и пр-ва" / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов. - М. : Академия , 2009. - 240 с.



**содержание**

**ЧЗТН**



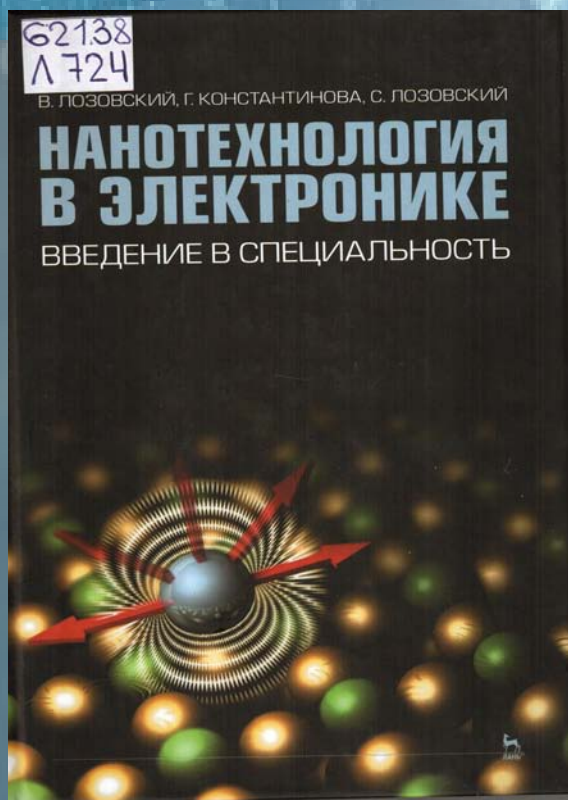
Костишко, Б. М. Светоизлучающие свойства перспективных нанокристаллических Si/SiC структур : учебно-метод. комплекс / Б. М. Костишко, Ю. С. Нагорнов; ГОУ ВПО "Ульяновс. гос. ун-т". - Ульяновск , 2006. - 83 с.



содержание

ЧЗТН

Лозовский, В. Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210601 "Нанотехнология в электронике" / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский. - СПб. : Лань , 2008. - 336 с.



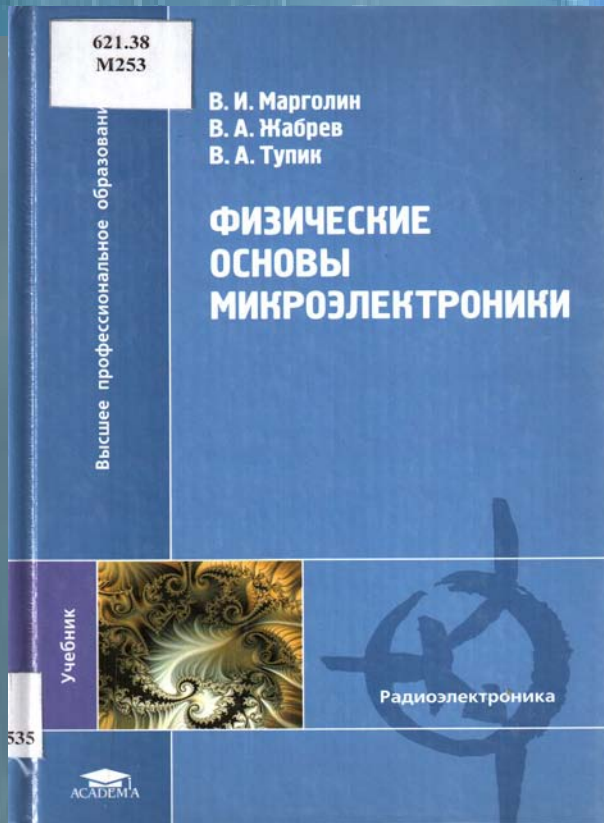
содержание

АНЛ



Марголин, В. И. Физические основы микроэлектроники : учебник для студентов вузов, обуч. по специальности "Проектирование и технология радиоэлектрон. средств" направления "Проектирование и технология электрон. средств" / В. И. Марголин. В. А. Жабров, В. А. Тупик. - М. : Академия , 2008. - 400 с.

содержание



КХР, ЧЗТН



Мартинес-Дуарт, Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда; пер. с англ. А. В. Хачояна под ред. Е. Б. Якимова. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2009. - 368 с.



содержание

АНЛ

Маслов, А. Р. Развитие высокоэффективных технологий в машиностроении. - М. : ИТО , 2008. - 222 с.



содержание

ЧЗС

Машиностроение и техносфера XXI века . т. 1 : сб. трудов XIV  
межд. научн.-техн. конф., 17-22 сент. 2007 г., Севастополь / М-  
во образования и науки Украины [и др.]. - Донецк , 2007. - 298  
с.

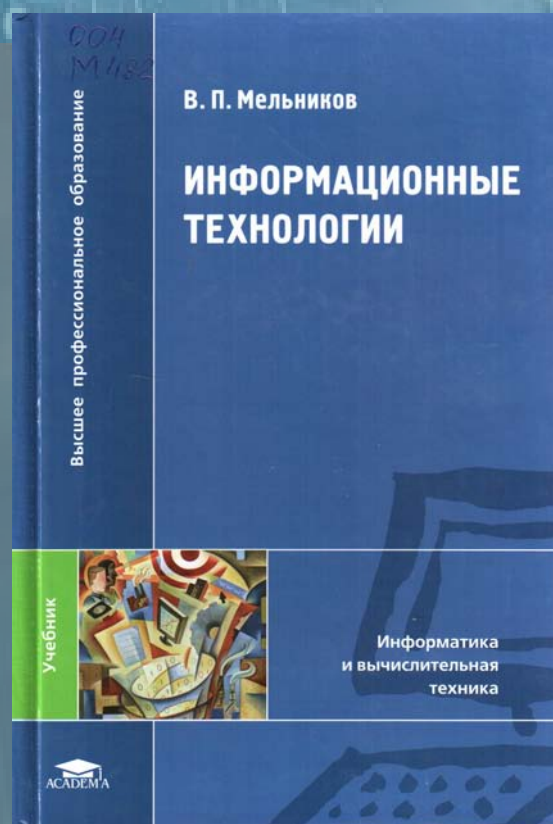


содержание

КХР



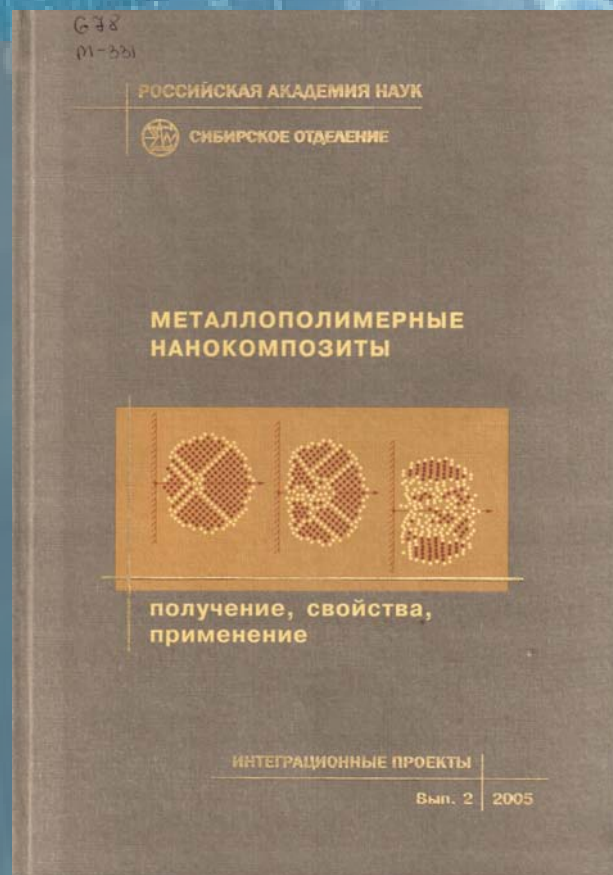
Мельников, В. П. Информационные технологии : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автоматизированные системы обработки информации и управления", "Информационные системы и технологии". - М. : Академия , 2008. - 432 с.



содержание

АНЛ

Металлополимерные нанокомпозиты (получение, свойства, применение) / В. М. Бузник [и др.]; отв. ред. Н. З. Ляхов; РАН, Сиб. отд-ние, Ин-т катализа им. Г. К. Борескова, Ин-т химии твердого тела и механохимии, Ин-т теорет. и прикладной механики. - Новосибирск : Издательство СО РАН , 2005. - 260 с.

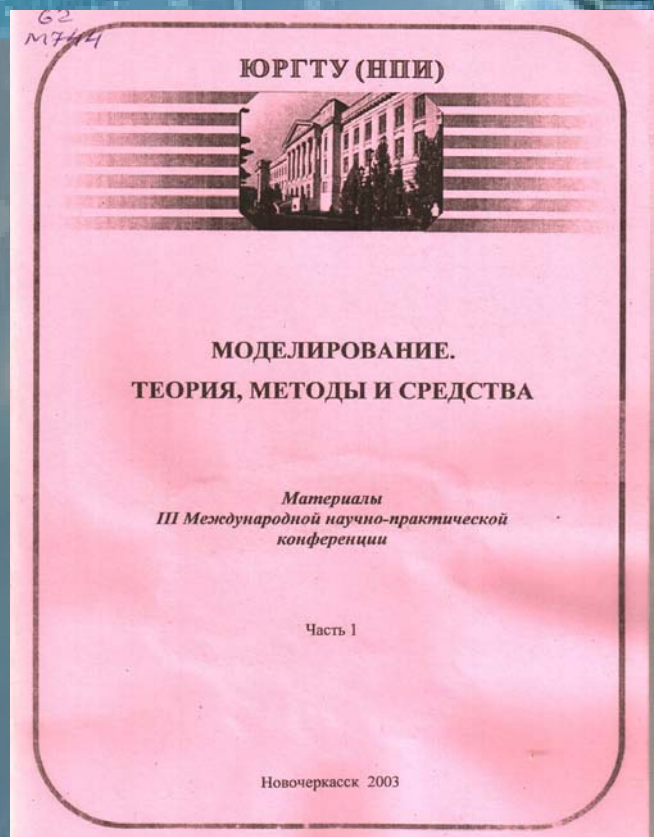


**содержание**

**АХТФ, КХР, ЧЗГиЕН**



Моделирование. Теория, методы и средства . ч. 1 : материалы 3-ей Междунар. науч.-практ. конф., 11 апр. 2003 г., Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркасский политехнический институт). - Новочеркасск , 2003. - 60 с.

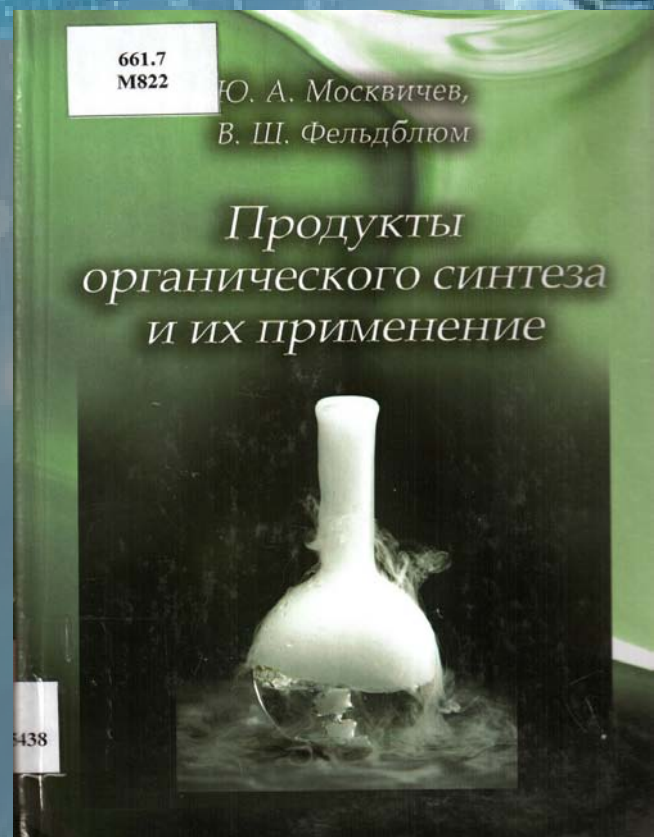


содержание

КХР



Москвичев, Ю. А. Продукты органического синтеза и их применение : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Хим. технология орг. веществ и топлива" / Ю. А. Москвичев, В. Ш. Фельдблюм. - СПб. : Проспект Науки , 2009. - 376 с.



**содержание**

**АХТФ, ЧЗГиЕН**

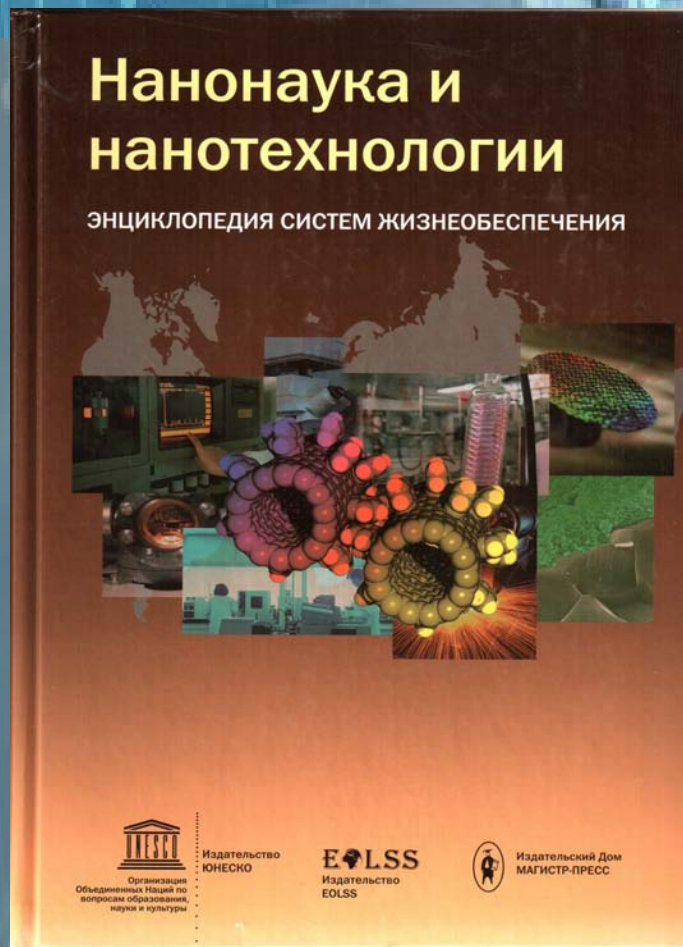
Нано- и микросистемная техника: от исследований к разработкам : сб. ст. / под ред. П. П. Мальцева. - М. : Техносфера , 2005. - 592 с.



содержание

ЧЗТН, ЧЗГиЕН

Нанонаука и нанотехнологии : энциклопедия систем жизнеобеспечения / гл. соред. О. О. Аваделькарим (США), Чунъли Бай (КНР), С. П. Капица (Россия); пер. Н. Н. Выхристенко [и др.]. – М. : Магистр-Пресс, 2009. – 992 с.



содержание

ЧЗГиЕН, СИЦ



Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника:  
мировые достижения за 2005 год : сборник / под ред. П. П.  
Мальцева. - М. : Техносфера , 2006. - 152 с.



содержание

АХТФ, КХР, ЧЗГиЕН

Наноструктурные покрытия / под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссона; пер. с англ. А. В. Хачояна под ред. Р. А. Андриевского. – М. : Техносфера, 2011. – 752 с.



содержание

АНЛ

Наноструктурные материалы / под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл. –  
М. : Техносфера, 2009. – 488 с.

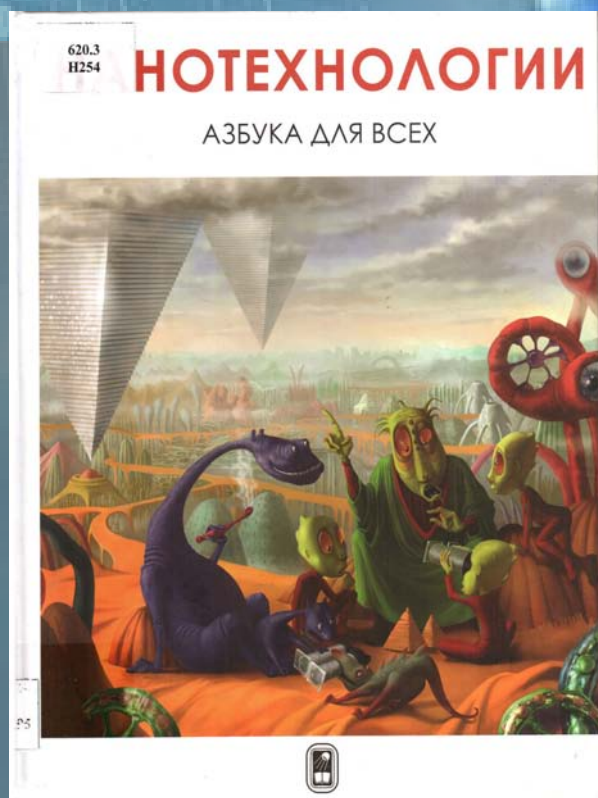


содержание

ЧЗГиЕН



Нанотехнологии: азбука для всех : [энциклопедия] / под ред.  
Ю. Д. Третьякова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Физматлит,  
2010. – 368 с.: ил.



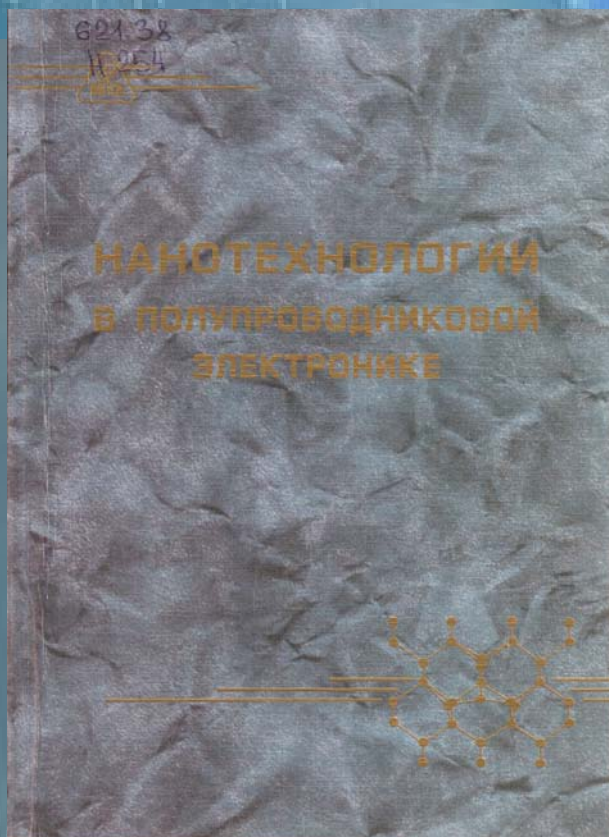
содержание

ЧЗТН, ЧЗГиЕН

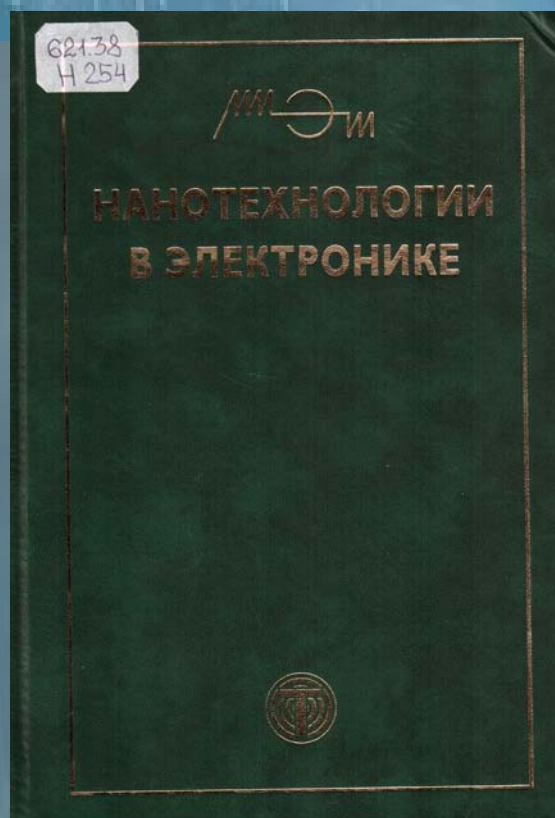
Нанотехнологии в полупроводниковой электронике / РАН, Сиб. отд-ние, Ин-т физики полупроводников; отв. ред. А. Л. Асеев. - Новосибирск : Издательство СО РАН , 2004. - 368 с.

**содержание**

**КХР**



Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю. А. Чаплыгина. -  
М. : Техносфера , 2005. - 448 с.



**содержание**

**АНЛ, КХР, ЧЗТН**



Нанотехнологии и специальные материалы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140140 "Техн. физика" / Ю. П. Солнцев [и др.]; под ред. Ю. П. Солнцева. – СПб.: Химиздат, 2009. – 336 с.



содержание

ЧЗТН

Нанотехнологии, метрология, стандартизация и сертификация  
в терминах и определениях / под ред. М. В. Ковальчука, П. Д.  
Тодуа. – М. : Техносфера, 2009. – 136 с.

содержание



ЧЗТН, ЧЗГиЕН, ЧЗС

Неволин, В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике : учеб. пособие для студентов вузов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Техносфера, 2006. - 160 с.



содержание

АНЛ, КХР



Нэсбитт, Д. Что нас ждет в 90-е годы : Мегатенденции : год 2000: Десять новых направлений на 90 годы / пер. с англ. / Дж. Нэсбитт, Э. Патриция. - М. : Республика , 1992. - 415 с.

содержание



ЧЗГиЕН

Никифоров, А. Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов. - М. : Высшая школа , 2006. - 392 с.



**содержание**

**АНЛ, АУЛ, КХР, ЧЗС, ЧЗТН**

Нолтинг, Б. Новейшие методы исследования биосистем / пер. с  
англ. Н. Н. Хромова-Борисова. - М. : Техносфера , 2005. - 256  
с.

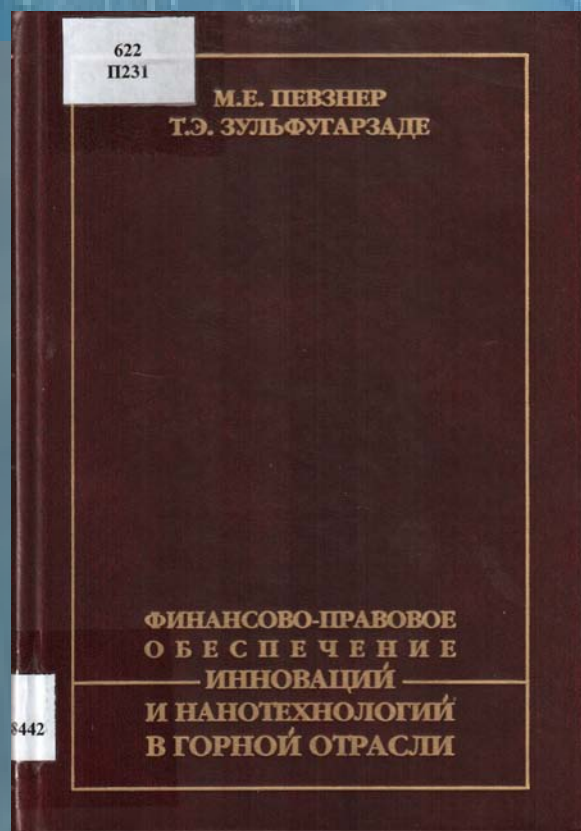


содержание

ЧЗГиЕН



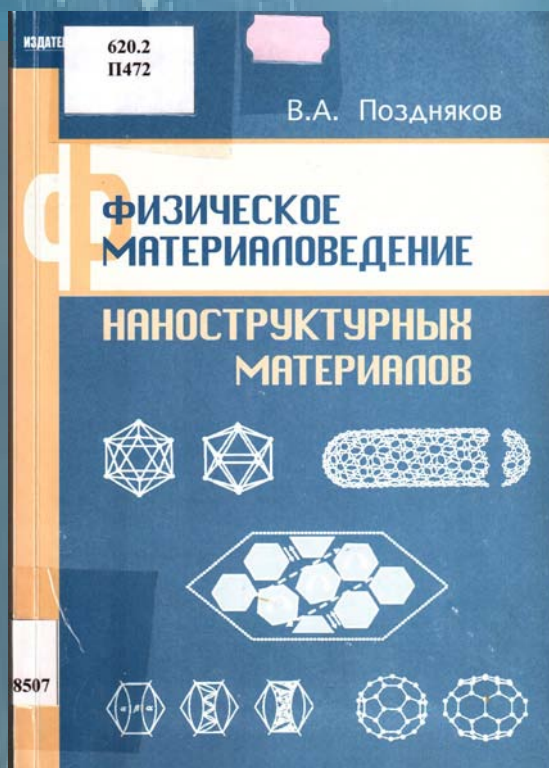
Певзнер, М. Е. Финансово-правовое обеспечение инноваций и нанотехнологий в горной отрасли / М. Е. Певзнер, Т. Э. Зульфугарзаде. - М. : Горная книга , 2009. - 278 с.



содержание

ЧЗТН

Поздняков, В. А. Физическое материаловедение наноструктурных материалов : учеб. пособие / Моск. гос. индустр. ун-т. - М. : МГИУ , 2007. - 424 с.



содержание

ЧЗГиЕН, ЧЗТН

Получение и исследование наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям / А. А. Евдокимов [и др.]; под ред. А. С. Сигова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 146 с.

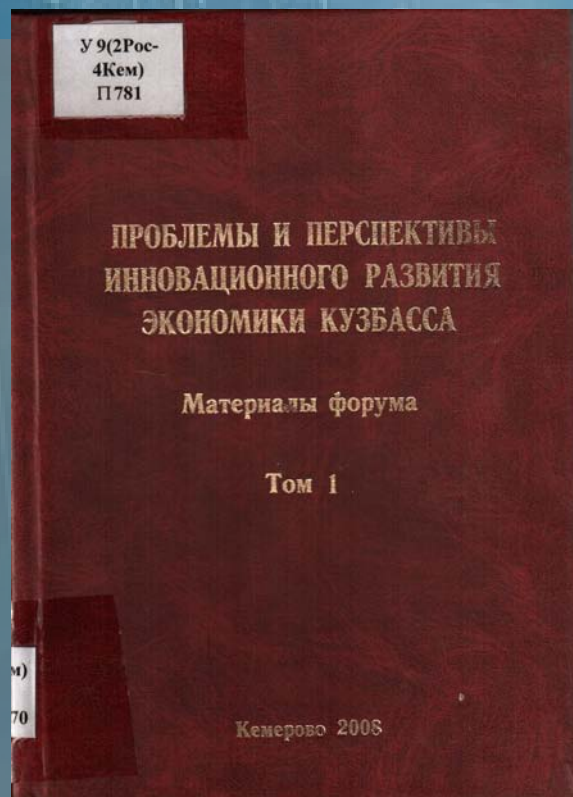
**содержание**



**АНЛ, ЧЗГиЕН**



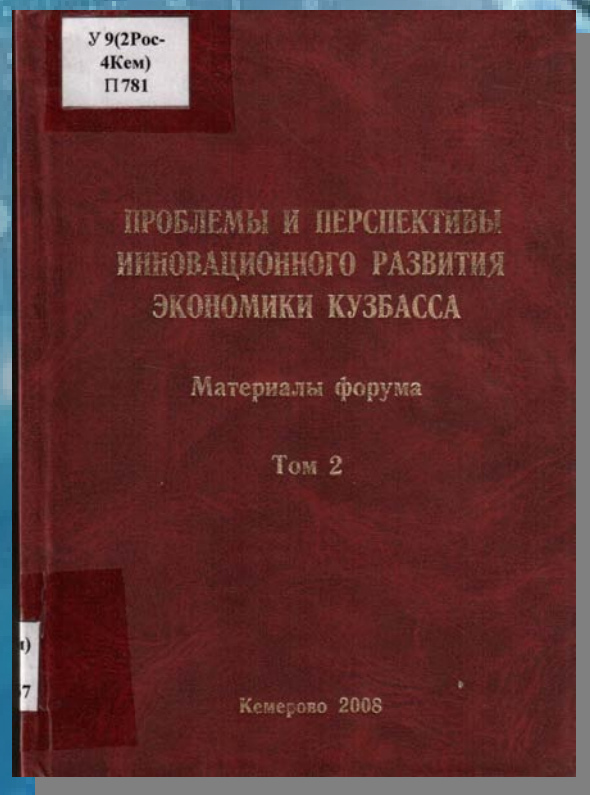
Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса . Т.1. : материалы форума / Администрация Кемеров. обл., Кузбас. технопарк, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т угля и углехимии; редкол.: В. П. Мазикин (пред.) [и др.]. - Кемерово , 2008. - 368 с.



**содержание**

**ЧЗТН, ЧЗЭН, КХР**

Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса . Т. 2. : материалы форума / Администрация Кемеров. обл., Кузбас. технопарк, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т угля и углехимии; редкол.: В. П. Мазикин (пред.) [и др.]. - Кемерово , 2008. - 368 с.



**содержание**

**ЧЗТН, ЧЗЭН, КХР**

Пул, Ч. Нанотехнологии : учеб. пособие для вузов / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - М. : Техносфера, 2004. - 328 с.

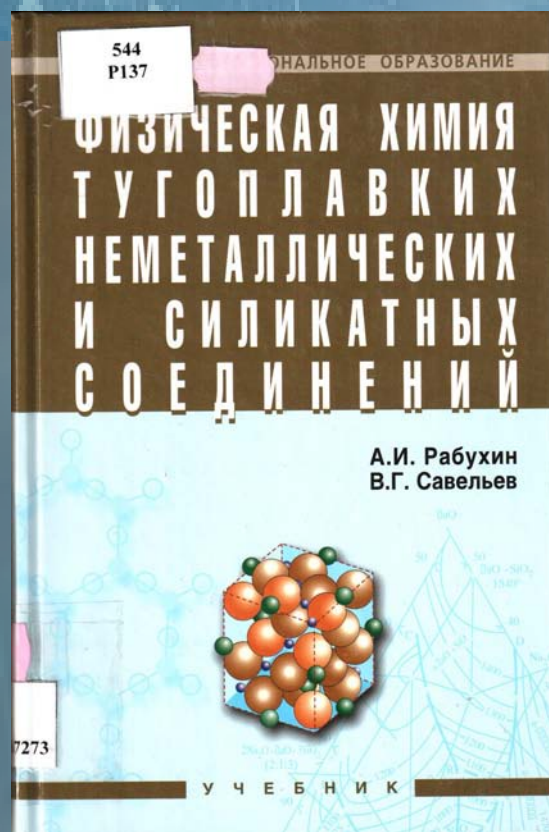


содержание

ЧЗГиЕН



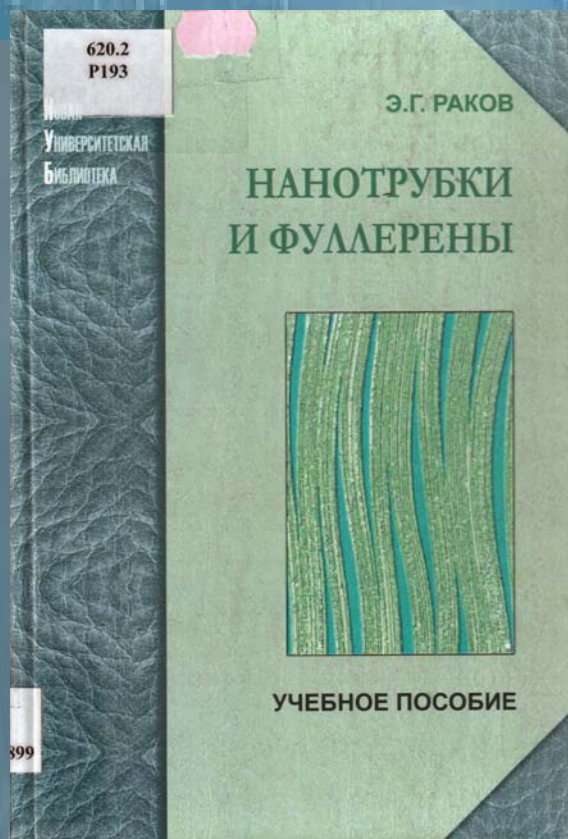
Рабухин, А. И. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений : учебник для уч-ся спец. специал. заведений, обучающихся по специальности 2508 "Пр-во тугоплавких неметаллич. и силикат. материалов и изделий" / А. И. Рабухин, В. Г. Савельев. - М. : ИНФРА-М , 2008. - 304 с.



содержание

АХТФ, ЧЗГиЕН

Раков, Э. Г. Нанотрубки и фуллерены : учеб. пособие для студентов вузов. - М. : Логос , 2006. - 376 с.

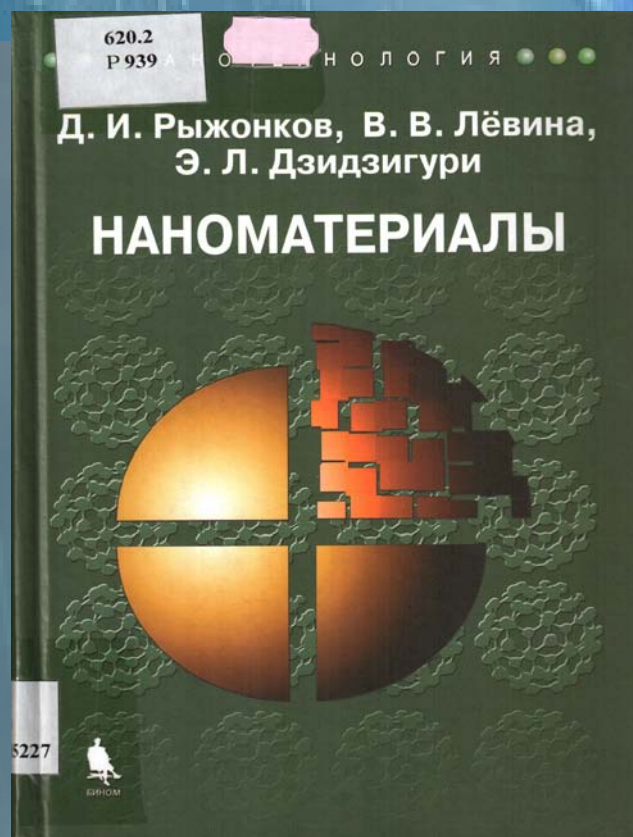


**содержание**

**АХТФ, ЧЗГиЕН**



Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учеб. пособие для вузов / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 365 с.



содержание

ЧЗТН, ЧЗГиЕН



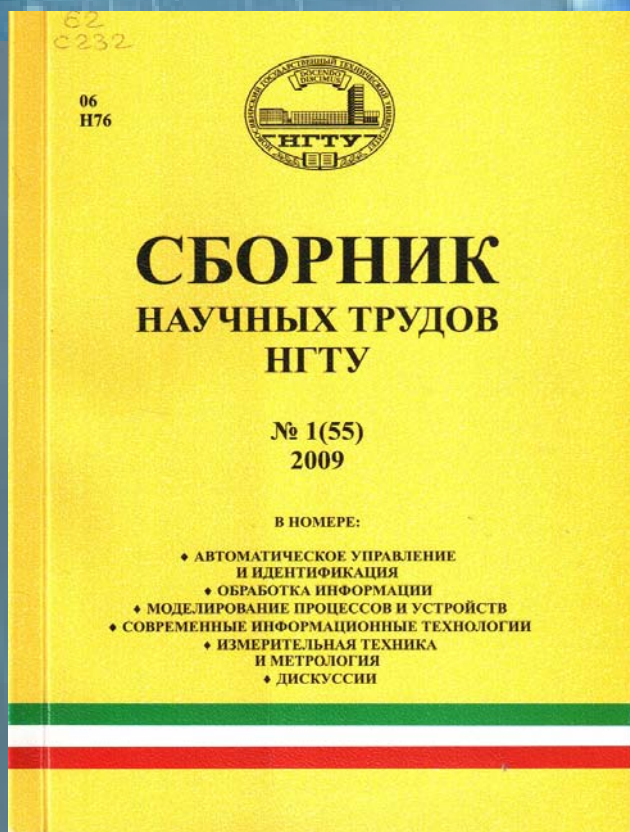
Рябчиков, Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. - М. : ДеЛи принт , 2004. - 301 с.



**содержание**

**ЧЗГиЕН**

Сборник научных трудов Новосибирского государственного  
технического университета . Вып. 1(55), 2009 / Новоси. гос.  
техн. ун-т; редкол.: А. А. Воевода [и др.]. - Новосибирск : НГТУ ,  
2009. - 116 с.



содержание

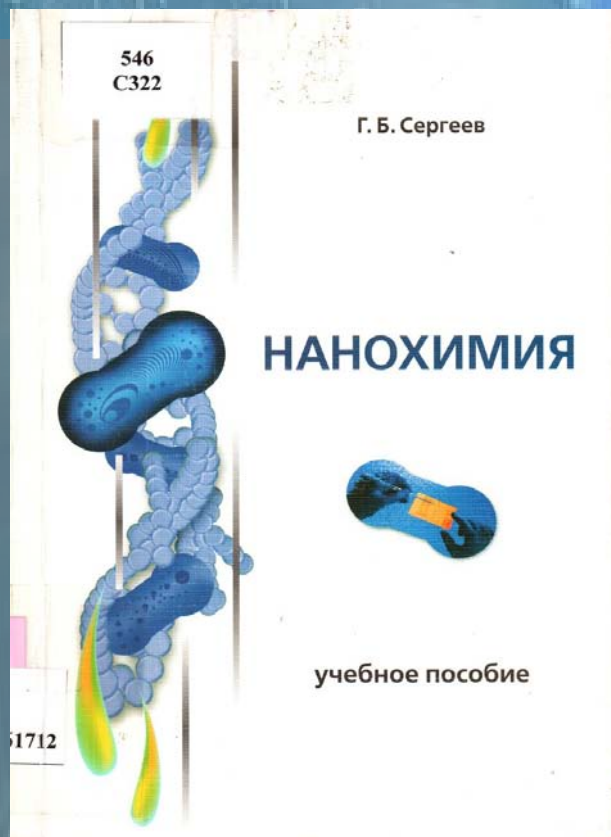
КХР



Сергеев, Г. Б. Нанохимия : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 020100 (510500) "Химия" по специальности 020101 (011000) "Химия". - М. : КДУ , 2006. -

336 с.

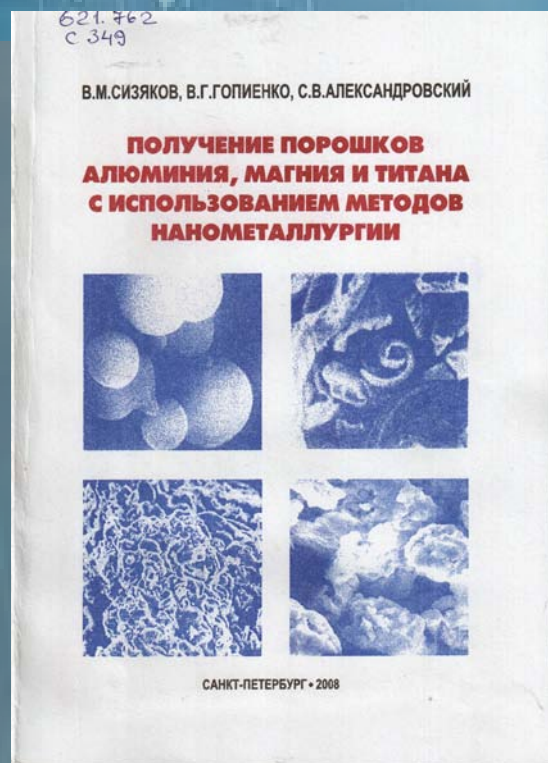
содержание



ЧЗГиЕН



Сизяков, В. М. Получение порошков алюминия, магния и титана с использованием методов нанометаллургии : учеб. пособие [для студентов специальности 150102 "Металлургия цвет. металлов", студентам др. специальностей при изучении дисциплин металлург. профиля] / В. М. Сизяков, В. Г. Гопиенко, С. В. Александровский; ГОУ ВПО "С.-Петерб. гос. горн. ин-т им. Г. В. Плеханова (техн. ун-т)". - СПб. , 2008. - 95 с.



содержание

КХР

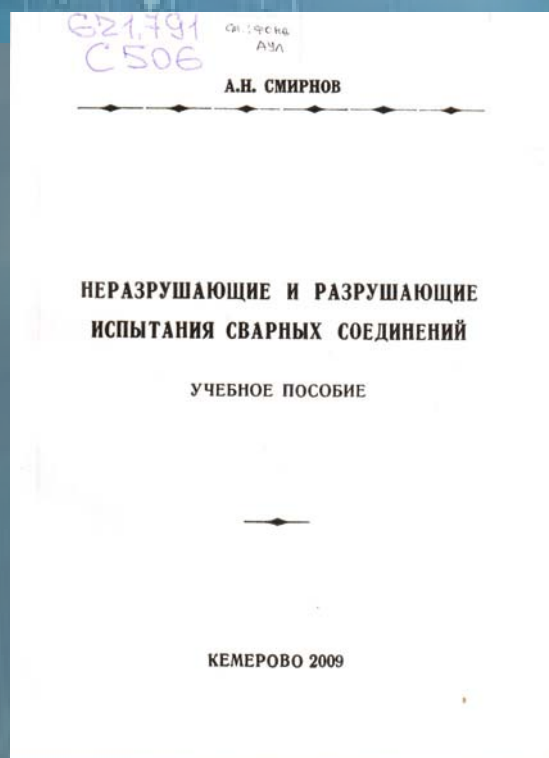
Сильман, Г. И. Материаловедение : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям направления подготовки "Металлургия, машиностроение и материалопереработка". - М. : Академия , 2008. - 336 с.



**содержание**

**АНЛ, КХР, ЧЗС, ЧЗГиЕН, ЧЗТН**

Смирнов, А. Н. Неразрушающие и разрушающие испытания сварных соединений : учеб. пособи для студентов, обучающихся по направлению подготовки 150200 "Машиностроит. технологии и оборудование" специальности 150202 "Оборудование и технология сварочного пр-ва" / ГОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т". - Кемерово , 2009. – 187 с.  
Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90382&type=utchposob:common>

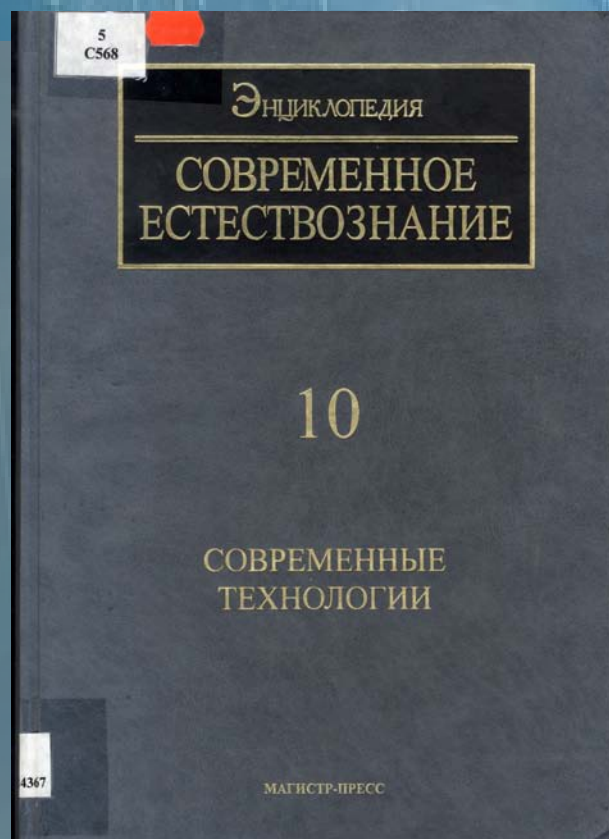


**содержание**

**АУЛ, КХР, ЧЗТН, ЧЗС**



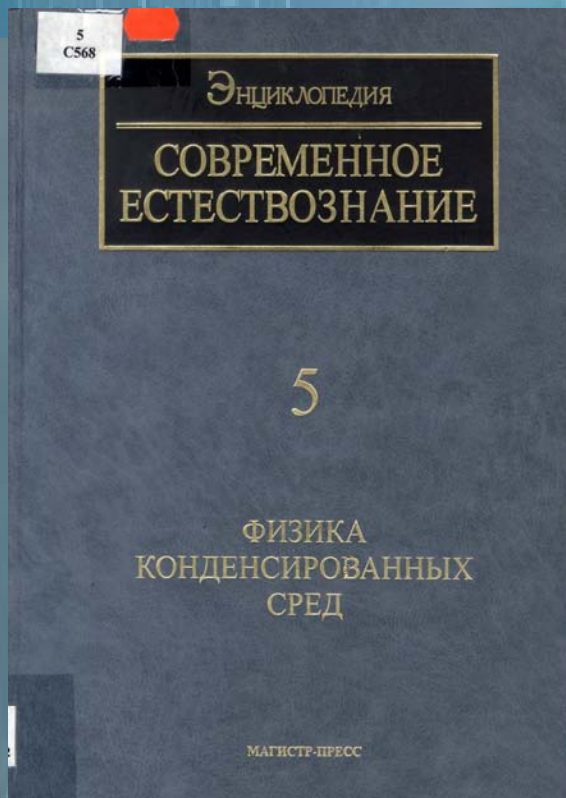
Современное естествознание: в 10 т. . т. 10 : Современные технологии : энциклопедия / под ред. В. Н. Сойфера. - М. : Магистр-Пресс , 2001. - 272 с.



**содержание**

**ЧЗГиЕН**

Современное естествознание: в 10 т.. т. 5 : Физика  
конденсированных сред : Энциклопедия / под ред. В. Н.  
Сойфера. - М. : МАГИСТР ПРЕСС , 2000. - 288 с.



**содержание**

**ЧЗГиЕН**

Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : в 3 т. Т. 1 / под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. Н. Саурова ; Моск. гос. ин-т электр. техники, НПО "Технолог. центр". – М. : Техносфера, 2010. – 864 с.



содержание

АНЛ



Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : в 3 т. Т. 2 / под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. Н. Саурова ; Моск. гос. ин-т электрон. техники, НПО "Технолог. центр". – М. : Техносфера, 2010. – 1040 с.



содержание

АНЛ

Справочник Шпрингера по нанотехнологиям : в 3 т. Т. 3 / под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. Н. Саурова ; Моск. гос. ин-т электрон. техники, НПО "Технологический центр". – М. : Техносфера, 2010. – 832 с.



содержание

АНЛ

Стародубцев, Ю. Н. Магнитомягкие материалы : энцикл. словарь-справочник. – М. : Техносфера, 2011. – 664 с.



содержание

АНЛ



Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологии : учеб. пособие для студентов и аспирантов вузов, специализирующихся по направлению "Нанотехнология" / под общ. ред. Л. Н. Патрикеева. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 431 с.



содержание

ЧЗГиЕН, ЧЗТН

Суздальев, И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. - М. : КомКнига , 2006. - 592 с.

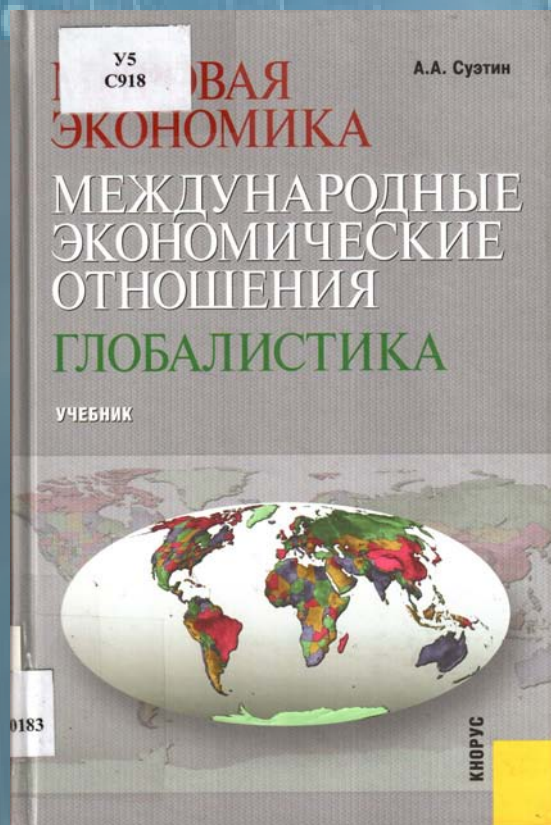


содержание

ЧЗГиЕН



Суэтин, А. А. Мировая экономика. Международные экономические отношения. Глобалистика : учебник для студентов, обучающихся по специальностям "Финансы и кредит", "Бухгалт. учет, анализ и аудит", "Мировая экономика". - М. : КноРус , 2008. - 320 с.



**содержание**

**ЧЗГиЕН, ЧЗЭН**



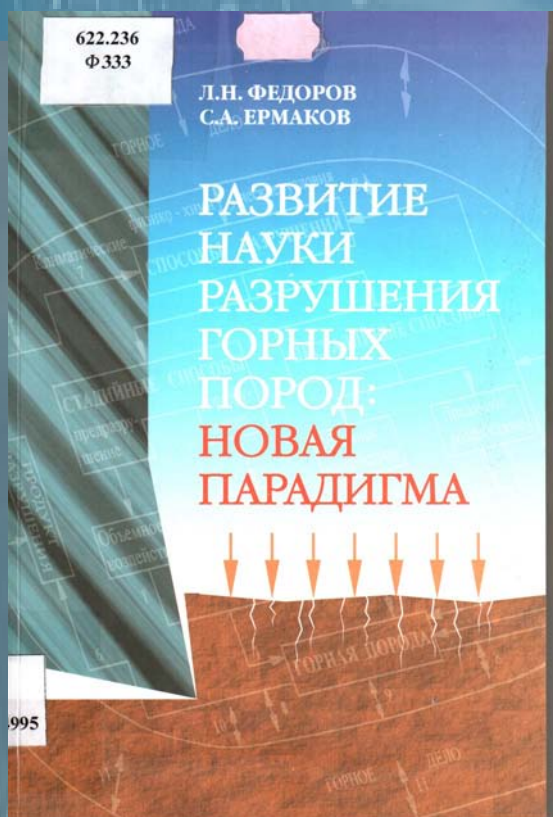
Уразаев, В. Г. ТРИЗ в электронике. - М. : Техносфера , 2006. - 320 с.



содержание

КХР

Федоров, Л. Н. Развитие науки разрушения горных пород: новая парадигма / Л. Н. Федоров, С. А. Ермаков; отв. ред. А. М. Бураков; РАН, Сиб. отд-ние, Ин-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского. - Якутск : Издательство ЯНЦ СО РАН , 2008. - 204 с.



содержание

ЧЗТН

Фолан, Л. М. Современная физика и техника для студентов / Л. М. Фолан, В. И. Цифринович, Г. П. Берман; пер. с англ. П. Е. Порсева; под ред. А. А. Кокина. - М.; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. - 144 с.



содержание

ЧЗТН



Фостер, Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / пер. с англ. А. Хачояна. - М. : Техносфера, 2008. - 352 с.



содержание

ЧЗГиЕН

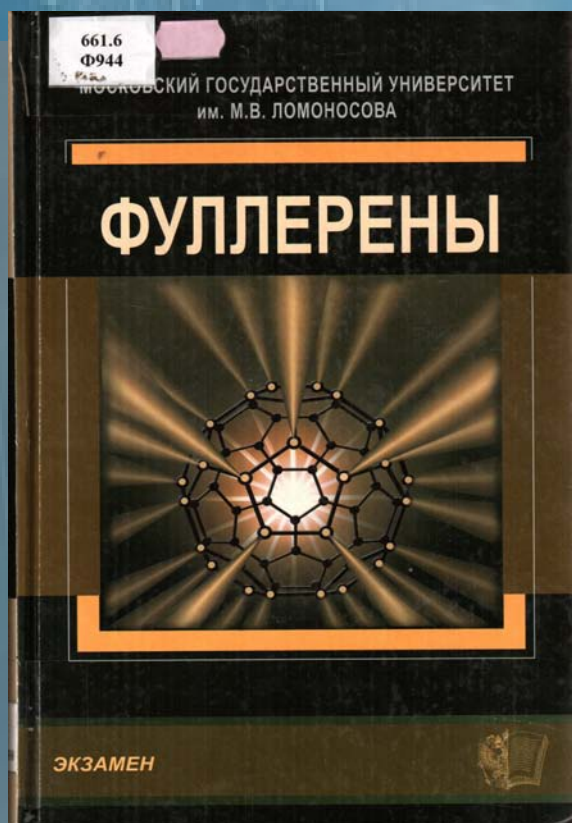
Фрайден, Д. Современные датчики : справочник / пер. с англ. Ю. А. Заболотной под ред. Е. Л. Свинцова. - М. : Техносфера, 2005. - 592 с.

содержание



ЧЗТН

Фуллерены : учеб. пособие / Л. Н. Сидоров [ и др.]; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М. : ЭКЗАМЕН , 2005. - 688 с.

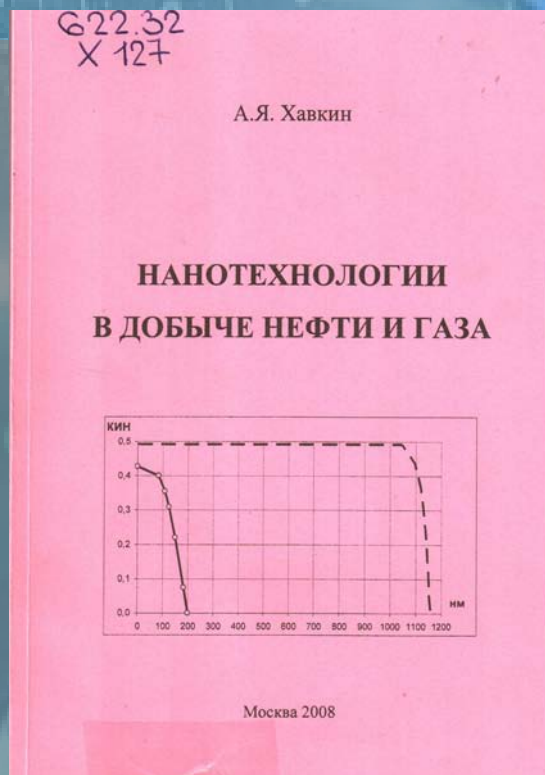


содержание

ЧЗГиЕН



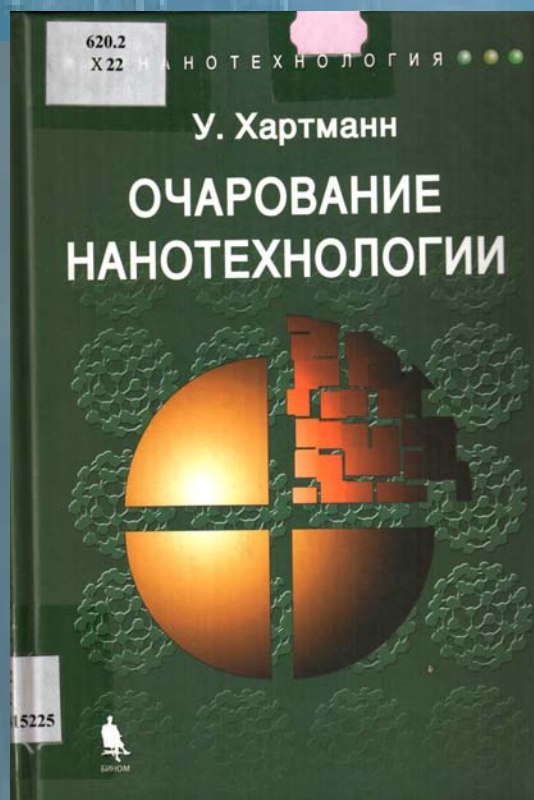
Хавкин, А. Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа : учеб. пособие для студентов по специальности "Разработка и эксплуатации нефт. и газ. месторождений" Парламент. центр "Наукоемкие технологии, интеллектуал. собственность". – М.: Спутник+, 2008. – 149 с.



**содержание**

**АНЛ**

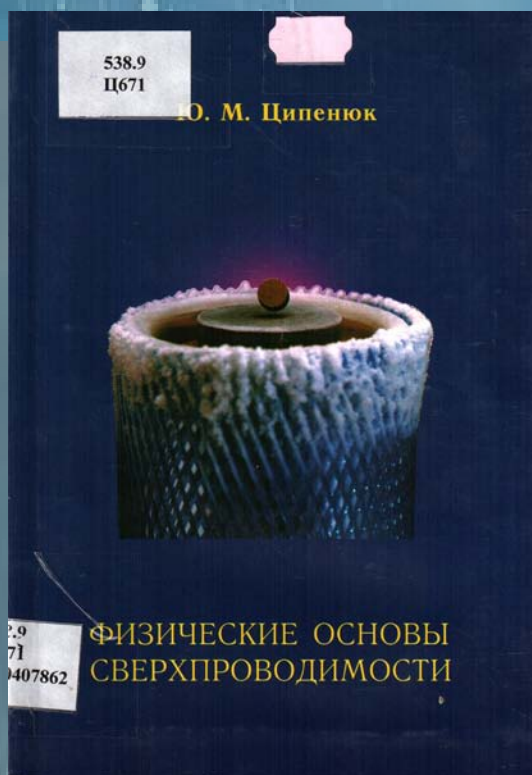
Хартманн, У. Очарование нанотехнологии / пер. с нем. Т. Н. Захаровй под ред. Л. Н. Патрикеева. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний , 2008. - 173 с.



содержание

ЧЗТН

Ципенюк, Ю. М. Физические основы сверхпроводимости : учеб. пособие по курсу общей физики МФТИ. - 2-е изд., испр. и доп - М. : Физматкнига , 2003. - 160 с.

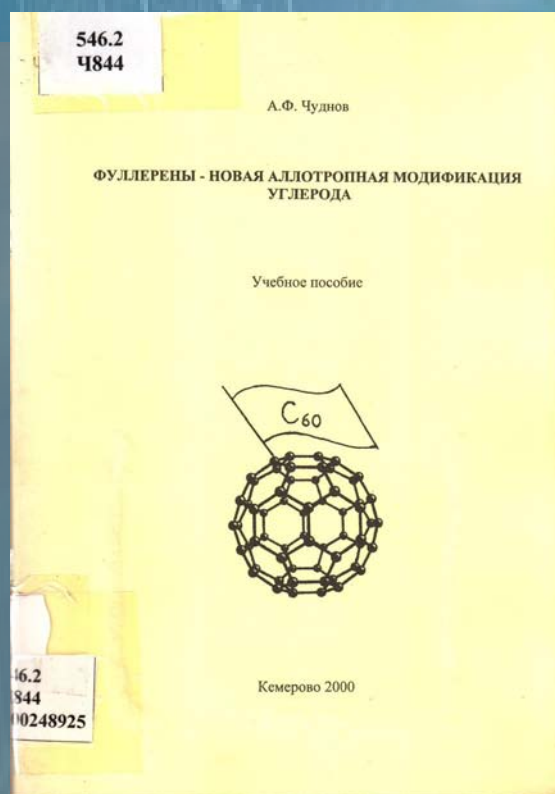


содержание

ЧЗТН



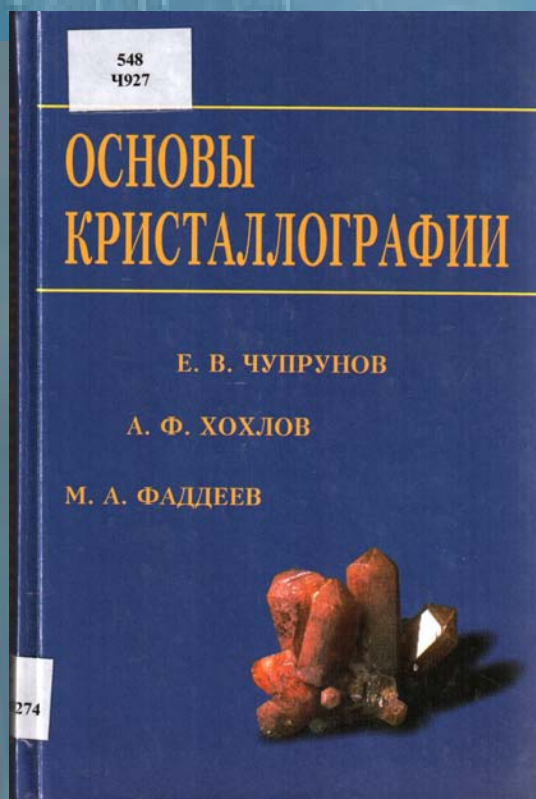
Чуднов, А. Ф. Фуллерены - новая аллотропная модификация углерода : учеб. пособие для вузов / Кузбас. гос. техн. ун-т. - Кемерово , 2000. – 52 с.



**содержание**

**АХТФ, ЧЗГиЕН**

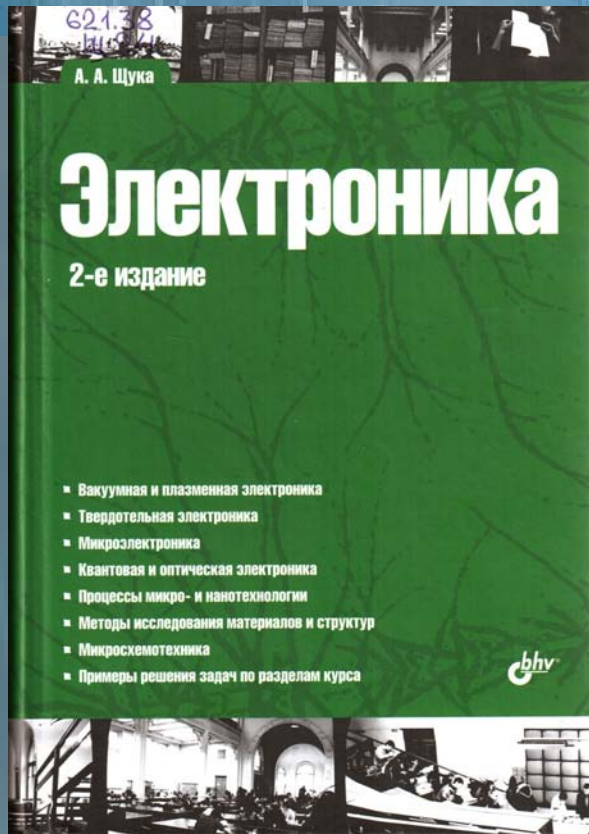
Чупрунов, Е. В. Основы кристаллографии : учебник для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. специальностям / Е. В. Чупрунов, А. Ф. Хохлов, М. А. Фаддеев. - М. : Физматлит , 2006. - 500 с.



**содержание**

**АХТФ, КХР, ЧЗГиЕН, ЧЗТН**

Щука, А. А. Электроника : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 654100 "Электроника и микроэлектроника". - 2-е изд. - СПб. : БХВ-Петербург , 2008. - 752 с.



содержание

АНЛ, ЧЗТН



Энциклопедия для детей . Т. 16 : Физика . Ч. 1 : Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира / гл. ред. М. Аксенова. - М. : Мир энциклопедий Аванта + : Аванта+ , 2007. - 448 с.



содержание

ЧЗТН

Энциклопедия для детей . Т.16 : Физика . Ч. 2 : Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц : . / гл. ред. М. Аксенова. - М. : Мир энциклопедий Аванта+ : Аванта+ , 2007. - 432 с.



содержание

ЧЗТН

# Алфавитный указатель журналов:

**Г**

**Горный информационно - аналитический бюллетень**

**Д**

**Деловой Кузбасс**

**И**

**Известия Высших учебных заведений. Физика**

**Известия Российской Академии наук. Серия физическая**

**Известия Российской Академии наук. Энергетика**

**Инженерно – физический журнал**

**М**

**Машиностроитель**

**Микроэлектроника**

**У**

**Упрочняющие технологии покрытия**

**Ф**

**Физика горения и взрыва**

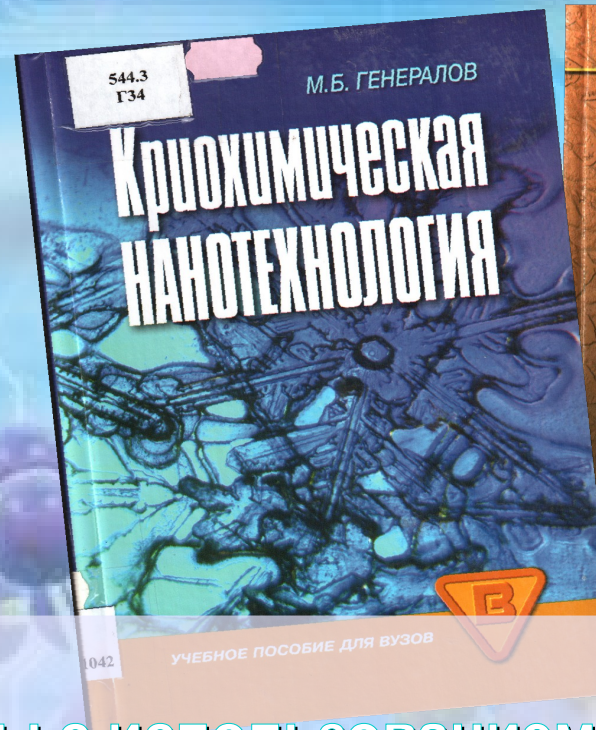
**Физика и химия обработки материалов**

**Физика металлов и металловедение**

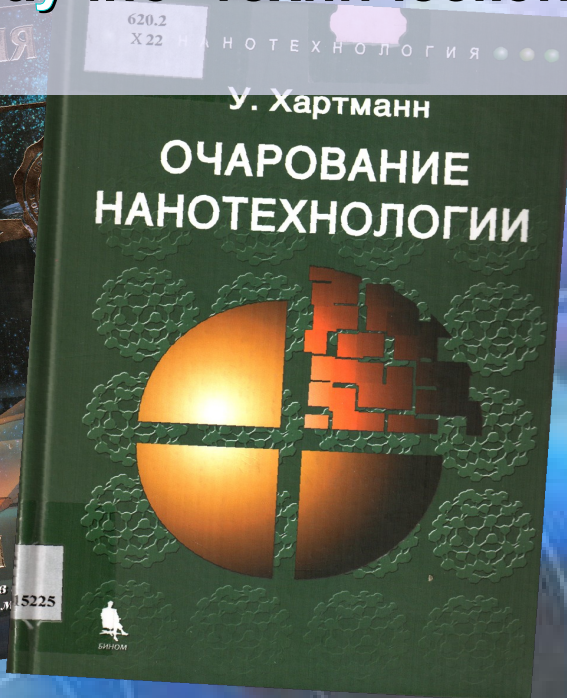
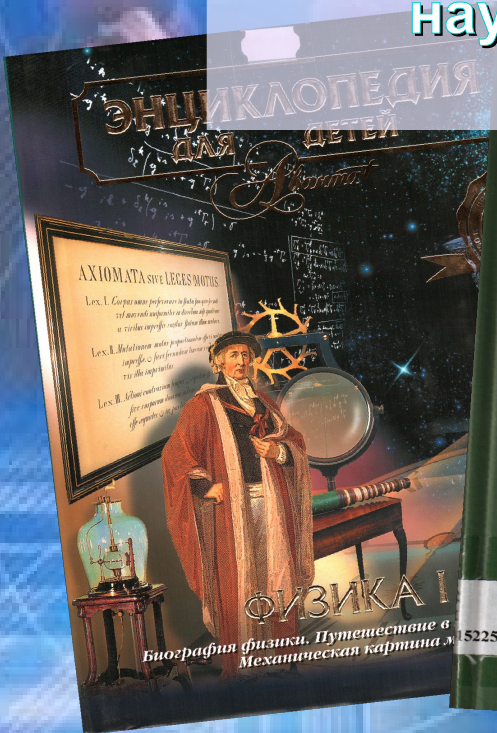
**Физика твердого тела**

**Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых**





Материалы подготовлены с использованием фонда научно-технической библиотекой КузГТУ.



Зульфугарзаде, Т. Э. Национальное регулирование в сфере нанотехнологий в странах Евросоюза и США // Горн. информационно-аналит. бюл. – 2008. - №4. – С. 321-333; №5. – С. 392-399; №6. – С. 393-399; №7. – С. 399-402.

Зульфугарзаде, Т. Э. Основные направления развития международно-правового регулирования в сфере нанотехнологий // Горн. информационно-аналит. бюл. . – 2008. – №3. – С. 388-400.

Зульфугарзаде, Т. Э. Международно-правовое регулирование влияния нанотехнологий на безопасность человека и окружающей среды // Горн. информационно-аналит. бюл. – 2012. - №2. – С. 376-380.



Сечкарев, Б. НАНОтерритория – Кузбасс : [беседа с участниками проекта] / Б. Сечкарев, С. Никитенко, Л. Патракова; [записала] Е. Логинова // Деловой Кузбасс. – 2009. - №5-6. – С. 30-32.

О развитии нанотехнологий в Кузбассе.

Особенности ферромагнитного резонанса в кобальтосодержащих гранулированных наноструктурах / С. А. Вызулин // Изв. вузов. Физика. – 2006. - №3. – С. 47-53.

Структура и магнитные свойства наноразмерных порошков простых ферритов, полученных методом механохимического синтеза / Е. П. Найден [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2006. - №9. – С. 40-44.

Температурные зависимости СВЧ-спектров магнитной проницаемости наноразмерных порошков гексаферита  $\text{Co}_{0,7}\text{Zn}_{1,3}\text{W}$  // В. И. Суляев [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2006. - №9. – С. 35-39.

Шалин, А. С. Электродинамический отклик коллоидного ансамбля с учетом влияния удаленных наночастиц // Изв. вузов. Физика. – 2006. - №8. – С. 3-11.

Ковалевская, Т. А. Математическое моделирование пластической деформации кристаллических материалов с нанодисперсной упрочняющей фазой / Т. А. Ковалевская, О. И. Дайнеко, С. Н. Колупаева // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №11. – С. 25-32.

Морфология и сопряжение нанокристаллов, растущих в аморфных пленках Cr-O и V-O при отжиге<sup>1</sup> / А. Г. Багмут [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №11. – С. 5-12.

Найден, Е. П. Особенности магнитных свойств наноразмерных порошков феррошпинелей, полученных методом механохимических реакций // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №2. – С. 66-72.

Нанокompозитные и наноструктурные сверхтвердые покрытия системы Ti-Si-B-N / А. Д. Коротаев [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №10. – С. 13-23.

Обнаружение углеродных наноструктур в науглероженной железохромовой шпинели / Ю. А. Рябикин [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №1. – С. 87-92.

Структура и свойства нанокристаллических покрытий Ti-Si-N, синтезированных в вакууме электродуговым методом<sup>1</sup> / Н. Н. Коваль [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №2. – С. 46-51.

Хаймович, П. А. Наноструктурирование металлов криодеформированием при всестороннем сжатии // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №11. – С. 13-16.

Электронно-микроскопические исследования наноструктуры Al-Cr-Zr-сплава<sup>1</sup> // Изв. вузов. Физика. – 2007. - №11. – С. 17-24.



Белоненко, М. Б. Дизайн солитонных решеток электронов углеродных нанотрубок магнитным полем / М. Б. Белоненко, Н. Г. Лебедев, О. Ю. Тузалина // Изв. вузов. Физика. – 2008. - №1. – С. 33-38.

Детекторы гамма-излучений на основе GaAs<Cr> для исследования наноструктур / Г. И. Айзенштат [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2008. - №10. – С. 38-52.

Журавлев, В. А. Ферромагнитный резонанс в наноразмерных порошках гексаферитритов / В. А. Журавлев, Е. П. Найден // Изв. вузов. Физика. – 2008. - №1. – С. 33-38.

Исследования и компьютерное моделирование процесса межзёренной диффузии в субмикро- и нанокристаллических металлах / Ю. Р. Колобов [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2008. - №4. – С. 47-60.

Коваль, Н. Н. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке / Н. Н. Коваль, Ю. Ф. Иванов // Изв. вузов. Физика. – 2008. - №5. – С. 60-70.

Мулюков, Р. Р. Деформационные методы наноструктурирования материалов : предпосылки, история, настоящее и перспективы / Р. Р. Мулюков, А. А. Назаров, Р. М. Имаев // Изв. вузов. Физика. – 2008. - №5. – С. 49-59.

Афанасова, М. М. Роль электрон-электронного и электрон-фононного взаимодействий в процессах разрушения квантования Ландау в наноструктурах InAs/AlSb / М. М. Афанасова, В. А. Степанов // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №8. – С. 20-24.

Влияние дефектов структуры на поведение незамкнутых кристаллических наноструктур<sup>1</sup> / С. Г. Псахье [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №6. – С. 49-53.

Влияние зеренной структуры на развитие мартенситных превращений в наноструктурном никелиде титана / А. Б. Скосырский [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №5. – С. 72-77.

Водородосорбционные характеристики углеродных наноструктур, рассчитанные на основе уравнения Орнштейна-Цернике<sup>1</sup> / Ю. В. Аграфонов [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №8. – С. 31-39.

Волчков, С. О. Гигантский магнитный импеданс пленочных наноструктур, адаптированных для биодетектирования / С. О. Волчков, А. В. Свалов, Г. В. Курляндская // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №8. – С. 3-9.

Гидродинамика скручивания наносвистка / С. А. Чивилихин [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №11. – С. 3-6.

Динамические длиннопериодические наноразмерные состояния в решетчатой структуре<sup>1</sup> / С. В. Дмитриев\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №2. – С.21-26.

Диффузионное зондирование наночастицами структуры воды и водно-органических растворов вблизи пористой поверхности и в объеме в широком интервале температур / В. В. Брюханов [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №2. – С. 8-15.

Егорушкин, В. Е. Роль структурных неоднородностей в температурном поведении термоЭДС в «грязных» металлизированных нанотрубках<sup>1</sup> / В. Е. Егорушкин, Н. В. Мельникова, А. Н. Понамарев // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №3. – С. 31-41.

Исследование структуры и физико-химических свойств нанокompозитных комбинированных покрытий на основе Ti-N-Cr/Ni-Cr-B-Si-Fe<sup>1</sup> / А. Д. Погребняк<sup>1,2</sup> [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №12. – С. 61-68.

Модифицированные углеродные наноструктуры как материалы для хранения водорода / А. В. Авдеенков\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №11. – С. 113-118.

Молекулярно-динамическое изучение колебаний незамкнутых наноструктур на основе бислойных металлических пленок<sup>1</sup> / С. Г. Псахье [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №7. – С. 21-24.

О возможности диагностики дефектности керамических наноструктурных покрытий.

Нанотрибоспектроскопия<sup>1</sup> / С. Г. Псахье\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №4. – С. 45-49.

Откольное разрушение ультромелкозернистых и крупнозернистых ГЦК-металлов при воздействии наносекундного релятивистского сильноточного электронного пучка<sup>1</sup> / Е. Ф. Дударев\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №3. – С. 19-24.

Полунин, В. М. К изучению формы дисперсных наночастиц на основе модели вращательной вязкости / В. М. Полунин, А. Н. Кутуев // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №8. – С. 10-15.

Согласование классического и квантового описания ближнего порядка в наноразмерных молекулярных системах<sup>1</sup> / Ю. В. Агафонов\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №11. – С. 36-45.

Спектры диффузионного отражения и их изменение при облучении электронами микро-, модифицированных и нанопорошков оксида алюминия / М. М. Михайлов\*\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №10. – С. 32-37.

Формирование структуры пентагональных частиц из нанокластеров меди<sup>1</sup> / А. Г. Липницкий [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2009. - №2. – С. 27-32.



Восстановление спектра электронного пучка наносекундной длительности из данных по его ослаблению в тонких фольгах / А. В. Козырев\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2010. – №4. – С. 33-39.

Гейнц, Ю. Э. Нанопотоника изолированных сферических частиц / Ю. Э. Гейнц, А. А. Землянов, Е. К. Панина // Изв. вузов. Физика. – 2010. – №4. – С. 76-85.

Исследования временных характеристик фотодетекторов на основе наногетероструктур Ge/Si<sup>1</sup> / В. А. Донченко\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2010. – №5. – С. 64-67.

Структуры с поочередными полупроводниковыми и нематическими нанопрослойками: формирование, свойства, применение / Ф. О. Иващшин\* [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2010. - №2. – С. 46-53.

Филиппов, В. В. Моделирование электронных свойств кремниевых наночастиц с плотной атомной упаковкой / В. В. Филиппов, А. Н. Власов // Изв. вузов. Физика. – 2010. - №1. – С. 70-75.

XANES-исследования в межатомных взаимодействиях в нанокompозитах  $(\text{CoFeZr})_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  / Э. П. Домашевская<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №4. – С. 479-483.

XPS-исследования нанослоев оксидов олова / Э. П. Домашевская [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №4. – С. 536-541.

Артемьев<sup>1</sup>, Е. М. Структура гетерогенных состояний в нанокристаллических пленках CoPd / Е. М. Артемьев<sup>1</sup>, В. И. Зайковский // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1407-1409.

Атомно-проекторная параллельная фабрикация наноструктур / В. И. Балыкин [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 224-228.

Басин, А. С. Модель изменения наноструктуры металлов при плавлении // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1467-1470.

Белоненко<sup>1</sup>, М. Б. Взаимодействие ультракоротких световых импульсов с углеродными нанотрубками / М. Б. Белоненко<sup>1</sup>, Е. В. Демушкина<sup>2</sup>, Н. Г. Лебедев<sup>2</sup> // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №5. – С. 711-714.

Белоненко, М. Б. Периодические домены тока в системе углеродных нанотрубок / М. Б. Белоненко, Е. В. Демушкина, Н. Г. Лебедев // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №1. – С. 28-32.

Белоненко, М. Б. Управление солитонными решетками электронов углеродных нанотрубок магнитным полем / М. Б. Белоненко, Н. Г. Лебедев, О. Ю. Тузалина // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №12. – С. 1708-1710.

Бушуев, В. А. Тонкопленочный рентгеновский волновод на основе многослойной структуры с нанорезонатором / В. А. Бушуев, О. Д. Рошупкина // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 209-213.

Власова, Д. Д. Оптимальные условия возбуждения сигналов долгоживущего фотонного эха в примесных нанокристаллах / Д. Д. Власова, А. А. Калачёв // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №12. – С. 1747-1750.

Ворох<sup>1</sup>, А. С. Переход неупорядоченной структуры сульфида кадмия CdS в структуру вюрцита при увеличении размера наночастиц / А. С. Ворох<sup>1</sup>, Н. С. К. Кожевникова<sup>1</sup>, А. А. Ремпель<sup>1,2</sup> // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1472-1475.

Гафнер, С. Л. Формирование структурных модификаций при кристаллизации нанокластеров Cu и Ni / С. Л.

Гафнер, Л. В. Редель, В. Я. Гафнер // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1458-1460.

Глезер, А. М. Механизмы взаимодействия полос сдвига с наночастицами в аморфно-кристаллических сплавах / А. М. Глезер, И. Е. Пермякова, С. Е. Манаенков // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №9. – С. 1335-1336.

Исследование туннельной проводимости и электронной экранировки в нанокластерах d-металлов на поверхности графита / М. А. Пушкин [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №7. – С. 931-936.

Кинетика диффузии молекул воды в нанопористом адсорбенте / П. О. Капралов [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №12. – С. 1775-1779.

Кинетические уравнения и рост нанокристаллов в методах молекулярно-пучковой эпитаксии / Ю. В. Трушин<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №7. – С. 991-994.

Лозован, А. А. Нанесение наноструктурных покрытий на внутренние поверхности труб импульсным лазерным осаждением / А. А. Лозован, С. В. Франгулов // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №7. – С. 1008-1010.

Локальная структура наноразмерных порошков тугоплавких нитридов, применяемых для повышения критического тока высокотемпературных сверхпроводников / А. П. Менушенков<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №8. – С. 1127-1129.

Ломаев, И. Л. Механизмы деформационного растворения фаз в наноструктурированных металлах / И. Л. Ломаев, Е. П. Елсуков // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1496-1499.

Метод и экспериментальная установка для визуального позиционирования наноконтактов / Р. И. Тегаев [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1439-1441.

Миронов, А. Ю. Влияние беспорядка на осцилляции магнитосопротивления в наноперфорированных сверхпроводящих пленках / А. Ю. Миронов, П. Ю. Гатиллов, Т. И. Батурина // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 158-161.

Модификация физико-механических свойств металлических материалов посредством формирования наноразмерных интерметаллидных фаз в условиях ионной имплантации / И. А. Курзина<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №8. – С. 1191-1194.

Морфология и фотолюминесценция самоформирующихся нанокластеров GeSi/Si, выращенных методом сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии в среде германа / Д. О. Филатов [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 268-271.

Наноструктуры систем Si/SiO<sub>2</sub>/металл с треками быстрых тяжелых ионов / С. Е. Демьянов<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №9. – С. 1262-1264.



О размерной зависимости температуры плавления наночастиц / Н. Ю. Сдобняков [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1448-1450.

Овчинников, С. Г. Особенности электронной структуры и оптических спектров наночастиц мотовских диэлектриков // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 173-175.

Разинкин, А. С. Поверхностные квазиупорядоченные наноструктуры  $\text{NbO}_x/\text{Nb}(110)$ : исследование методами поверхностного анализа / А. С. Разинкин, Е. В. Шалаева, М. В. Кузнецов // Известия Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С. 1395-1399.

Рентгенографическая аппаратура с высоким временным разрешением для изучения наноструктур с использованием синхронного излучения / В. Н. Корнеев [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 214-217.

Рентгеноэлектронные исследования углероникельсодержащих наноструктур, полученных в нанореакторах гелей поливинилового спирта и смеси поливинилового спирта и полиэтиленполиамин / Л. Г. Макарова<sup>1,4</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №4. – С. 491-495.

Состав и строение слоев нанопористого кремния с гальванически осажденным Fe и Co / В. М. Кашкаров [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №4. – С. 484-490.

Спектры оптических фонов наночастиц фторида, оксифторида и оксида лютеция / А. В. Баженов [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №8. – С. 1180-1182.

Структура, фазовый состав и оптические свойства нанопорошков кремния / В. А. Терехов<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №4. – С. 532-535.

Структура и оптические свойства ZnO-нанокристаллов, полученных методом импульсного лазерного напыления на пленках GaN/Si(111) с использованием Au- и NiO-катализаторов / Е. М. Кайдашев<sup>1,5</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №8. – С. 1195-1197.

Теперик<sup>1</sup>, Т. В. Полное поглощение света в наноструктурах с плазмонным резонансом / Т. В. Теперик<sup>1</sup>, В. В. Попов<sup>1</sup>, Garcia de Abajo<sup>2</sup> // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 248-251.

Термоиндуцированный распад неупорядоченного нанокристаллического пересыщенного твердого раствора  $\alpha\text{-Fe(Pb)}$  / А. Л. Ульянов [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №8. – С. 1133-1135.

Тимошенко, Ю. К. Визуализация локализованных электронных состояний нанокристалла AgCl с адсорбированным на атомно-шероховатой поверхности ионом серебра / Ю. К. Тимошенко, В. А. Шунина // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №9. – С. 1311-1313.

Усиление магнитооптического отклика в многослойной системе наноккомпозит – гидрогенизированный аморфный кремний / Е. А. Ганьшина<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №10. – С.

Филиппов<sup>1</sup>, В. В. Квантово-химическое моделирование структуры напряженных нанокристаллов кремния на германиевой подложке / В. В. Филиппов<sup>1</sup>, Н. С. Переславцева<sup>2</sup>, С. И. Курганский<sup>3</sup> // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №9. – С. 1314-1316.

Формирование нанодоменных структур в результате импульсного лазерного облучения ниобата лития / В. Я. Шур [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №2. – С. 198-200.

Чантурия, В. А. Концентрация энергии в электрических разрядах между частицами полупроводниковых сульфидных минералов при воздействии мощных наносекундных импульсов / В. А. Чантурия, И. Ж.. Бунин, А. Т. Ковалев // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, №8. – С. 1118- 1121.

Андриевский, Р. А. Хрупкие наноматериалы: твердость и сверхпластичность // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №9. – С. 1290-1294.

АСМ-исследования наночастиц, формирующихся при модифицировании поверхности кремния фемтосекундными лазерными импульсами / Л. А. Головань [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 43-45.

Белоненко<sup>1</sup>, М. Б. Нелинейная проводимость однослойных углеродных нанотрубок типа «зигзаг» / М. Б. Белоненко<sup>1</sup>, С. Ю. Глазов<sup>2</sup>, Н. Е. Мещерякова // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №12. – С. 1709-1712.

Белоненко<sup>1</sup>, М. Б. Управление ультракороткими оптическими импульсами электрическими полями в углеродных нанотрубках при низких температурах / М. Б. Белоненко<sup>1</sup>, Н. Г. Лебедев<sup>2</sup>, О. Ю. Тузалина<sup>1</sup> // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №12. – С. 1705-1708.

Васильев, Л. С. Топологические дефекты дислокационного типа и механизмы пластичности и разрушения наноструктурированных и аморфных материалов / Л. С. Васильев, С. Ф. Ломаева // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 128-131.

Гайслер, В. А. Однофотонные источники света на основе полупроводниковых наноструктур // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С.83-86.

Гришин, В. К. Когерентные эффекты в тормозном излучении релятивистских электронов и нанодиагностика / В. К. Гришин, Д. П. Никитин // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №4. – С. 525-528.

Двуреченский, А. В. Физические явления и технологии в основе полупроводниковых наноструктур с квантовыми точками для ИК-диапазона / А. В. Двуреченский, А. И. Якимов // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 71-75.

Двусторонняя память формы в наноразмерном образце сплава  $\text{Ti}_{49.5}\text{Ni}_{25.5}\text{Cu}_{25.0}$  с частично упорядоченной структурой / Р. М. Гречишкин [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №8. – С. 1138-1140.

Изучение влияния термообработки на формирование наноструктурного состояния в объемных сплавах никелида титана, подвергнутых интенсивной пластической деформации / Р. З. Валиев<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №11. – С. 1616-1619.

Исследование in situ ферромагнетизма при комнатной температуре в магнитных нанослоях / Н. Н. Косырев [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 24-26.



Карпович, И. А. Фотомагнитный эффект в гетеронаноструктурах с квантовыми точками и ямами In(Ga)As/GaAs / И. А. Карпович, О. Е. Хапугин // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 119-122.

Козлов, В. А. Квантовые биения и терагерцевая отрицательная проводимость на пролетных частотах в нанометровых полупроводниковых гетероструктурах / В. А. Козлов, В. А. Вербус, А. В. Николаев // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 87-90.

Красильников, В. В. Закономерности зернограничной диффузии при неравномерности границ зерен и их миграция в наноструктурных материалах / В. В. Красильников, С. Е. Савотченко // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №9. – С. 1348-1354.

Митин, А. В. Дискретная природа сверхпроводящих наноканалов в в псевдоцелевом режиме купратов при  $T > 200\text{K}$  // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №8. – С. 1122-1125.

Митин, А. В. Эффекты переключения электросопротивления в оксидах ниобия: метастабильные наноканалы / А. В. Митин, В. Ф. Шамрай, А. С. Гордеев // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 134-137.

Низкоразмерные наноструктуры и пленки фуллеренов на поверхности полупроводников / Р. З. Бахтизин [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 36-39.

Образование длиннопериодных наноструктурных фаз в  $L2_1$  – сплавах на основе  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  с термоупругими мартенситными переходами / В. Г. Пушин [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №8. – С. 1095-1097.

Ориентированные наностержни ZnO и их ИК-спектры отражения / В. Е. Кайдашев<sup>1</sup> [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №11. – С. 1628-1631.

Особенности свойств наноструктурированных карбидокремниевых пленок и покрытий, полученных новым способом / К. Н. Филонов [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №10. – С. 1457-1459.

Первые российские стандарты в нанотехнологии / В. П. Гавриленко [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №4. – С. 454-462.

Пушин, В. Г. Особенности мартенситных превращений, микроструктура и механические свойства наноструктурных сплавов системы TiNi-TiFe с памятью формы / В. Г. Пушин, Н. И. Коуров, Т. Э. Кунцевич // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №8. – С. 1088-1090.

Свойства и микроструктура композитов поликапроамида и многостенных углеродных нанотрубок / Т. В. Волкова [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №4. – С. 499-502.

Синтез и исследование фотокаталитической активности наноразмерных 1-D-оксидов  $\text{Ti}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_2$  ( $0 \leq x \leq 0.13$ ) и  $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$  ( $0 \leq x \leq 0.3$ ) / О. И. Гырдазова [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №8. – С. 1175-1178.

Стабилизация фаз высокого давления в нанокристаллических металлах и сплавах / В. Н. Варюхин [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №9. – С. 1258-1264.

Сцинтилляционные волокна и наносцинтилляторы для улучшения пространственного, спектрометрического и временного разрешения радиационных детекторов / Н. В. Классен [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №10. – С. 1451-1456.

Тиходеев, С. Г. Эффективный электромагнитный отклик наноструктурированных металлодиэлектрических метаматериалов // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 95-97.

Фазовые переходы в неравновесных электронно-дырочных системах наногетероструктур Si/SiGe/Si / Т. М. Бурбаев [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 76-78.

Электролюминесценция горячих носителей заряда в режиме спонтанного и стимулированного излучения из лазерных наноструктур и поглощение ИК-излучения горячими электронами в квантовых ямах / Л. Е. Воробьев [и др.] // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, №1. – С. 79-82.

Болтнев, Р. Е. Примесь-гелиевые конденсаты – новые энергоемкие криогенные наноматериалы / Р. Е. Болтнев, И. Н. Крушинская // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. – 2008. - №3. – С. 151-157.



Возможности получения наночастиц никеля в водной среде с помощью лазерного воздействия / В. К. Гончаров [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №2. – С. 206-210.

Зайцев, А. Л. Энергетика адсорбции и диффузии молекулы водорода в пластину (001) нанокристаллического алюминия / А. Л. Зайцев, Ю. М. Плескачевский, С. А. Чижик // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №1. – С. 157-164.

Исследование особенностей синтеза водорода при разложении воды на микро- и наноструктурированных порошках кремния / В. А. Лабунов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №3. – С. 587-591.

Исследование получения углеродных нанотрубок из воздушно-пропанбутановой смеси в высоковольтном разряде атмосферного давления с внешним магнитным полем / Л. И. Шараховский [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №4. – С. 621-629.

Низкотемпературный плазмохимический синтез углеродных нанотрубок на никелевых рисунках, полученных методом фотокаталитической литографии / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №2. – С. 203-205.

О механизме переноса углерода к поверхности осаждения в проточном электроразрядном реакторе для синтеза углеродных наноматериалов / В. М. Волжанский [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №1. – С. 137-146.

Образование углеродных наноструктур при разложении метана в плазме высоковольтного разряда атмосферного давления / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №4. – С. 617-620.

Рудяк, В. Я. О влиянии физических свойств материала наночастиц на их диффузию в разряженных газах / В. Я. Рудяк, С. Л. Краснолуцкий, Е. Н. Иващенко // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, №3. – С. 496-500.

Абрамов, Г. В. Гидродинамическое описание механизма образования углеродных нанотрубок / Г. В. Абрамов, А. И. Иванов, Г. В. Попов // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80, №6. – С. 49-56.

Каталитический синтез углеродных нанотрубок в плазме импульсного барьерного разряда / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80, №6. – С. 44-48.

Боровик, Ф. Н. Формирование конических структур при росте углеродных нановолокон в плазме тлеющего разряда / Ф. Н. Боровик, С. П. Фисенко // Инженерно-физический журнал. – 2009. – Т. 81, №6. – С. 1094-1096.

Об условиях формирования углеродных наноструктур на стальной поверхности реактора из продуктов разложения углеродов в низкотемпературной плазме. 1. Экспериментальная установка, определение ключевых закономерностей, оценка производительности / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2009. – Т. 82, №3. – С. 413-419.

Об условиях формирования углеродных наноструктур на стальной поверхности реактора из продуктов разложения углеродов в низкотемпературной плазме. 2. Модернизация экспериментальной установки, поиск оптимальных режимов работы, определение дополнительных управляющих факторов процесса / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2009. – Т. 82, №3. – С. 420-424.

Фисенко, С. П. Броуновское движение и дрейф заряженных наночастиц в ламинарном газовом потоке в плоском канале // Инженерно-физический журнал. – 2009. – Т. 82, №2. – С. 215-220.



Алексеев<sup>1,2)</sup>, С. В. Нанокластерное инициирование горения некондиционных углеводородных топлив / С. В. Алексеев<sup>1,2)</sup>, С. Э. Пащенко<sup>2)</sup>, В. В. Саломатов<sup>1,2)</sup> // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №4. – С. 682-693.

Бараньшин, Е. А. Решение обратной задачи для параметров первичных наночастиц углерода по данным электронной микроскопии // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №3. – С. 340-432.

Герасимов, Г. Я. Образование и преобразование углеродных наноструктур под действием радиации // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №4. – С. 796-808.

Коалесценция и начальная стадия формирования нановолокон по схеме «пар–жидкость–твердое тело» / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №3. – С. 417-420.

О свойствах стали, модифицированной углеродными наноматериалами / С. А. Жданок<sup>1)</sup>[и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №1. – С. 3-7.

Получение углеродных наноматериалов на установке с плазмотроном и рабочей зоной прямоугольного сечения / С. А. Жданок [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №1. – С. 8-10.

Структурные изменения глиносодержащего нанокompозита с разным влагосодержанием при его деформировании / Е. А. Файтельсон [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №3. – С. 421-429.

Фисенко, С. П. Эффективность броуновского осаждения наночастиц из газового потока в трубе // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, №1. – С. 11-14.

Повышение надежности, долговечности, экологической безопасности  
конструкционных материалов наномасштабным поверхностным  
металлохелатированием / В. Г. Старчак [и др.] // Машиностроитель. – 2010. - №2. – С.  
39-45.

Викулов, В. А. Структурные и оптические свойства пленок нанокристаллического кремния, полученного методом PECVD. Сравнение с пористым кремнием / В. А. Викулов, В. В. Коробцов // Микроэлектроника. – 2007. – Т. 36, №2. – С.116-123.

Горбацевич, А. А. Волноводная наноэлектроника / А. А. Горбацевич, В. В. Капаев // Микроэлектроника. – 2007. – Т. 36, №1. – С. 3-16.



Формирование микро- и наноструктур на поверхности эпитаксиальных пленок  $A^4B^6$  при обработке в аргоновой плазме / С. П. Зимин [и др.] // Микроэлектроника. – 2008. – Т. 37, №3. – С. 200-212.

Бобринецкий, И. И. Методы параллельной интеграции углеродных нанотрубок при формировании ференциональных устройств микроэлектроники и сенсорной техники // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 39, №5. – С. 353-360.

Ежовский, Ю. К. Формирование и некоторые свойства хромоксидных нанослоев на полупроводниках / Ю. К. Ежовский, В. Ю. Холкин // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 37, №6. – С. 411-417.

Ковалевский, А. А. Исследование особенностей формирования нанокластеров германия в процессе окисления и термообработки пленок поликристаллического кремния, легированного германием / А. А. Ковалевский, А. С. Строгова, Д. В. Плякин // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 38, №3. – С. 130-142.

Неизвестный, И. Г. Полупроводниковые нанопроволочные сенсоры // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 38, №4. – С. 243-259.

Позитроника и нанотехнологии: возможности изучения нанообъектов в технически важных материалах методом позитронной аннигиляционной спектроскопии / В. И. Графутин<sup>1</sup> [и др.] // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 38, №6. – С. 464-475.

Теория и моделирование нано- и микропроцессов разрушения тонкопленочных проводников и долговечность металлизации интегральных микросхем. Часть I. Общая теория переноса вакансий, генерации механических напряжений и зарождения микрополостей при электромиграции. Деграция и разрушение многоуровневой металлизации / К. А. Валиев [и др.] // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 38, №6. – С. 404-427.

Трушин, О. С. Исследование магнитных характеристик пермалловых наноструктур методом микромагнитного моделирования / О. С. Трушин, Н. Барабанова, В. П. Алексеев // Микроэкономика. – 2009. – Т. 38, №3. – С. 198-203.

Чистые боксы с искусственным климатом для атомно-силовой микроскопии : новые возможности для диагностики наноразмерных объектов / А. Л. Толстихина [и др.] // Микроэлектроника. – 2009. – Т. 38, №2. – С. 122-129.

Бледнова, Ж. М. Методические подходы и новые технические решения для формирования наноструктурированных поверхностных слоев в условиях высокого градиента температур / Ж. М. Бледнова, М. И. Чаевский, П. О. Русинов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. - №11. – С. 46-52.

Сутягин, В. В. Повышение ресурса концевой инструмента за счет применения нанокompозитных PVD-покрытий при обработке титановых сплавов в авиастроении / В. В. Сутягин, С. А. Сайкин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. - №5. – С. 41-44.

Фоминский, В. Ю. Трибологические свойства тонкопленочных наноструктурированных покрытий в системе элементов W-Se-C / В. Ю. Фоминский, Р. И. Романов, И. В. Костычев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. - №9. – С. 3-10.



Бледнова, Ж. М. Формирование наноструктурированных поверхностных слоев и материалов с памятью формы на основе TiNi плазменной наплавкой<sup>1</sup> / Ж. М. Бледнова, П. О. Русинов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №8. – С. 23-32.

Злобин, С. Б. Сравнительный анализ свойств наноструктурных и микроструктурных керметных детонационных покрытий<sup>1</sup> / С. Б. Злобин, В. Ю. Ульяницкий, А. А. Штернер // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №3. – С. 3-11.

Кречетов, А. А. Функциональная модель технологического наследования наноструктурированного состояния поверхностного слоя на стадиях жизненного цикла деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №12. – С. 10-15.

Курбанов, Э. Д. Области свечения наносекундного импульсного разряда в атмосферном воздухе при различных конфигурациях потенциального электрода / Э. Д. Курбанов, А. В. Горин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №10. – С. 12-16.

О влиянии микрочастиц на трибологические свойства градиентных Mo-Se-Ni-C покрытий, формируемых импульсным лазерным осаждением / В. Ю. Фоминский [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №9. – С. 20-27.

Нанокompозитные градиентные покрытия.

Хромов, В. Н. Оценка объемных наноструктурированных покрытий при газопламенном напылении с использованием водородно-кислородного пламени / В. Н. Хромов, В. Н. Коренев, В. В. Барабаш // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №5. – С. 33-37.

Хромов, В. Н. Электроискровая обработка поверхностей деталей как способ получения износостойких покрытий из объемных наноструктурированных частиц / В. Н. Хромов, И. С. Кузнецов, А. С. Петрашов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - №4. – С. 23-26.

Петрова, Л. Г. Формирование наноструктурных дисперсно-упрочненных покрытий путем химико-термической обработки легированных сталей в разделенных атмосферах воздуха и аммиака / Л. Г. Петрова, В. А. Александров, Л. П. Шестопалова // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №4. – С. 25-32.

Ильин, А. П. Продукты горения смесей нанопорошков алюминия и вольфрама в воздухе / А. П. Ильин, Л. О. Толбанова // Физика горения и взрыва. – 2007. – Т. 43, №4. – С. 59-65.

Кинетика электропроводности продуктов детонации ТАТБ как индикатор процесса роста наночастиц углерода / М. М. Горшков [и др.] // Физика горения и взрыва. – 2007. – Т. 43, №1. – С. 92-98.

Пивкина, А. Н. Наноразмерные компоненты высокоэнергетических систем: структура, термическое поведение и горение / А. Н. Пивкина, Ю. В. Фролов, Д. А. Иванов // Физика горения и взрыва. – 2007. – Т. 43, №1. – С. 60-65.



Взрывчатые характеристики алюминизированных нанокompозитов на основе октогена /  
М. Ф. Гоголя<sup>1</sup> [и др.] // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44, №2. – С. 85-100.

Алюминизированные нанокомпозиты на основе нитраминов: методика получения и исследование структуры / А. Н. Жигач<sup>1</sup> [и др.] // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, №6. – С. 35-47.

Исследование чувствительности механической смеси тетранитропентаэритрита и наночастиц Ni-C к инициированию взрыва импульсами лазера / Б. П. Адуев<sup>1</sup> [и др.] // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, №1. – С. 68-72.

Особенности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза нанокомпозиционных порошков интерметаллид/оксид с использованием механокомпозитов-прекурсоров / Т. Л. Талако<sup>1</sup> [и др.] // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, №5. – С. 51-59.

Шайтанов, А. Г. Исследование индукционного периода процесса образования нанодисперсных углеродных частиц при пиролизе углеводородов за фронтом отраженной ударной волны / А. Г. Шайтанов, В. Ф. Суровикин // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, №2. – С. 93-100.

Анисимов, А. Г. Исследование возможности электроимпульсного спекания порошковых наноструктурных композитов / А. Г. Анисимов, В. И. Мали // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46, №2. – С. 135-139.

Бондарь<sup>1</sup>, М. П. Высокоэнергетические методы создания мезокомпозиционного материала с включениями, содержащими нанокристаллические частицы / М. П. Бондарь<sup>1</sup>, М. А. Корчагин<sup>2</sup>, Е. С. Ободовский<sup>1</sup> // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46, №1. – С. 126-131.

Джараман, К. Накопление наноразмерного алюминия при горении твердотопливных композиций / К. Джараман, С. Р. Чакраварти, Р. Сарати // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46, №1. – С. 26-35.

Рогачёв<sup>1</sup>, А. С. Горение гетерогенных наноструктурных систем : (обзор) / А. С. Рогачёв<sup>1</sup>, А. С. Мукасян<sup>2</sup> // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46, №3. – С. 3-30.



Влияние добавок нанопорошка сплава Cu-Ni к минеральному маслу на триботехнические характеристики пар трения / А. П. Ильин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №3. – С. 83-87.

Газонасыщение поверхностных нанослоев в высокочастотной плазме в условиях динамического вакуума / И. Ш. Абдуллин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №3. – С. 14-17.

Кинетика спекания нанопорошков / М. И. Алымов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №5. – С. 55-61.

Математическое моделирование нагрева и испарения кварцевого стекла при лазерном синтезе нанопорошков / Г. А. Турчин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №5. – С. 49-54.

Михайлов, М. М. Кинетика фотодеградациии пигмента диоксида титаника, легированного нанопорошками  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$  / М. М Михайлов, А. Н. Соколовская // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №1. – С. 32-36.

Получение алюмоматричных композиционных материалов с наноразмерными модификаторами методами жидкофазного совмещения / Т. А. Чернышова [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №1. – С. 85-90.

Саноян, А. Г. Энтропийные модели и критерии оценки качества обработки материалов в микро- и нанотехнологиях // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №6. – С.69-74.

Структурно-фазовое состояние нанокристаллических покрытий нитридов металлов / А. Д. Кортаев [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №6. – С. 32-40.

Формирование кластеров при синтезе наноструктурных пленок  $C_{60}$ -CdTe / А. В. Нащекин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №4. – С. 26-34.

Характеристики нанопорошков, полученных с помощью электрического взрыва луженых медных проводников в аргоне / А. П. Ильин\* [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. - №5. – С. 62-65.

Алымов, М. И. Влияние механической активации прекурсоров на свойства нанопорошков сплава W-2 масс.% Со / М. И. Алымов, В. А. Зеленский, И. В. Трегубов // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №6. – С. 62-64.

Ильин, А. П. Синтез нитридов сжиганием нанопорошков алюминия и вольфрама на воздухе / А. П. Ильин, Л. О. Толбанова // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №2. – С. 80-85.

Композитные экраны на основе нанокристаллических материалов / В. С. Цепелев [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №1. – С. 10-14.

Петров, В. С. Новый способ формирования наноструктур на подложке с использованием туннельного микроскопа с активным зондом из монокристалла оксидной ванадиевой бронзы натрия / В. С. Петров, Б. А. Логинов\*, П. Б. Логинов\*\* // // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №6. – С. 73-83.

Плазменные керметные покрытия с наноразмерным карбонитридом титана / В. И. Калита [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №2. – С. 37-45.

Порошки тантала с нанокристаллической структурой для высокочастотных конденсаторов / А. Л. Небера [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №5. – С. 80-82.

Шадров, В. Г. Магнитные наноструктуры на поверхности анодного оксида алюминия / В. Г. Шадров, Л. В. Немцевич // Физика и химия обработки материалов. – 2007. - №2. – С. 56-64.

Баран, Л. В. Структурно-фазовое состояние, электрические и механические свойства пленок фуллерита, имплантированных ионами бора // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №4. – С. 10-14.

Влияние механической активации оксида никеля на свойства никелевых нанопорошков / С. А. Тихомиров [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №6. – С. 84-85.

Возможность прямого лазерного наноструктурирования поверхности без оплавления материала / В. Н. Токарев\* [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №4. – С. 15-25.

Коваленко, Л. В. Образование наноразмерной фазы металлического железа при низкотемпературном водородном восстановлении / Л. В. Коваленко, Г. Э. Фолманис, О. П. Матвейчук // // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №2. – С. 80-82.

Магеррамов, А. М. Структура и фотолюминесценция наноконпозиций сульфида кадмия с полипропиленом / А. М. Магеррамов, М. А. Рамазанов, Ф. В. Гаджиева // // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №1. – С. 71-74.

Плазменные керметные покрытия WC-Co, упрочненные микро- и наноразмерными карбидами / В. И. Калита [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №6. – С. 41-45.

Соколов, Ю. В. Получение электродуговым методом большого количества сажи, содержащей фуллерены и нанотрубки // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №5. – С. 58-60.

Соколов, Ю. В. Формирование и свойства агрегатов углеродных нанотрубок в жидкой среде // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №4. – С. 51-53.

Степанов, Ю. Н. Наноструктурирование поверхностного слоя с помощью ультразвуковой обработки // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №3. – С. 67-69.

Степанов, Ю. Н. Объединение наночастиц на начальной стадии спекания в одно- и двухкомпонентных нанопорошках // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №5. – С. 54-57.

Формирование плазменных покрытий с нано и аморфной структурой / Н. В. Куракова [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №4. – С. 36-39.

Хмелевская, В. С. Наноструктурирование металлических материалов интенсивными ионными пучками / В. С. Хмелевская, Н. Ю. Богданов, К. А. Горчаков // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №5. – С. 8-14.



Алымов, М. И. Определение достаточности классического описания консолидации нанопорошков / М. И. Алымов, В. С. Шустов // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №3. – С. 69-71.

Взаимодействие наноразмерных частиц  $Al_2O_3$  и TiN с ПАВ в расплаве на основе никеля / С. Н. Анучкин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №6. – С. 78-85.

Влияние режимов восстановления на дисперсность и степень восстановления никелевых нанопорошков / М. И. Алымов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №5. – С. 55-58.

Импульсное лазерное осаждение наноструктурированных композитных покрытий. I. Исследование структуры и свойств / В. Н. Неволин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №4. – С. 39-47.

Мейлах, А. Г. Влияние добавок нанодисперсного никеля на спекание порошков Fe и Ni // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №6. – С. 59-62.

Модифицирование структуры направленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама / Г. Н. Соколов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №6. – С. 41-47.

Применение фуллеренов и углеродных нанотрубок для создания композиционных материалов / Ю. В. Соколов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №6. – С. 94-95.

Сверхпроводящие свойства и микроструктура композитной ленты с наноразмерными слоями из сплава Nb-30 масс. % Zr / М. И. Карпов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №2. – С. 5-9.

Соколов, Г. Н. Влияние стабилизации структуры наноразмерными фазами на свойства жаропрочного наплавленного металла / Г. Н. Соколов, В. И. Лысак, И. В. Зорин // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №4. – С. 83-88.

Влияние облучения ионами азота и гелия на структуру и электросопротивление нанокристаллических V-N-покрытий / Р. Л. Василенко [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 103, №3. – С. 310-316.

Влияние степени деформации на структуру и термическую стабильность нанокристаллического ниобия, полученного сдвигом под давлением / Е. Н. Попова [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 103, №4. – С. 426-432

Изучение методами ЯМР и магнитной восприимчивости нанокристаллических сверхпроводящих слоев Nb/Cu-Sn разной конструкции / Б. А. Алексахин [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №1. – С. 63-71.

Кесарев, А. Г. О влиянии внутренних напряжений на диффузию в наноструктурных сплавах / А. Г. Кесарев, В. В. Кондратьев // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №1. – С. 5-11.

Ломаева, С. Ф. Структурно-фазовые превращения, термическая стабильность, магнитные и коррозионные свойства нанокристаллических систем на основе железа, полученных механоактивацией в органических средах // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №4. – С. 403-422.

Назаров\*, А. А. Компьютерное моделирование формирования трещин в бикристаллической нанопроволоке никеля, содержащей клиновую дисклинацию / А. А. Назаров\*, М. С. Ву\*, К. Джоу\*\* // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №3. – С. 287-293.

Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий – эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов / В. Е. Панин [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т.104, №6. – С. 650-660.

Структура, магнитостатические свойства и СВЧ-характеристики нанокристаллических механоактивированных порошков Fe и Fe-Si / Е. П. Елсуков\* [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №3. – С. 261-269.

Уздин, В. М. Мессбауэровская спектроскопия и структура интерфейсов на атомном масштабе в металлических наносистемах // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №4. – С. 340-348.

Фазообразование, структура и напряженное состояние наноструктурных пленок боридов тантала / А. А. Гончаров\* [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 103, №1. – С. 80-85.

Шулика, В. В. Магнитные свойства, температурно-временная стабильность свойств аморфных и нанокристаллических сплавов на основе железа и кобальта с дестабилизированной доменной структурой / В. В. Шулика [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №3. – С. 241-244.

Эволюция структуры в нанокристаллических сплавах с ростом температуры / М. Миглерини\*,\*\*\* [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104, №4. – С. 349-359.

Афремов<sup>\*\*</sup>, Л. Л. Влияние механических напряжений на остаточную намагниченность насыщения системы наночастиц / Л. Л. Афремов<sup>\*\*</sup>, А. В. Панов<sup>\*\*</sup> // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 106, №3. – С. С. 248-256.

Гадомский, О. Н. Радиационное смещение и расщепление резонансов в системе металлических нанокластеров / О. Н. Гадомский, А. Г. Глухов // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 106, №2. – С. 130-138.

Елсуков, Е. П. Мессбауэровская спектроскопия нанокристаллических материалов / Е. П. Елсуков, Г. Н. Коньгин, В. Е. Порсев // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т.105, №2. – С. 152-160.

Зависимость количества нанокристаллической фазы в аморфном сплаве  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$  от величины интенсивной пластической деформации / Г. Е. Абросимова [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т.106, №6. – С. 617-623.

Изменение намагниченности мультислойных наноструктур Fe/Si в процессе синтеза и постростового нагрева / Варнаков<sup>\*\*\*</sup>, С. Н. [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 106, №1. – С. 54-58.

Миронова, Г. И. Исследование нанокластеров из атомов золота в рамках модели Хаббарда // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т.105, №4. – С. 355-365.

Физико-химическая модель детонационного синтеза наночастиц из карбоксилатов металлов / Б. П. Толочко<sup>\*\*</sup> [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т.105, №2. – С. 145-151.

Шалин, А. С. Излучательные переходы в металлических нанокластерах // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т.105, №2. – С. 137-144.



Влияние размерного эффекта на структуру нанокристаллических и кластерных пленок диборида гафния / А. А. Гончаров\* [и др.] // Физика металлов и металловедения. – 2009. – Т. 108, №4. – С. 388-394.

Алексеев, Н. И. О морфологии углеродных нанотрубок, растущих из каталитических частиц: формулировка модели // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 8. – С. 1518-1526.

Алексеев, Н. И. О морфологии углеродных нанотрубок, растущих на нанопористой подложке из каталитических частиц // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 8. – С. 1527-1533.

Бажин, И. В. Электронная структура наноразмерных металлических кластеров / И. В. Бажин, О. А. Лещева, И. Я. Никифоров // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 4. – С. 726-731.

Бобылев, С. В. Генерация скользящих полупетель расщепленных дислокаций границами зерен в нанокристаллическом Al / С. В. Бобылев, М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 8. – С. 1410-1420.

Бржезинская, М. М. Исследование плазмонов в ионно-облученных однослойных нанотрубках спектроскопическими методами / М. М. Бржезинская, Е. М. Байтингер<sup>\*</sup>, А. Б. Смирнов<sup>\*\*</sup> // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 5. – С. 935-939.

Влияние отжига на оптические спектры поглощения одностенных углеродных нанотрубок / П. Н. Гевко [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 5. – С. 947-951.

Влияние размерного эффекта на колебательные и электронные свойства нанокompозитов Cu-Pb / М. Г. Землянов [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 1. – С. 128-132.

Вольф, Г. В. Резонансные явления в рассеянии низкоэнергетических электронов на планарных кристаллических наноструктурах / Г. В. Вольф, Ю. П. Чубурин // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 9. – С. 1704-1709.

Геометрическая структура и электронные свойства ВN планарным и нанотрубных структур типа «хакелит» / С. В. Лисенков [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 1. – С. 179-184.

Глинчук, М. Д. Особенности ионной проводимости кислорода в оксидной нанокерамике / М. Д. Глинчук, П. И. Быков<sup>\*</sup>, Б. Хилчер<sup>\*\*</sup> // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 11. – С. 2079-2084.

Глухова, О. Е. Теоретическое изучение зависимостей модулей Юнга и кручения тонких однослойных углеродных нанотрубок типа zigzag и armchair от геометрических параметров / О. Е. Глухова, О. А. Терентьев // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 7. – С. 1329-1335.

Демишев, С. В. Магнитосопротивление углеродных наноматериалов / С. В. Демишев, А. А. Пронин // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 7. – С. 1285-1294.

Демиденко, В. С. Электронное строение и особенности магнитного состояния нанотрубки  $\text{Fe}_{52}$  с внутренней квантовой точкой  $\text{Si}_5$  / В. С. Демиденко, Н. Л. Зайцев // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 8. – С. 1486-1490.

Диэлектрические и ЯМР-исследования нанопористых матриц, заполненных нитритом натрия / С. В. Барышников\* [и до.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 3. – С. 551-557.

Еняшин, А. Н. Моделирование структурных и термических свойств тубулярных нанокристаллитов оксида магния / А. Н. Еняшин, Г. Зайферт\*, А. Л. Ивановский // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 4. – С. 751-755.

Еняшин, А. Н. Электронные, энергетические и термические свойства ленты Мебиуса и родственных кольцевых наноструктур  $\text{NbS}_3$  / А. Н. Еняшин, А. Л. Ивановский // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 4. – С. 732-736.

Запороцкова, И. В. Протонная проводимость однослойных углеродных нанотрубок: полуэмпирические исследования / И. В. Запороцкова, Н. Г. Лебедев, П. А. Запороцков // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 4. – С. 756-760.

Иванченко, Г. С. Фононный спектр двухслойных углеродных нанотрубок / Г. С. Иванченко, Н. Г. Лебедев // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 12. – С. 2223-2227.

Иевлев, В. М. Кинетика формирования дискретных наноструктур в процессе вакуумной конденсации из однокомпонентного пара / В. М. Иевлев, Е. В. Шведов // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 1. – С. 133-138.

Исследование основных закономерностей формирования массивов нитевидных нанокристаллов GaAs методом магнетронного осаждения / И. П. Сошников\*, \*\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 4. – С. 737-741.

Каплянский, А. А. Исследование сегнетоэлектрического фазового перехода в кристаллах и нанокристаллах гептагерманата лития методом генерации оптической второй гармоники / А. А. Каплянский, А. Б. Куликин, С. П. Феофилов // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 11. – С. 2030-2031.

Лебедев, Н. Г. Квантово-химические расчеты пьезоэлектрических характеристик боронитридных и углеродных нанотрубок / Н. Г. Лебедев, Л. А. Чернозатонский\* // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 10. – С. 1909-1915.

Люминесцирующие дефекты в наноструктурном диоксиде кремния / В. С. Кортков [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 7. – С. 1205-1211.



Марков, Ю. Ф. Диффузное рентгеновское рассеяние и нанокластеры в модельных сегнетоэластиках  $\text{Hg}_2\text{Br}_2$  / Ю. Ф. Марков, К. Кнорр\*, Е. М. Рогинский // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 9. – С. 1670-1675.

Меньшов, В. Н. Контактнo-индуцированный магнетизм в наноструктурах на основе хрома с монослоями немагнитных металлов / В. Н. Меньшов, В. В. Тугушев // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 10. – С. 1883-1889.

Миронов, Г. И. Наносистемы в модели Хаббарда в приближении статических флуктуаций // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 7. – С. 1299-1306.

Нелинейно-оптическая и микрорамановская диагностика тонких пленок и наноструктур сегнетоэлектриков  $\text{ABO}_3$  / Е. Д. Мишина [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 6. – С. 1140-1142.

Низкочастотный шум в монодисперсных наноструктурах платины вблизи порога протекания / С. Л. Румянцев\*,\*\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 11. – С. 2074-2078.

Николаев, В. И. Об особенностях парапроцесса в системе наночастиц / В. И. Николаев, И. А. Род // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 9. – С. 1690-1692.

О возможности наблюдения эффектов хиральной симметрии и ферромагнитных наночастицах / С. Н. Вдовичев [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 10. – С. 1791-1794.

Образование нанодфектов в кристаллах  $\text{LiF}$  при гамма-облучении / М. А. Муссаева [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 12. – С. 2170-2174.

Оже-спектроскопия и свойства наноразмерных тонкопленочных структур  $\text{Ir(Pt)/PZT(PZT/PT)/Ir}$  / В. П. Афанасьев [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 6. – С. 1130-1134.

Осцилляции Фриделя в нанопленках иттербия, осажденных на поверхность кремния  $\text{Si(111)} 7\times 7$  / Д. В. Бутурович [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 11. – С. 2085-2088.

Перенос заряда и диэлектрические свойства гранулированных нанокомпозитов  $\text{Co}_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$  / С. А. Гриднев [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 6. – С. 1115-1117.

Плаксин\*,\*\*, О. А. Получение, структура и свойства метало-нанокомпозитов в ниобате лития / О. А. Плаксин\*,\*\*, Н. Кишимото\* // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 10. – С. 1820-1825.

Романюк, К. Н. Исследование методом сканирующей туннельной микроскопии процессов роста и самоорганизации наноструктур  $\text{Ge}$  на vicинальных поверхностях  $\text{Si(111)}$  / К. Н. Романюк, С. А. Тийс, Б. З. Олышанецкий // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 9. – С. 1716-1722.

Саралидзе, З. К. О механизмах массопереноса при наноиндентировании / З. К. Саралидзе, М. В. Галусташвили, Д. Г. Дриаев // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 7. – С. 1229-1230.

Сорокин, П. Б. Структура и свойства нанотрубок BeO / П. Б. Сорокин, А. С. Федоров, Л. А. Чернозатонский\* // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 2. – С. 373-376.

Томилин, О. Б. Адсорбция на графеновой поверхности углеродных нанотрубок и их энергетический спектр / О. Б. Томилин, Е. Е. Мурюмин // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 3. – С. 563-571.

Фазовые переходы и полидоменные состояния в магнитных наноструктурах с конкурирующими анизотропиями / И. Е. Драгунов\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 8. – С. 1504-1514.

Федоров, А. С. Плотность и термодинамика водорода, адсорбированного на поверхности однослойных углеродных нанотрубок / А. С. Федорова, П. Б. Сорокин // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 2. – С. 377-382.

Чернозатонский, Л. А. Энергетические и электронные свойства неуглеродных нанотрубок на основе диоксида кремния / Л. А. Чернозатонский, П. Б. Сорокин\*, А. С. Федоров\* // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 10. – С. 1903-1908.

Электронный спиновый резонанс нанопористого углерода с кластерами кобальта / А. И. Вейнгер [и др.] // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48, Вып. 1. – С. 159-163.

Алешин, А. Н. Квазиодномерный транспорт в проводящих полимерных нанопроводах: (Обзор) // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 11. – С. 1921-1940.

Белоусов, Ю. М. Микроскопическое поле в нанокристаллических пленках ферромагнитных металлов и возможности его изучения  $\mu$ SR-методом // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 2. – С. 277-284.

Бобылев, С. В. Испускание дислокаций порами в нанокристаллических металлах / С. В. Бобылев, Н. Ф. Морозов, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 6. – С. 1044-1049.

Валов, П. М. Перестройка ближнего порядка при плавлении нанокристаллов CuHal в стекле / П. М. Валов, В. И. Лейман // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1294-1297.

Влияние иттерия на ЭПР-характеристики ионов хрома в наноразмерных частицах диоксида циркония / И. П. Быков [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1189-1194.

Ворох, А. С. Атомная структура наночастиц сульфида кадмия / А. С. Ворох, А. А. Ремпель // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 1. – С. 143-148.

Гуткин, М. Ю. Влияние включений на гетерогенное зарождение трещин в нанокompозитных материалах / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько, Н. В. Скиба // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 2. – С. 252- 257.

Гуткин, М. Ю. Упругое поведение винтовой дислокации в стенке полрой нанотрубки / М. Ю. Гуткин, А. Г. Шейнерман // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 9. – С. 1595-1602.

Ежовский, Ю. К. Характеристики границы раздела и свойства нанослоев оксидов хрома на арсениде галлия // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 9. – С. 1563-1567.

Еняшин, А. Н. Атомная структура, стабильность и электронное строение икосаэдрических наноалмазов и онионов / А. Н. Еняшин, А. Л. Ивановский // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 2. – С. 378-383.

Жидкокристаллические дендримерные комплексы Cu(II) и нанокластеры Cu(0), полученные на их основе: ЭПР-исследование / Н. Е. Домрачева<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1326-1335.

Иванченко, Г. С. Проводимость двухслойных углеродных нанотрубок в рамках модели Хаббарда / Г. С. Иванченко, Н. Г. Лебедев // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 1. – С. 183-189.



Ильющенко, Д. С. Формирование доменов в пленках магнитных наночастиц со случайным распределением осей анизотропии / Д. С. Ильющенко, В. И. Козуб, И. Н. Ясиевич // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 10. – С. 1853-1857.

Импеданс и магнитооптические свойства нанокompозитов пористый кремний-кобальт / Ф. А. Королев [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 3. – С. 504-507.

Кластеры серы и селена в нанопористом углероде / А. М. Данишевский [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 3. – С. 543-551.

Колесникова, А. Л. Процессы релаксации упругой энергии в гетероструктурах с напряженными нановключениями / А. Л. Колесникова, А. Е. Романов\*, В. В. Чалдышев\* // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 4. – С. 633-640.

Кравчук, В. П. Тонкий ферромагнитный нанодиск в поперечном магнитном поле / В. Г. Кравчук, Д. Д. Щека // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 10. – С. 1834-1841.

Кузнецов, С. С. Наноактуатор, основанный на углеродной нанотрубке / С. С. Кузнецов, Ю. Е. Лозовик\*, А. М. Попов\* // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 5. – С. 951-958.

Курлов, А. С. Магнитная восприимчивость и термическая стабильность размера частиц нанокристаллического карбида вольфрама WS / А. С. Курлов, С. З. Назаров, А. И. Гусев // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 9. – С. 1697-1703.

Магнитные свойства ферромагнитных наночастиц  $\text{Fe}_3\text{C}$ , капсулированных в углеродных нанотрубках / С. В. Комогорцев [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 4. – С. 700-703.

Магнитный резонанс в нанопроволоках  $\text{Ge}_{0.99}\text{Mn}_{0.01}$  / Р. Б. Моргунов\*, \*\*, \*\*\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 2. – С. 285-290.

Малыгин, Г. А. Пластичность и прочность микро- и нанокристаллических материалов: (Обзор) // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 6. – С. 961-982.

Метастабильные модификации в нанокристаллах двуокиси ртути / И. Х. Акопян [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1310-1316.

Механодинамическое проникновение атомов гелия в нанокристаллическое железо / О. В. Клявин [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 9. – С. 1590-1594.

Нанокристаллизация аморфного сплава  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$  под действием интенсивной пластической деформации / Г. Е. Абросимова [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 6. – С. 983-989.

Нанопористость ультракристаллических алюминия и сплава на его основе / В. И. Бетехтин [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 10. – С. 1787-1790.

Наноразмерные деформации решетки в кристалле ZnSe, легированном 3d-элементами / С. Ф. Дубинин [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1177-1182.

Овидько, И. А. Зарождение нанотрещин в поликристаллическом кремнии под действием зернограничного скольжения / И. А. Овидько, А. Г. Шейнерман // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 6. – С. 1056-1060.

Особенности наносистем на основе природной изоферроплатины / Л. А. Битюцкая [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1317-1320.

Особенности электронной структуры и оптических спектров наночастиц с сильными электронными корреляциями / С. Г. Овчинников [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 6. – С. 1061-1065.

Релаксированная атомная структура межфазной границы в гетеросистеме полусферическая наночастица-кристалл / А. В. Евтеев [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 4. – С. 745-750.

Соболь, О. В. Процесс наноструктурного упорядочения в конденсатах системы W-Ti-B // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 6. – С. 1104-1110.

Термоэдс композитов металлических наночастиц Co в аморфной диэлектрической матрице  $Al_2O_3$  / В. А. Белоусов [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 10. – С. 1762-1769.

Управление движением наноэлектромеханических систем на основе углеродных нанотрубок / О. В. Ершова [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 10. – С. 1914-1920.

Фотонные зоны поглощения в спектрах нанопористых металлических пленок / В. В. Попов\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1206-1209.

Шпейзман, В. В. Использование интерферометрического метода измерения величины и скорости перемещений для неразрушающего контроля материала / В. В. Шпейзман, Н. Н. Песчанская // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 7. – С. 1201-1205.

Электронная структура нанокластеров золота на оксидированной поверхности Ni (755) / А. Г. Рыбкин\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, Вып. 5. – С. 933-939.

Абросимова, Г. Е. Влияние размера на совершенство структуры нанокристаллов на основе Al и Ni / Г. Е. Абросимова, А. С. Аронин // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 1. – С. 154-158.

Алексеев, Н. И. О возможности расчета оптимальных катализаторов и сокатализаторов при химическом методе выращивания углеродных нанотрубок / Н. И. Алексеев, Д. В. Афанасьев, Н. А. Чарыков\* // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 5. – С. 945-953.

Белоненко, М. Б. Электромагнитные солитоны в пучках углеродных зигзагообразных нанотрубок / М. Б. Белоненко, Е. В. Демушкина, Н. Г. Лебедев // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 368-374.

Влияние гидрирования на магнитные свойства интерметаллического соединения  $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  с моно- и нанокристаллической структурами / Е. А. Терешина\*,\*\*\*[и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 1. – С. 54-60.

Возбуждение эрбия в гетерогенной нанокристаллической матрице аморфного кремния / М. С. Бреслер [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 9. – С. 1664-1667.

Володин\*,\*\*, В. А. Исследование электрон-фононного взаимодействия и нанокристаллах кремния n-типа с применением спектроскопии комбинационного рассеяния света / В. А. Володин\*,\*\*, М. Д. Ефремов\*, А. Г. Черков\* // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 5. – С. 921-923.

Галкин, Н. Г. Влияние толщины слоя хрома на морфологию и оптические свойства гетероструктур  $\text{Si}(111)/\text{нанокристаллиты CrSi}_2/\text{Si}(111)$  / Н. Г. Галкин, Т. В. Турчин, Д. Л. Горошко // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 346-354.

Головин, Ю. И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикророботах, тонких приповерхностных слоях и пленках : (Обзор) // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 12. – С. 2113-2142.

Григорькин, А. А. Магнитный момент нанотрубки со спиральной симметрией / А. А. Григорькин, С. М. Дунаевский // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 3. – С. 507-511.

Гуткин, М. Ю. Гомогенное зарождение дислокационных петель скольжения в нанокерамиках / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 630-638.

Гуткин, М. Ю. Дислокационный механизм проскальзывания полых волокон в процессе разрушения керамических нанокомпозитов / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 11. – С. 1970-1977.



Гуткин, М. Ю. Рост зерен и коллективная миграция их границ при пластической деформации нанокристаллических материалов / М. Ю. Гуткин, К. Н. Микаелян, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 7. – С. 1216-1229.

Еняшин, А. Н. Атомная структура, электронное строение и термическая стабильность бор-азотных нанопиподов: фуллерены  $B_{12}N_{12}$  в BN-нанотрубках / А. Н. Еняшин, А. Л. Ивановский // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 375-380.

Зависимость магнитных свойств аморфного металлического сплава от его нанопористости / А. И. Слуцкер [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 280-284.

Изменения ЭПР-характеристик наноразмерных частиц диоксида циркония при рентгеновском облучении и отжиге в атмосфере / И. П. Быков [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 12. – С. 2214-2219.

«Изоморфные» фазы в нанодисперсных порошках оксидов редкоземельных металлов / И. В. Шмытько [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 6. – С. 1108-1115.

Кузьмин, М. В. Немонотонные размерные зависимости работы выхода нанопленок иттербия, осаждаемых на поверхность Si(111)7×7 при комнатной температуре / М. В. Кузьмин, М. В. Логинов, М. А. Митцев // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 355-359.

Куксин, А. Ю. Атомистическое моделирование пластичности и разрушения нанокристаллической меди при высокоскоростном растяжении / А. Ю. Куксин, В. В. Стегайлов, А. В. Янилкин // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 11. – С. 1984-1990.

Люминесценция CdMgTe с ультратонкими нанослоями CdMnTe / В. Ф. Агекян [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 336-339.

Магнитная восприимчивость наноструктурного манганита  $LaMnO_{3+\delta}$ , полученного методом механохимии / Т. И. Арбузова [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 8. – С. 1430-1437.

Магнитные свойства и параметры структуры наноразмерных порошков оксидных ферритмагнетиков, полученных методом механохимического синтеза из солевых систем / Е. П. Найден [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 5. – С. 857-863.

Магнитооптические свойства ионно-синтезированных наночастиц кобальта в оксиде кремния / И. С. Эдельман [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 11. – С. 2002-2008.

Малыгин, Г. А. Анализ скоростной чувствительности напряжений течения нанокристаллических металлов с ГЦК- и ОЦК-решетками // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 12. – С. 2161-2168.

Малыгин, Г. А. Влияние дисперсии распределения зерен по размерам на прочность и пластичность нанокристаллических металлов // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 6. – С. 1013-1017.

Малыгин, Г. А. Наноразмерные эффекты при мартенситных превращениях в сплавах с памятью формы // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 8. – С. 1480-1485.

Малыгин, Г. А. Прочность и пластичность нанометаллов с бимодальной зеренной структурой // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 6. – С. 990-996.

Наногранулированные пленки Co-Sm-O: структура, магнитные и магнитооптические свойства / И. С. Эдельман\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 11. – С. 2021-2026.

Неравновесные фононы в наноструктурах, содержащих квантовые ямы SiGe, при пикосекундном лазерном возбуждении / А. И. Шарков [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 8. – С. 1359-1361.

Овидько, И. А. Влияние зернограницного скольжения на трещиностойкость нанокристаллических керамик / И. А. Овидько, Н. В. Скиба, А. Г. Шейнерман // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 7. – С. 1211-1215.

Овидько, И. А. Зарождение дисклинационных диполей и наноскопических трещин в деформируемых нанокерамиках / И. А. Овидько, А. Г. Шейнерман // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 6. – С. 1002-1006.

Особенности люминесцентных свойств наноструктурного оксида алюминия / В. С. Кортков [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 5. – С. 916-920.

Особенности оптического поглощения углеродных наносистем с водородом / Н. В. Мавринская [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 10. – С. 1757-1762.

Особенности формирования микро- и нанокристаллов оксидов ванадия при газофазном методе синтеза / О. П. Виноградова [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 7. – С. 1177-1183.

Панова, Г. Х. Поверхностная и объемная сверхпроводимость Pb, внедренного в нанометровые поры / Г. Х. Панова, А. А. Набережнов\*, А. В. Фокин\* // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 7. – С. 1317-1320.

Песчанская, Н. Н. Влияние магнитного поля на скачки деформации наноуровня в полимерах / Н. Н. Песчанская, А. Б. Синани // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 1. – С. 177-181.

Песчанская, Н. Н. Скачкообразная микродеформация наноструктурных металлов / Н. Н. Песчанская, Б. И. Смирнов, В. В. Шпейзман // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 5. – С. 815-819.

Плотность состояний двумерных нанокластеров алюминия в модели Хаббарда / Н. В. Тиховская, К. Н. Югай // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 726-733.

Поверхностные самоподобные нанодоменные структуры, индуцированные лазерным облучением в ниобате лития / В. Я. Шур [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 689-695.

Размерный эффект теплового расширения наноструктурного оксида меди / И. Б. Крынецкий [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 723-725.

Рентгеновская эмиссионная и рамановская спектроскопия наноконденсатов  $\text{CN}_{0 \leq x \leq 0.5}$ , полученных импульсным дуговым распылением графита в присутствии азота / В. Р. Галахов [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 5. – С. 936-936.

Рентгеновская эмиссионная и фотолюминисцентная спектроскопия наноструктурированного диоксида кремния с имплантированными ионами меди / Д. А. Зацепин [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 12. – С. 2225-2229.

Свойства наноструктурных и аморфных пленок системы  $\text{TiB}_2\text{-B}_4\text{C}$  / Г. В. Калинин [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 2. – С. 360-364.

Синтез и исследование магнитных характеристик нанокристаллических пленок кобальта / Б. А. Беляев [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 650-656.

Синтез и свойства нанокристаллов диоксида ванадия в силикатных пористых стеклах / О. П. Виноградова [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 734-740.

Скейлинг магнитосопротивления углеродных наноматериалов в области прыжковой проводимости мотовского типа / С. В. Демишев [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 7. – С. 1332-1337.

Структура галоидомедных нанокристаллов в фотохромных стеклах / И. Х. Акопян [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 7. – С. 1300-1303.

Структура и магнитные свойства металл-углеродных нанокомпозитов на основе ИК-пиролизованного полиакрилонитрила и Fe / К. А. Багдасарова [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 4. – С. 718-722.

Трунов, М. Л. Исследование фотопластического эффекта в стеклообразных полупроводниках методом циклического наноиндентирования / М. Л. Трунов, В. С. Биланич, С. Н. Дуб\* // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 11. – С. 1978-1983.

Характеризация фторированных многостенных углеродных нанотрубок методом рентгеновской абсорбционной спектроскопии / М. М. Бржезинская\*, \*\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 3. – С. 365-571.

Шугуров, А. Р. Особенности определения механических характеристик тонких пленок методом наноиндентирования / А. Р. Шугуров, А. В. Панин, К. В. Оскомов // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 6. – С. 1007-1012.

Электродинамические свойства нанопористого кремния в диапазоне от терагерцового до инфракрасного /

Е. С. Жукова [и др.] // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 12. – С. 2137-2145.

Эминов, П. А. Диэлектрические свойства намагниченного электронного газа нанотрубки / П. А. Эминов, Ю. В. Перепелкина, Ю. И. Сезон // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, Вып. 12. – С. 2220-2224.



Абросимова, Г. Е. Влияние концентрации редкоземельного компонента на параметры наноструктуры в сплавах на основе алюминия / Г. Е. Абросимова, А. С. Аронин // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 9. – С. 1665-1671.

Акустические исследования плавления и кристаллизации наноструктурированного декана / Б. Ф. Борисов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 4. – С. 777-782.

Василевская, Т. Н. Изучение структуры стеклообразных нанопористых матриц методом рентгеновского малоуглового рассеяния / Т. Н. Василевская, Т. В. Антропова // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 12. – С. 2386-2393.

Валов, П. М. Распределение по размерам наночастиц CuCl в стекле на различных стадиях нуклеации / П. М. Валов, В. И. Лейман // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 8. – С. 1607-1612.

Вендик, О. Г. Нелинейные свойства среды с эллипсоидальными сегнетоэлектрическими нановключениями / О. Г. Вендик, Н. Ю. Медведева, С. П. Зубко // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 7. – С. 1405-1406.

Влияние неоднородности локальных магнитных параметров на кривые намагничивания в ансамбле ферромагнитных наночастиц  $\text{Fe}_3\text{C}$ , капсулированных в углеродных нанотрубках / С. В. Колмогорцев [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 11. – С. 2155-2159.

Влияние старения на фазовый состав, структуру и магнитные свойства наноразмерных порошков оксидных ферромагнетиков / Е. П. Найден<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 8. – С. 1576-1579.

Горелик, В. С. Оптические и диэлектрические свойства наноструктурированных фотонных кристаллов, заполненных сегнетоэлектриками и металлами // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 7. – С. 1252-1258.

Двумерные нелинейные электромагнитные волны в массиве углеродных нанотрубок / М. Б. Белоненко<sup>\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 8. – С. 1657-1662.

Дефектность наноструктуры, фазовые переходы, ЯМР  $^{55}\text{Mn}$  и магниторезистивные свойства керамики  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3-x}\text{MnO}_{3\pm\delta}$  / А. В. Пашенко [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 6. – С. 1127-1136.

Дискретное туннелирование в электронных транспортных свойствах наногранулированного пористого кремния и подобных гетерофазных систем / Е. С. Демидов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т.

Долгушева, Е. Б. Молекулярно-динамическое исследование размерного эффекта при  $\beta \rightarrow \alpha$  - превращении в нанокристаллах Zr / Е. Б. Долгушева, В. Ю. Трубицын // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 12. – С. 2352-2358.

Игнатенко, П. И. Факторы, определяющие образование наноструктур боридных и нитридных пленок на основе переходных металлов // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 8. – С. 1632-1638.

Идентификация рекомбинирующих центров в широкозонных кристаллах и наноструктурах на их основе по спин-зависимому туннельному послесвечению / Р. А. Бабунц [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 12. – С. 2296-2303.

Каскадные процессы при неупругом рассеянии света в структурах с нанопроволоками ZnSe / Н. Н. Мельник [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 4. – С. 787-790.

Кластеры палладия в образцах нанопористого углерода: магнитные свойства / Б. Д. Шанина [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 3. – С. 596-603.

Кластеры палладия в образцах нанопористого углерода: структурные свойства / А. М. Данишевский [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 3. – С. 604-608.

Кузьмин, М. В. Размерные зависимости адсорбционных свойств поверхности нанопленок иттербия, осаждаемых на поверхность кремния: система CO-Yb-Si(111)7×7 / М. В. Кузьмин, М. В. Логинов, М. А. Митцев // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 4. – С. 795-799.

Лазерный отжиг кварцевого стекла с ионно-синтезированными наночастицами меди / А. Л. Степанов<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 9. – С. 1801-1807.

Малыгин, Г. А. Механизм формирования микрополос сдвига при пластической деформации нанокристаллических материалов // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып.9. – С. 1709-1715.

Моргунов, Р. Б. Спиновая динамика в наноструктурах магнитных полупроводников : (Обзор) / Р. Б. Моргунов, А. И. Дмитриев // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 10. – С. 1873-1889.

Никельсодержащие углеродные нанотрубки и наночастицы, полученные в плазме высокочастотной дуги / И. В. Осипова<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 9. – С. 1856-1859.

Овсянникова, Л. И. Электронная структура кристаллообразующих фуллеренов C<sub>2n</sub>, фулсициенов Si<sub>n</sub>C<sub>n</sub> и кристаллов и из них – фулсициенидов / Л. И. Овсянникова, В. В. Покропивный, В. Л. Бекенев // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 10. – С. 2070-2077.

Оптические и магнитооптические свойства наноструктурного железо-иттриевого граната / Б. А.

Гижевский [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып.9. – С. 1729-1734.

Особенности морфологии и структура нанокристаллических пленок кубического карбида кремния, выращиваемых на поверхности Si / Л. К. Орлов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 5. – С. 1018-1023.

Особенности физических свойств нанокристаллических образцов  $(\text{La}_{0.65}\text{Sr}_{0.35})_{0.8}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_{3\pm\Delta}$ , полученных с использованием холодного изостатического прессования / Г. Я. Акимов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 4. – С. 727-728.

Особенности электронного строения фторированных многостепенных углеродных нанотрубок в приповерхностной области / М. М. Бржезинская<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 9. – С. 1846-1856.

Процессы перемангничивания упорядоченного ансамбля ферроманитных наноточек / Ю. П. Иванов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 11. – С. 2167-2170.

Радиационно-индуцированное формирование наночастиц ZnO на поверхности монокристаллов ZnSe / Д. Б. Эльмуротова [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 3. – С. 429-436.

Садовников, С. И. Кристаллическая структура наноструктурированных пленок PbS при температурах 293-423 К / С. И. Садовников, А. А. Ремпель // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 11. – С. 2237-2245.

Свойства нанопористого оксида алюминия с включениями триглицинсульфата и сегнетовой соли / О. В. Рогазинская [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 7. – С. 1430-1432.

Синтез магнитооптические свойства наногранулированных пленок Co-Ti-O / В. В. Поляков<sup>\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 9. – С.1757-1760.

Синтез нанокристаллов  $\alpha$ -SiC при карботермическом восстановлении сферических наночастиц аморфного диоксида кремния / А. А. Жохов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 8. – С. 1626-1631.

Синтез с использованием кластерных пучков наноструктурного иттрия и исследование оптических и электрических свойств иттриевых гидридных форм / А. Л. Степанов<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 8. – С. 1619-1625.

Соппротивление и магнитная восприимчивость сверхпроводящего свинца, внедренного в нанометровые поры стекла / Г. Х. Панова [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 11. – С. 2098-2101.

Структурные особенности углеродных слоев нанометровой толщины, получаемых осаждением из газовой фазы на Ni / И. А. Няпшаев [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 5. – С. 997-1002.

Ткач, Н. В. Теория экситонного спектра массива удаленных друг от друга шестигранных нанотрубок / Н. В. Ткач, А. М. Маханец, Н. Н. Довганюк // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 12. – С. 2379-2385.

Усеинов, Н. Х. Проводимость с переворотом спина магнитосопротивление магнитных наноконтактов // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 3. – С. 508-513.

Формирование наноуглеродных пленок на поверхности SiC методом сублимации в вакууме / А. А. Лебедев [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 4. – С. 783-786.

Шмытько, И. М. Тонкая структура нанокристаллитов  $\text{Na}_5\text{Lu}_9\text{F}_{32}$ , образующихся на первых этапах кристаллизации / И. М. Шмытько, Г. К. Струкова // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 9. – С. 1796-1800.

Электромеханический нанометр, основанный на тепловых колебаниях слоев углеродной нанотрубки / А. М. Попов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 6. – С. 1230-1237.

Электронная микроскопия наноструктур титаната бария-стронция в матрице оксида алюминия / О. М. Жигалина [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 7. – С. 1400-1402.

ЭПР иона  $\text{Gd}^{3+}$  в смешанных нанокристаллах  $\text{CeO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$  / Л. К. Аминов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 11. – С. 2151-2154.

ЯМР-исследования нанопористых матриц, заполненных нитритом натрия, при вращении под магическим углом / А. Г. Горчаков\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, Вып. 10. – С. 2028-2032.



Алексеев<sup>\*,\*\*</sup>, Н. И. Расчет размеров индивидуальных малостенных углеродных нанотрубок и их пучков / Н. И. Алексеев<sup>\*,\*\*</sup>, В. Д. Гончаров<sup>\*\*\*</sup>, Н. А. Чарыков<sup>\*\*</sup> // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 612-619.

Беленков, Е. А. Структура соединений однослойных углеродных нанотрубок на основе комбинированных топологических дефектов 5–7 и 4–8 / Е. А. Беленков, Ю. А. Зинатулина // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 812-818.

Булат, Л. П. Влияние туннелирования на термоэлектрическую эффективность объемных наноструктурированных материалов / Л. П. Булат, Д. А. Пшенай-Северин<sup>\*</sup> // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 452-458.

Влияние примесных атомов и молекул водорода на атомную структуру палладиевых наноконтактов / К. М. Цысарь [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 593-599.

Влияние размера зерна и структурного состояния границ зерен на параметры низкотемпературной и высокоскоростной сверхпластичности нано- и микрокристаллических сплавов / В. Н. Чувильдеев<sup>\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 5. – С. 1026-1033.

Гуткин, М. Ю. Влияние тройных стыков нанотрубок на упрочнение и вязкость разрушения керамических нанокомпозитов / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1305-1310.

Гуткин, М. Ю. Пластическое течение и разрушение аморфных межкристаллитных прослоек в керамических нанокомпозитах / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 668-677.

Диэлектрические свойства кристаллических бинарных смесей  $\text{KNO}_3\text{--AgNO}_3$  в нанопористых силикатных матрицах / С. В. Барышников [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 365-369.

Долгушева, Е. Б. Влияние размера и формы свободных наночастиц на локальные изменения параметра решетки и структурную стабильность ОЦК-Zr и Fe / Е. Б. Долгушева, В. Ю. Трубицын // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 6. – С. 1163-1171.

Импедансная спектроскопия высокомолекулярного полиэтилена с углеродными нанотрубками / Н. А. Дрокин [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 607-611.

Исследование структурных аспектов формирования оптических свойств наносистемы  $\text{GeO}_2\text{--Eu}_2\text{O}_3\text{--Ag}$

/ А. В. Белушкин<sup>1</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1278-1282.

Карькин, И. Н. Моделирование методом молекулярной динамики процесса образования двойниковых границ при агломерации наночастиц / И. Н. Карькин, Ю. Н. Горностырев, Л. Е. Карькина // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 402-406.

Кособукин, В. А. Эффекты локального поля в магнитооптике двумерных массивов ферромагнитных наночастиц / В. А. Кособукин, Б. Б. Кричевцов // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 759-765.

Кузьмин, М. В. Влияние адсорбированного кислорода на свойства пленок иттербия нанометровой толщины / М. В. Кузьмин, М. А. Митцев // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1202-1205.

Кузьмин, М. В. Модификация электронных свойств поверхности и объема пленок иттербия нанометровой толщины, вызываемая адсорбированными молекулами СО / М. В. Кузьмин, М. В. Митцев // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 577-584.

Магнитные свойства биоминеральных наночастиц, продуцируемых бактериями *Klebsiella oxytoca* / Ю. Л. Райхер [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 277-284.

Малыгин, Г. А. Размерные эффекты при пластической деформации микро- и нанокристаллов // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 1. – С. 48-55.

Магомедов, М. Н. О поверхностных свойствах наноалмаза // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1206-1214.

Массоперенос индия в структуре In–CdTe при наносекундном лазерном облучении / В. П. Велешук [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 439-445.

Михайлов, Е. А. Атомная структура нанокластеров  $Pd_n$  ( $4 \leq n \leq 15$ ) / Е. А. Михайлов, А. Т. Косилов // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 397-401.

Моргунов, Р. Б. Влияние наноструктурирования монокристаллического сплава  $Ge_{1-x}Mn_x$  на перколяционный и кластерный ферромагнетизм / Р. Б. Моргунов, А. И. Дмитриев, О. Л. Kazakova\* // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 697-699.

Нанокмпозиции алифатического полиуретана с двуокисью кремния, полученные методом совместного синтеза: морфология и механические характеристики / И. В. Гофман [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 3. – С. 564-571.

Нанометровые неоднородности деформации  $\gamma$ -облученного полиметилметакрилата / В. В. Шпейзман [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 248-252.

Нелинейные оптические свойства нанокompозитов ПВК–C<sub>60</sub> / М. А. Заболотный [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 826-832.

Неоднородное парамагнитное состояние нанокерамики LaMnO<sub>3+δ</sub>, полученной методом ударно-волнового нагружения / Т. И. Арбузова [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 6. – С. 1143-1151.

Низкотемпературная рамановская спектроскопия ионно-синтезированных в кварцевом стекле наночастиц меди и серебра, подвергнутых лазерному отжигу / Н. В. Курбатова\* [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1179-1183.

Особенности структуры нанокристаллов CuI в фотохромных стеклах / И. Х. Акопян [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 751-755.

Савинский, С. С. Структурная амплитуда углеродной нанотрубки // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 1. – С. 200-203.

Поверхностная энергия и кристаллическая структура нитевидных нанокристаллов полупроводниковых соединений III–V / Н. В. Сибирёв<sup>1</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1428-1434.

Руденко, А. Н. Моделирование колебательных спектров нанокластеров SiO / А. Н. Руденко, В. Г. Мазуренко, А. В. Вольхин // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1199-1201.

Сравнительное рентгеноабсорбционное исследование фторированных одностенных углеродных нанотрубок / М. М. Бржезинская<sup>\*,\*\*</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 819-825.

Трехмерная периодическая решетка нанокристаллов ZrO<sub>2</sub> в прозрачной матрице диоксида кремния / В. М. Масалов [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 4. – С. 740-745.

Упругие и электростатические свойства бамбукоподобных углеродных нанотрубок / О. Е. Глухова [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1240-1244.

Ферромагнитное упорядочение наноструктур железа на поверхности кремния / М. В. Гомоюнова [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 377-381.

Ширинян, А. С. Реакционная диффузия в бинарной твердофазной наносистеме // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1191-1198.

Электронная и пространственная структура наноразмерных кластеров сегнетоэлектрических кристаллов Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> / А. И. Чобаль<sup>1</sup> [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 7. – С. 1370-1376.

Эффекты взаимодействующих наночастиц высокоанизотропного ферримагнетика / Л. П. Ольховик [и др.]

др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 290-295.

Эффекты переключения в композитных пленках на основе сопряженного полимера – полифлуорена ZnO  
/ Е. Л. Александрова [и др.] // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, Вып. 2. – С. 393-396.



Котова, О. Б. Наноразмерная технологическая минералогия / О. Б. Котова, А. В. Понарядов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. - №1. – С. 112-118.

Рязанцева, М. В. Влияние наносекундных электромагнитных импульсов на электрофизические свойства пирита и арсенопирита / М. В. Рязанцева, В. И. Богачев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. - №5. – С. 99-105.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Глава 1. Введение в нанотехнологию .....	5
Глава 2. Особенности наноструктуры .....	12
2.1. Общая характеристика .....	12
2.2. Зерна, слои, включения и поры в консолидированных материалах .....	17
2.3. Дефекты, поверхности раздела, пограничные сегрегации .....	25
2.4. Структура полимерных, биологических и углеродных наноматериалов .....	33
Глава 3. Свойства наноматериалов. Размерные эффекты .....	45
3.1. Общая характеристика .....	45
3.2. Электронное строение .....	46
3.3. Фазовые равновесия и термодинамика .....	50
3.4. Фононный спектр и термические свойства .....	59
3.5. Свойства типа проводимости. Оптические характеристики .....	65
3.6. Магнитные характеристики .....	73
3.7. Механические свойства .....	79
3.8. Стабильность. Рост зерен. Диффузия .....	95
3.9. Реакционная способность. Катализ .....	103
Глава 4. Основы технологии наноматериалов .....	114
4.1. Общая характеристика .....	114
4.2. Технология консолидированных материалов .....	116
4.3. Технология полупроводников .....	135
4.4. Технология полимерных, пористых, трубчатых и биологических наноматериалов .....	139
Глава 5. Применение наноматериалов .....	150
5.1. Общая характеристика .....	150
5.2. Конструкционные, инструментальные и триботехнические материалы .....	151
5.3. Пористые материалы и материалы со специальными физико-химическими свойствами .....	156
5.4. Материалы со специальными физическими свойствами .....	161
5.5. Медицинские и биологические материалы .....	169
5.6. Микро- и нанoeлектромеханические системы .....	174
Приложения .....	180

## Содержание

Введение .....	24
Обращение Председателя Совета Федерации С. М. Миронова к участникам Первого всероссийского совещания ученых, инженеров и производителей в области нанотехнологий .....	26
1. В. Я. Шевченко, В. Е. Шудегов, <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">Н. А. Платэ</span> . Концепция развития работ по нанотехнологиям .....	28
2. Ж. И. Алферов. Нанотехнологии: перспективы развития в России ....	42
3. В. Я. Шевченко. Химическая самоорганизация в технологии наночастиц (нанотехнологии). (Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН) .....	44
 <u>Химические аспекты наносостояния</u> .....	 51
 <u>Биологические аспекты наносостояния</u> .....	 193
 <u>Физические аспекты наносостояния</u> .....	 223
 <u>Образование</u> .....	 267
 <u>Практические вопросы наносостояния</u> .....	 285

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>С ЧЕГО ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ</b> .....	6
Ричард Фейнман – пророк нанотехнологической революции .....	6
Машины созидания Эрика Дрекслера .....	10
Фотолинтография – дорога в наномир «сверху вниз» .....	15
<b>ИНСТРУМЕНТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ</b> .....	18
Сканирующие зондовые микроскопы .....	18
Оптический пинцет .....	23
<b>ЭЛЕМЕНТЫ НАНОМИРА</b> .....	30
Графен, углеродные нанотрубки и фуллерены .....	30
Дендримеры .....	35
Нанопроволоки .....	37
<b>ЗАГАДКИ НАНОМИРА</b> .....	39
Трение под микроскопом .....	39
Почему нанопроволоки такие прочные? .....	46
Почему наночастицы плавятся при низкой температуре? .....	47
Почему в наномире не всегда действует закон Ома? .....	51
Почему цвет наночастиц может зависеть от их размера? .....	55

## СОДЕРЖАНИЕ .....

<b>НАНОТЕХНОЛОГИИ ВОКРУГ НАС</b> .....	61
Нанотехнологии в борьбе с онкологическими заболеваниями .....	61
Нанотрубки – емкости для хранения водорода .....	63
Наночастицы серебра – яд для бактерий .....	66
Нанофазные материалы .....	68
Наночастицы $\text{TiO}_2$ – наномыло и ловушка для ультрафиолета .....	70
Самоочищающаяся нанотрава и «эффект лотоса» .....	73
Нанобатарейки .....	76
Наноккомпозиты – материалы на заказ .....	80
Бактерии и эритроциты – перевозчики нанокапсул с лекарствами .....	83
Нанокатализаторы .....	85
Нановолокна – каркас для восстановления поврежденного спинного мозга .....	86
<b>СКОЛЬКО СТОЯТ НАНОТЕХНОЛОГИИ</b> .....	90
Долгосрочные вложения в нанотехнологии .....	90
Список рекомендуемой литературы .....	93
Рекомендуемые интернет-сайты .....	93



13.6. Электротехнологии в животноводстве .....	494
13.7. Новые виды отраслевых электротехнологий.	
Нанотехнология .....	496
<b>14. Заземление электроустановок .....</b>	<b>501</b>
14.1. Общие определения .....	501
14.2. Типы систем заземления .....	502
14.3. Защита от поражения электрическим током при повреждении изоляции .....	506
14.4. Меры защиты от прямого и косвенного прикосновения	512
14.5. Естественные и искусственные заземлители .....	515
14.6. Особенности использования переносных электроприемников .....	522
14.7. Пример расчета сопротивления заземляющего устройства .....	523
<b>15. Выбор рациональных сечений проводов     электрических линий .....</b>	<b>529</b>
15.1. Сопротивление токоведущих жил переменному току .	529
15.2. Расчет электрических линий без учета индуктивного сопротивления .....	535
15.3. Расчет электрических линий с помощью вспомогательных таблиц удельных потерь напряжения .	541
15.4. Технические характеристики воздушных линий .....	552
<b>Приложение .....</b>	<b>556</b>
Устройство для компенсации реактивной мощности .....	556
Извлечение из Инструкции по электроснабжению индивидуальных жилых домов и других частных сооружений .....	569
Классы электротехнических изделий по способу защиты от поражения электрическим током .....	577
Извлечения из ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» .....	588

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>4</b>
<b>Содержание учебной дисциплины.....</b>	<b>6</b>
Тема 1. Наноразмерные элементы в полупроводниках.....	6
Тема 2. Энергетический спектр носителей заряда в идеальных полупроводниках.....	13
Тема 3. Энергетический спектр носителей заряда в реальных полупроводниках.....	15
Тема 4. Электронная структура вещества с наноразмерными объектами.....	17
Тема 5. Статистика электронов и дырок в упорядоченных полупроводниках с дефектами.....	20
Тема 6. Неравновесные носители заряда.....	27
Тема 7. Туннелирование.....	31
Тема 8. Заполнение энергетических зон в неупорядоченных полупроводниках с наноразмерными включениями.....	34
Тема 9. Туннельная рекомбинация.....	38
Тема 10. Рекомбинация в областях пространственного заряда.....	39
Тема 11. Туннельно-рекомбинационные процессы в областях пространственного заряда.....	61
Выводы.....	75
<b>Рекомендации по проведению семинарских занятий.</b>	
<b>Контрольные вопросы и задания.....</b>	<b>76</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>78</b>
<b>Применение технологий дистанционного обучения и удаленного доступа при реализации образовательных программ переподготовки специалистов в области коммерциализации высоких технологий (Новиков С.Т., Бакланов С.Б.).....</b>	<b>79</b>
1. Технологии дистанционного обучения.....	80
2. Применение новых информационных технологий в дистанционном обучении.....	81
3. Инструментальные средства дистанционного обучения.....	86
4. Организационные формы дистанционного обучения и удаленного доступа. Специфика их применения.....	87
Выводы.....	92
Литература к разделу.....	92

## Раздел V. НАНОМАТЕРИАЛЫ

Глава 13. <b>Нанотехнология</b> .....	357
13.1. Влияние дисперсности на свойства вещества.....	357
13.2. Критический диаметр наночастиц.....	359
13.3. Нанотехнология макрообъектов.....	361
Глава 14. <b>Технические приложения нанотехнологии</b> .....	366
<b>14.1.</b> Конструкционные наноматериалы.....	366
14.2. Функциональные наноматериалы.....	372
14.3. Наноматериалы семейства фуллеренов.....	375
14.4. Наноматериалы в микроэлектронике.....	380

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> . . . . .	4
<b>Введение</b> . . . . .	9
<b>Глава 1. Основы нанотехнологии</b> . . . . .	11
1.1. Влияние дисперсности на свойства вещества . . . . .	13
1.2. Физико-химические основы наноэффекта . . . . .	16
1.3. Критический диаметр наночастиц . . . . .	20
1.4. Целевые продукты нанотехнологии . . . . .	24
<b>Глава 2. Наночастицы</b> . . . . .	30
2.1. Наночастицы семейства фуллеренов . . . . .	30
2.2. Техническое применение наноразмерных частиц . . . . .	33
<b>Глава 3. Объемные материалы традиционной технологии</b> . . . . .	43
3.1. Критерии оценки конструкционных свойств . . . . .	43
3.2. Сырьевые ресурсы . . . . .	70
3.3. Технический потенциал . . . . .	79
3.4. Перспективы нанотехнологии . . . . .	83
<b>Глава 4. Объемный наноматериал</b> . . . . .	85
4.1. Моностадийное формирование объемного наноматериала . . . . .	85
4.2. Машиностроительный потенциал . . . . .	93
4.3. Биоинженерный потенциал . . . . .	102
<b>Глава 5. Объемный материал с добавкой наночастиц</b> . . . . .	106
5.1. Основы конструирования . . . . .	106
5.2. Механика нанокомпозитов . . . . .	108
5.3. Матрица объемных нанокомпозитов . . . . .	115
5.4. Контактное взаимодействие компонентов . . . . .	129
5.5. Техническое применение . . . . .	133
<b>Глава 6. Объемный наноструктурированный металл</b> . . . . .	140
6.1. Основы фрагментирования структуры металлов . . . . .	140
6.2. Наноструктурированные металлы . . . . .	150
6.3. Порошковые наноматериалы . . . . .	156
<b>Рекомендуемая литература</b> . . . . .	159
<b>Приложение</b> . . . . .	160
<b>Глоссарий</b> . . . . .	165



## Оглавление

§4.2. Физические основы формирования наноструктур . . . ^ . . .	208
4.2.1. Методы получения квантовых точек.....	211
4.2.2. Практическое применение наноструктур .....	214
§4.3. Гетероструктура германий-на-кремнии.....	217
§4.4. Новые источники света на основе гетероструктур.....	221
§4.5. Физические основы сверхпроводниковой электроники. . . .	228
§4.6. Взаимное влияние сверхпроводимости и магнетизма в гетероструктурах ферромагнетик/сверхпроводник.....	237
§4.7. Квантовый эффект Холла .....	241
4.7.1. Классический эффект Холла.....	244
4.7.2. Двумерные электронные системы.....	246
4.7.3. Модулированное легирование.....	248
4.7.4. Целочисленный квантовый эффект Холла.....	249
4.7.5. Дробный квантовый эффект Холла.....	253
Контрольные вопросы.....	259
Литература.....	260
[глава 5. Атомная физика .....	263
§5.1. Экзотические атомы.....	263
§5.2. Многозарядные ионы.....	267
§5.3. Многошаговый распад возбужденных состояний атомов.....	268
§ 5.4. Ридберговский атом.....	273
§5.5. Эксимерные молекулы .....	278
§ 5.6. Кластеры.....	280
§ 5.7. Фуллерены.....	284
§5.8. Эндоздральные соединения.....	287
§ 5.9. Углеродные нанотрубки.....	289
Контрольные вопросы.....	298
Литература.....	299
Глава 6. Строение и динамика молекул.....	301
§6.1. Магнитный резонанс.....	303
6.1.1. Из истории спектроскопии магнитного резонанса.....	303
6.1.2. Спектроскопия ЯМР высокого разрешения.....	306
6.1.3. Основы теории ядерного магнитного резонанса.....	316
6.1.4. Природа магнитной релаксации.....	322
6.1.5. Теория Блоха .....	326
6.1.6. Ядерная индукция.....	331
6.1.7. Спектрометры ядерного магнитного резонанса.....	332
6.1.8. Основные достоинства метода ЯМР.....	339
6.1.9. Интроскопия ЯМР.....	341
6.1.10. Электронный парамагнитный резонанс.....	344
6.1.11. Двойной ядерный резонанс.....	351

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Высокие технологии в машиностроении.....</b>	<b>5</b>
1.1. Проблемы высоких технологий и будущее отечественного машиностроения.....	5
1.1.1. Этапы развития высоких технологий на промышленных предприятиях.....	5
1.1.2. Системность.....	14
1.1.3. Совмещенность.....	18
1.2. Эффективность высоких технологий.....	20
1.2.1. Концепция нанотехнологии.....	
1.2.2. Технологический менеджмент качества.....	22
1.2.3. Сопутствующие размерные эффекты высоких технологий.....	35
1.3. Управление экологическими катастрофами в развитии высоких технологий.....	44
1.3.1. Происхождение экологических катастроф.....	44
1.3.2. Моделирование катастроф.....	45
1.3.3. Предупреждение экологических катастроф.....	48
1.4. Прецизионная точность размерной обработки.....	51
1.4.1. Размерная точность.....	51
1.4.2. Функциональная точность.....	58
1.4.3. Автоматизированная система обработки информации по стандартизации высоких технологий.....	73
<b>Глава 2. Прецизионное оборудование.....</b>	<b>78</b>
2.1. Техническая система.....	78
2.1.1. Элементы технического творчества сложных технических систем. Характеристика технических систем.....	78
2.1.2. Информация как особое свойство технической системы.....	80
2.2. Доминирующая конструкция прецизионного оборудования.....	84
2.2.1. Признаки доминирующей конструкции.....	84
2.2.2. Принцип построения доминирующей конструкции.....	86
2.2.3. Компоненты доминирующей конструкции прецизионного оборудования.....	92
2.2.4. Модель погружения доминирующего оборудования.....	102
2.3. Технологичность доминирующих конструкций прецизионного оборудования.....	109
2.3.1. Совмещенность свойств технологичности прецизионных конструкций.....	109
2.3.2. Технологичность прецизионного станка — обрабатывающего центра.....	111
2.3.3. Технологичность конструкций шпиндельного комплекса.....	116
2.3.4. Технологичность направляющих прецизионных станков.....	125
2.4. Техническое состояние доминирующей конструкции прецизионного оборудования.....	129
2.4.1. Моделирование технического состояния.....	129
2.4.2. Управление техническим состоянием.....	131

2.4.3. Математическое описание технического состояния элементов прецизионного оборудования.....	I I I
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

### **Глава 3. Прецизионная технология обработки..... 142**

3.1. Размерная обработка в машиностроении.....	142
3.1.1. Механообработка.....	142
3.1.2. Методология разработки технологических процессов размерной обработки деталей.....	14Н
3.2. Технологические факторы механообработки.....	154
3.2.1. Тепловые деформации в системе прецизионного станка.....	154
3.2.2. Геометрия инструмента.....	159
3.2.3. Выбор инструментального материала.....	160
3.2.4. Режимы обработки при алмазном наноточении.....	170
3.3. Поверхностный слой деталей машин.....	171
3.3.1. Формирование поверхностного слоя деталей машин наномеханической обработкой.....	171
3.3.2. Первичное формообразование.....	175
3.3.3. Управление параметрами поверхностного слоя при наноразмерной обработке.....	180
3.4. Нанотехнология в машиностроении.....	189
•1. Основы нанотехнологии.....	189
3.4.2. Наноматериалы и их применение.....	192
3.4.3. Нанотехнология деталей машин.....	196
3.5. Типовые прецизионные технологии.....	214
3.5.1. Технологические методы.....	214
3.5.2. Технологические процессы.....	230

### **Глава 4. Прецизионная метрология размерной обработки..... 239**

4.1. Метрологическое обеспечение .....	239
4.1.1. Проблемы метрологического обеспечения.....	239
4.1.2. Принципы технического контроля .....	244
4.1.3. Управление измерительными процессами.....	246
4.2. Прикладная метрология рельефа поверхности.....	255
4.2.1. Моделирование шероховатости поверхности по результатам измерения .....	255
4.2.2. Оценка точности формы в прецизионной метрологии. Измерение круглости .....	259
4.3. Прецизионное измерительное оборудование.....	260
4.3.1. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) .....	260

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Общие сведения о наноматериалах</b> .....	9
1.1 Наночастицы .....	9
1.1.1 Классификация наноматериалов по размерам частиц .....	9
1.1.2 Основные свойства наноматериалов .....	13
1.1.3 Влияние размерного фактора на свойства частиц .....	15
1.2 Нановолокна .....	19
1.3 Нанопленки .....	21
1.4 Объемные наноструктуры .....	23
Список литературы .....	27
<b>Глава 2. Основные химические методы получения наночастиц</b> .....	28
2.1 Общие сведения о методах получения наночастиц .....	28
2.2 Получение наночастиц в газовой фазе .....	31
2.2.1 Осаждение наночастиц в газовой фазе .....	31
2.2.2 Сверхзвуковое истечение газов из сопла .....	36
2.2.3 Термическое разложение и восстановление .....	36
2.3 Получение наночастиц в жидкой фазе .....	36
2.3.1 Осаждение в растворах и расплавах .....	38
2.3.2 Осаждение при сверхкритических условиях .....	41
2.3.3 Золь-гель метод .....	42
2.3.4 Электрохимический метод получения наночастиц .....	44
2.4 Получение наночастиц с использованием плазмы .....	45
2.5 Механохимический синтез .....	48
2.6 Биохимические методы получения наноматериалов .....	49
2.7 Криохимический метод .....	50
2.7.1 Общие сведения о криохимической технологии .....	50
2.7.2 Основные процессы криохимической нанотехнологии .....	53
Список литературы .....	57
<b>Глава 3. Приготовление и диспергирование растворов</b> ..	59
3.1 Приготовление растворов .....	59
3.2 Диспергирование растворов .....	70
3.2.1 Характеристика диспергирования жидкостей .....	70
3.2.2 Теория диспергирования при истечении из отверстий .....	76
3.2.3 Диспергирование жидкостей форсунками .....	80
3.2.4 Получение капель электрическими методами .....	87
Список литературы .....	89
<b>Глава 4. Получение твердых гранул</b> .....	90
4.1. Основные особенности процесса кристаллизации растворов ...	90
4.2. Кинетика процесса кристаллизации .....	95
4.2.1. Создание пересыщения, зарождение и рост кристаллов .....	95
4.2.2. Формирование структуры твердой фазы в процессе криокристаллизации .....	100
4.3. Замораживание в криогенных и охлаждаемых жидкостях .....	106
4.3.1. Замораживание в криогенных жидкостях .....	107
4.3.2. Замораживание в охлаждаемых жидкостях .....	115
4.4. Замораживание на охлаждаемой поверхности .....	119
4.4.1. Замораживание растворов в толстом слое на плоских теплоотводящих поверхностях .....	119
4.4.2. Замораживание капель на охлаждаемой твердой поверхности ..	123
4.5. Замораживание в вакууме .....	127
4.5.1. Тепло- и массообмен при замораживании капли в потоке хладагента .....	127
4.5.2. Особенности гранулообразования при замораживании в вакууме	133
4.6. Диоперность криопродуктов .....	138
Список литературы .....	141
<b>Глава 5. Сублимационная сушка</b> .....	143
5.1. Физико-химические основы процесса сублимационной сушки ..	143
5.1.1. Общие сведения о процессе сублимационной сушки .....	143
5.1.2. Механизм и кинетика сублимационной сушки .....	147
5.2. Тепло - и массообмен при сублимационном обезвоживании криогранул .....	153
5.2.1. Сублимационное обезвоживание при радиационном излучении	154
5.2.2. Сублимация при подводе энергии через замороженный слой материала .....	157
Список литературы .....	169
<b>Глава 6. Десублимация</b> .....	170
6.1. Общие сведения .....	170
6.2. Десублимация при движении пара в направлении, нормальном к плоской охлаждаемой поверхности .....	175
6.3. Десублимация при движении пара вдоль охлаждаемой поверхности .....	178
Список литературы .....	182
<b>Глава 7. Криоэкстракция и криоосаждение</b> .....	183
7.1. Физико-химические особенности процесса криоэкстракции .....	183
7.2. Физико-химические особенности процесса криоосаждения ...	189
Список литературы .....	191
<b>Глава 8. Процессы переработки нанопродуктов криосинтеза</b> .....	192
8.1. Основные сведения о процессах переработки криогранулята ...	192
8.1.1. Метастабильное состояние криопродуктов .....	192
8.1.2. Процесс старения .....	194
8.1.3. Дегидратация и термическое разложение .....	197
8.2. Измельчение твердых тел .....	200
8.2.1. Общие понятия .....	200
8.2.2. Теория измельчения .....	201



8.2.3.	Конструкции измельчающих устройств	209
8.3.	Смешивание порошковых материалов	216
8.3.1.	Теория процесса смешивания	216
8.3.2.	Конструкции смесителей	224
8.4.	Компактирование порошков	228
8.4.1.	Физико-химические особенности компактирования нанопорошков	228
8.4.2.	Компактирование нанопорошков при статическом силовом воздействии	236
8.4.3.	Компактирование нанопорошков при динамическом силовом воздействии	245
8.4.4.	Спекание пористых тел	251
	Список литературы	257

## **Глава 9. Аппаратурно-технологическое оформление сублимационных процессов**

9.1.	Основные технологические схемы процессов сублимации и десублимации при получении наноматериалов	259
9.2.	Аппаратурное оформление процессов сублимации и десублимации	261
9.2.1.	Сублимационные сушильные аппараты	261
9.2.2.	Десублимационные конденсаторы	281
9.2.3.	Вакуумные насосы для сублимационных установок	287
9.3.	Материальный и тепловой балансовые расчеты	293
	Список литературы	297

## **Глава 10. Аттестация наноматериалов и охрана окружающей среды**

10.1.	Методы исследований при аттестации наноматериалов	298
10.1.1.	Определение дисперсности наноматериалов	298
10.1.2.	Методы определения элементного состава дисперсных сред	306
10.1.3.	Методы анализа фазового состава	308
10.1.4.	Методы исследования поверхности наноматериалов	310
10.2.	Наноматериалы и охрана окружающей среды	311
10.2.1.	Использование наноматериалов для защиты окружающей среды	312
10.2.2.	Экология в производстве и применении наноматериалов	313
	Список литературы	322

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	7
<b>Глава 1. Криохимическая нанотехнология</b> .....	17
1.1. Общие сведения о криохимической нанотехнологии .....	17
1.2. Основные процессы криохимической нанотехнологии .....	21
Литература .....	27
<b>Глава 2. Растворение твердых веществ</b> .....	28
2.1. Общие сведения о растворении твердых веществ ...	28
2.2. Теплота процесса растворения .....	43
2.3. Кинетика процесса растворения .....	47
2.4. Увеличение растворимости мелких кристаллов ....	49
2.5. Растворы электролитов .....	50
Литература .....	52
<b>Глава 3. Диспергирование жидкостей</b> .....	54
3.1. Характеристики диспергирования жидкостей .....	54
3.2. Теория диспергирования при истечении из отверстия .....	60
3.3. Диспергирование жидкостей форсунками .....	64
3.4. Получение капель электрическими методами .....	70
Литература .....	72
<b>Глава 4. Второй закон термодинамики и фазовые равновесия</b> .....	74
4.1. Равновесные и неравновесные системы .....	74
4.2. Статистика Максвелла—Больцмана .....	80
4.3. Свободная энергия (энергия Гельмгольца и энергия Гиббса) .....	83
4.4. Термодинамические уравнения состояния и уравнения Гиббса—Гельмгольца .....	84
4.5. Химические потенциалы .....	85

4.6. Фазовые равновесия .....	87
4.6.1. Правило фаз Гиббса .....	87
4.6.2. Уравнение Клаузиуса—Клапейрона .....	94
4.7. Термодинамика поверхностных явлений .....	96
4.7.1. Определение межфазной энергии .....	96
4.7.2. Понижение температуры плавления мелкокристаллических порошков .....	102
Литература .....	103
<b>Глава 5. Неравновесные состояния растворов и расплавов</b> .....	105
5.1. Метастабильное состояние .....	105
5.2. Пересыщенные растворы .....	106
5.2.1. Понятие о пересыщении растворов .....	107
5.2.2. Предельное пересыщение растворов .....	112
5.2.3. Предельное переохлаждение растворов ....	120
5.2.4. Устойчивость пересыщенных растворов ....	123
5.3. Переохлажденные расплавы .....	127
5.4. Стекловидное состояние .....	131
5.5. Кристаллизация воды .....	133
Литература .....	137
<b>Глава 6. Кинетика образования кристаллов из жидкой фазы</b> .....	139
6.1. Основные условия кристаллизации .....	139
6.1.1. Гомогенное образование зародышей .....	140
6.1.2. Гетерогенное образование зародышей .....	149
6.2. Кинетика спонтанной стационарной кристаллизации в гомогенном расплаве .....	152
6.2.1. Скорость образования центров кристаллизации .....	152
6.2.2. Линейная скорость роста кристаллов .....	159
6.2.3. Коэффициент диффузии .....	163
6.3. Кинетика спонтанной стационарной кристаллизации в гомогенных растворах .....	164
6.3.1. Метастабильность и диаграмма состояния .....	164
6.3.2. Скорость образования центров кристаллизации .....	167
6.3.3. Линейная скорость роста кристаллов .....	169



6.4.	Стохастическая теория нуклеации .....	171
6.5.	Влияние эффектов нестационарности и неизотермичности в процессе кристаллизации. . .	173
6.5.1.	Нестационарная кристаллизация .....	174
6.5.2.	Неизотермическая кристаллизация .....	178
Литература	.....	180
<b>Глава 7. Отверждение жидких капель</b>	.....	<b>183</b>
7.1.	Проблемы задач теории кристаллизации. ....	183
7.2.	Кристаллизация жидких капель в криогенных и охлаждаемых жидкостях .....	188
7.2.1	Замораживание в криогенных жидкостях ...	189
7.2.2	Замораживание в охлаждаемых жидкостях ..	207
7.3.	Замораживание капель в вакууме .....	212
7.3.1.	Тепло- и массообмен при замораживании капли в потоке хладагента .....	212
7.3.2.	Особенности гранулирования при замораживании в вакууме. ....	219
Литература	.....	225
<b>Глава 8. Структура нанодисперсных гранул</b>	.....	<b>228</b>
8.1.	Определение переохлаждения расплавов. ....	228
8.2.	Оценка пересыщения растворов .....	233
8.3.	Структура твердых гранул. ....	239
8.3.1.	Структура гранул, полученных из расплавов .....	240
8.3.2.	Структура гранул, полученных из растворов .....	246
Литература	.....	257
<b>Глава 9. Сублимация</b>	.....	<b>259</b>
9.1.	Физико-химические основы процесса сублимации	259
9.1.1.	Общие сведения о процессе сублимации ...	259
9.1.2.	Механизм и кинетика сублимационной сушки .....	264
9.2.	Тепло- и массообмен при сублимационном удалении растворителя из криогранул .....	274
9.2.1.	Сублимация при радиационном излучении .....	275

9.2.2.	Сублимация при подводе энергии через замороженный слой материала .....	279
Литература	.....	296
<b>Глава 10. Десублимация пара растворителя</b>	.....	<b>297</b>
10.1.	Общие сведения .....	297
10.2.	Десублимация при движении пара в направлении, нормальном к плоской охлаждаемой поверхности. ....	303
10.3.	Десублимация при движении пара вдоль охлаждаемой поверхности .....	307
Литература	.....	311
<b>Глава 11. Аттестация наноматериалов и охрана окружающей среды</b>	.....	<b>313</b>
11.1.	Методы исследований при аттестации наноматериалов .....	313
11.1.1.	Определение дисперсности наноматериалов .....	314
11.1.2.	Методы определения элементарного состава дисперсных сред. ....	325
11.1.3.	Методы анализа фазового состава .....	329
11.1.4.	Методы исследования поверхности наноматериалов .....	330
11.2.	Наноматериалы и охрана окружающей среды .....	331
11.2.1.	Использование наноматериалов для защиты окружающей среды .....	332
11.2.2.	Экология в производстве и применении наноматериалов .....	343
Литература	.....	348

7.1. Нанотехнологии и наночастицы — новые факторы в гигиене труда.....	183
<b>Глава 8. Электромагнитные поля.....</b>	<b>194</b>
8.1. Виды электромагнитных полей.....	196
8.2. Биологическое действие электромагнитных полей.....	207
8.3. Гигиенические нормативы ЭМП.....	221
8.4. Принципы измерения параметров электрических и магнитных полей.....	230
8.5. Защитные мероприятия при работе с источниками ЭМП .	232
<b>Глава 9. Лазерное излучение.....</b>	<b>240</b>
<b>Глава 10. Ультрафиолетовое излучение.....</b>	<b>249</b>
<b>Глава 11. Производственный шум.....</b>	<b>259</b>
11.1. Источники шума.....	260
11.2. Биологическое действие шума.....	264
11.3. Нормирование шума на рабочих местах.....	269
11.4. Профилактика неблагоприятного действия шума.....	275
<b>Глава 12. Ультразвук.....</b>	<b>278</b>
<b>Глава 13. Инфразвук.....</b>	<b>300</b>
<b>Глава 14. Вибрация.....</b>	<b>321</b>
14.1. Локальная вибрация.....	321
14.2. Общая вибрация.....	334
14.3. Гигиеническое нормирование вибрации.....	343
<b>Глава 15. Производственные факторы химической природы.....</b>	<b>353</b>
15.1. Характер действия промышленных ядов.....	381
15.2. Зависимость токсического действия от химической структуры.....	397
15.3. Факторы, влияющие на токсическое действие химических веществ.....	401
18.4..... (Основы токсикометрии	404
iii Комбинированное действие химических веществ ... 413 <sup>1</sup> ■ i ' Комплексное воздействие химических факторов ... 415	



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	8
<b>Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И МОТИВАЦИИ</b> .....	11
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	32
<b>Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНИКИ</b> .....	33
2.1. Роль свободных и внутренних поверхностей .....	33
2.2. Квантовые эффекты .....	47
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	56
<b>Глава 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, АНАЛИЗА И АТТЕ- СТАЦИИ НАНОСТРУКТУР</b> .....	57
3.1. Введение .....	57
3.2. Электронная микроскопия .....	66
3.3. Дифракционный анализ .....	77
3.4. Спектральные методы .....	88
3.5. Методы определения размеров наночастиц .....	104
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	106
<b>Глава 4. ЗОНДОВЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ</b> .....	108
4.1. Введение .....	108
4.2. Сканирующая зондовая микроскопия .....	113
4.2.1. Общие принципы сканирующей зондовой мик- роскопии .....	114
4.2.2. Сканирующая туннельная микроскопия .....	123
4.2.3. Атомно-силовая микроскопия .....	128
4.2.4. Электросиловая зондовая микроскопия .....	137
4.2.5. Магнитно-силовая зондовая микроскопия .....	138
4.2.6. Ближнепольная оптическая микроскопия .....	139
4.2.7. Разрешающая способность, погрешности, иска- жения и артефакты в SPM .....	141
4.3. Сенсоры различного назначения .....	145
4.4. Атомные манипуляции и дизайн, нанолитография ...	146

4.5. Силовой нанотестинг приповерхностных слоев . . . . .	151
4.5.1. Методы тестирования локальным нагружением . . . . .	153
4.5.2. Основы техники наноиндентирования . . . . .	156
4.5.3. Информативные возможности наноиндентирования . . . . .	162
4.5.4. Анализ диаграмм нагружения при наноиндентировании . . . . .	165
4.5.5. Коррекция результатов тестирования в наноиндентировании . . . . .	171
4.6. Примеры использования силового нанотестинга в исследованиях механических свойств поверхности . . . . .	181
Заключение . . . . .	206
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .</b>	<b>207</b>

<b>Глава 5. НАНОМАТЕРИАЛЫ . . . . .</b>	<b>213</b>
5.1. Общие положения и классификация . . . . .	213
5.2. Наночастицы и нанопорошки . . . . .	223
5.3. Объемные наноструктурные материалы . . . . .	227
5.4. Фуллерены и их производные, нанотрубки . . . . .	258
5.5. Нанокмпозиционные материалы . . . . .	278
5.6. Нанопористые материалы . . . . .	282
5.7. Функциональные материалы . . . . .	285
5.7.1. Общие вопросы . . . . .	285
5.7.2. Полупроводниковые и диэлектрические материалы . . . . .	286
5.7.3. Высокотемпературные сверхпроводники . . . . .	287
5.7.4. Магнитные материалы . . . . .	288
5.7.5. Материалы с гигантским и колоссальным магнитосопротивлением . . . . .	288
5.7.6. Материалы со специальными механическими свойствами . . . . .	290
5.7.7. Текстильные наноматериалы . . . . .	291
5.7.8. Интеллектуальные материалы . . . . .	291
5.8. Тонкие пленки и покрытия . . . . .	292

5.9. Полимерные, биологические и биосовместимые материалы . . . . .	295
Заклучение . . . . .	301
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .</b>	<b>305</b>
<b>Глава 6. НАНОЭЛЕКТРОНИКА . . . . .</b>	<b>309</b>
6.1. Общие сведения . . . . .	309
6.2. Основные функции нанозлектроники . . . . .	312
6.3. Фундаментальные пределы миниатюризации . . . . .	316
6.4. Основные материалы и технологии . . . . .	318
6.5. Нанолитография . . . . .	327
6.6. Основные компоненты микросхем . . . . .	334
6.7. Логические и запоминающие ячейки . . . . .	337
6.8. Связи и соединения, передача данных . . . . .	341
6.9. Системы долговременной памяти . . . . .	344
6.10. Микроэлектроника "рядом с кремнием" . . . . .	352
6.11. Нанозлектроника на нанотрубках . . . . .	360
6.12. Квантовые устройства . . . . .	364
6.13. Молекулярная электроника . . . . .	368
Заклучение . . . . .	374
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .</b>	<b>375</b>

<b>Глава 7. НАНОПРИБОРЫ, НАНОМАШИНЫ, НАНОСИСТЕМЫ . . . . .</b>	<b>376</b>
7.1. Введение . . . . .	376
7.2. Особенности механики в наношкале . . . . .	377
7.3. Гидродинамика наножидкостей . . . . .	379
7.4. Нанотрибология . . . . .	382
7.4.1. Общие вопросы . . . . .	382
7.4.2. Сухое трение в атомарной шкале . . . . .	385
7.4.3. Трение в условиях жидкостной смазки . . . . .	388
7.4.4. Износ в наношкале . . . . .	394
7.4.5. Компьютерное моделирование трения и износа в атомарной шкале . . . . .	397



7.5. Технологии производства микро-/наноприборов и машин .....	398
7.6. Сенсоры .....	402
7.6.1. Общие вопросы .....	402
7.6.2. Мембранные сенсоры .....	405
7.6.3. Тактильные сенсоры .....	406
7.6.4. Сенсоры для регистрации ускорения, вибрации, ударов .....	410
7.6.5. Бесконтактные оптические сенсоры .....	411
7.6.6. Струнные сенсоры .....	412
7.6.7. Консольно-балочные сенсоры .....	415
7.7. Актуаторы, манипуляторы, двигатели .....	416
7.8. Элементы микрогидравлики .....	419
7.9. Интегрированные системы .....	420
7.9.1. Общие вопросы .....	420
7.9.2. Инерциальные приборы .....	421
7.9.3. Оптомеханические МЭМС .....	423
7.9.4. Радиотехнические МЭМС .....	426
7.9.5. Микроаналитическая лаборатория на одном чипе .....	428
7.9.6. Проект Millipede .....	430
7.9.7. Медицинская нанотехника .....	432
7.10. Интеллектуальные наносистемы .....	434
Заключение .....	437
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>438</b>
<b>Глава 8. НАНОБИОТЕХНОЛОГИЯ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ УСТРОЙСТВА .....</b>	<b>440</b>
8.1. Общие вопросы .....	440
8.2. Основные объекты нанобиотехнологии .....	443
8.3. Самосборка и самоорганизация .....	447
8.4. Генная инженерия .....	448
8.5. Искусственные мембраны .....	451
8.6. Наноконтейнеры, нанореакторы, мицеллы .....	452
8.7. Молекулярные устройства .....	454

8.7.1. Общие вопросы .....	454
8.7.2. Молекулярные пинцеты .....	456
8.7.3. Ротаксаны и катенаны .....	457
8.7.4. Вращательное движение .....	460
8.7.5. Возвратно-поступательное движение .....	462
8.7.6. Схемы сборки путем нанизывания кольцевых молекулярных структур на линейные .....	465
8.8. Перспективы и морально-этические проблемы .....	469
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>472</b>
<b>Глава 9. ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НАНОРЕВОЛЮЦИИ .....</b>	<b>473</b>
<b>Вместо послесловия. Как это начиналось .....</b>	<b>480</b>



Предисловие	5
Введение	8
Список литературы	19
<b>Глава 1. ПРИНЦИПЫ И ТЕХНИКА НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ</b>	22
1.1. Методы тестирования материалов локальным нагружением	22
1.2. Основы техники наноиндентирования	32
1.3. Информативные возможности наноиндентирования	60
1.4. Методы анализа <i>P-h</i> -диаграмм	65
1.4.1. Метод Оливера—Фарра	69
1.4.2. Контактная площадь	75
1.4.3. Анализ данных, полученных вдавливанием сферы	79
1.4.4. Альтернативные методы анализа первичных данных	83
1.5. Склерометрия	91
1.6. Коррекция первичных данных	95
1.7. Нетрадиционное использование NI	110
1.8. Перспективы развития техники NI	113
Список литературы	114
<b>Глава 2. МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В НАНО- И СУБМИКРООБЪЕМАХ ПРИ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ</b>	123
2.1. Общие сведения	123
2.2. Упругий контакт	124
2.3. Контактная жесткость и модуль Юнга	130
2.4. Несущая способность наноконтакта, начальная стадия пластичности	136
2.4.1. История изучения начальной пластичности в наноконтактах	136
2.4.2. Феноменология упругопластического перехода в наноконтакте	137
2.4.3. Гомогенное зарождение дислокаций под индентором	150
2.5. <i>In situ</i> исследования зарождения дислокаций	155
2.6. Роль различных факторов в инициировании начальной пластичности	156
2.6.1. Роль состояния поверхности	156
2.6.2. Роль примесных атомов	163
2.6.3. Роль границ зерен	164
2.6.4. Возможная роль точечных дефектов	171

2.7. Нерешенные проблемы	175
Список литературы	176
<b>Глава 3. РАЗВИТАЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ МИКРОИНДЕНТИРОВАНИИ</b>	182
3.1. Основные задачи	182
3.2. Восстановление $\sigma$ - $\varepsilon$ -диаграммы	184
3.3. Определение внутренних напряжений	190
3.4. Временизависимые свойства	198
3.4.1. Ползучесть	198
3.4.2. Вязкоупругость и квазиупругое последствие	205
3.4.3. Скоростная чувствительность твердости	207
3.4.4. Контактная усталость	210
3.4.5. Скачкообразная деформация	214
3.5. Фазовые переходы при локальном деформировании	221
3.6. Микроструктура в зоне локальной деформации кристаллических материалов	228
3.7. Наноиндентирование аморфных сплавов	236
3.8. Разрушение в окрестности отпечатка	240
3.9. Размерные эффекты	264
3.10. Латеральные моды силового сканирования поверхности	270
3.11. Механические свойства и адгезия тонких пленок и многослойных покрытий	271
3.11.1. Основные задачи	271
3.11.2. Толщина пленок	273
3.11.3. Твердость пленок	273
3.11.4. Контактная жесткость и модуль Юнга	275
3.11.5. Адгезия пленок и внутренние напряжения	275
3.11.6. Градиентные покрытия	279
Список литературы	280
<b>Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕНИЯ И ИЗНОСА В НАНОШКАЛЕ</b>	292
4.1. Введение в нанотрибологию	292
4.2. Сухое трение в атомной шкале	298
4.3. Механизмы износа	302
4.4. Износ в наношкале	306
4.5. Краткие итоги	309
Список литературы	310
Заключение	312



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
<i>Глава 1</i>	
<b>НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ СТАРТОВАЛА!</b> .....	10
1.1. Что понимают под наноматериалами и нанотехнологиями .....	10
1.2. Теоретические основы технологий различного масштабно-временного уровня .....	12
<i>Глава 2</i>	
<b>МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ</b> .....	14
2.1. Нанодисперсные и гранулированные материалы, получаемые в импульсной плазме .....	14
2.2. Лазерное охлаждение в твердых телах .....	18
2.3. Импульсная техника и наносекундные технологии .....	20
2.4. Сверхбыстрая закалка как способ получения аморфных нанокристаллических сплавов .....	22
<i>Глава 3</i>	
<b>РАЗВИТИЕ РАБОТ В РОССИИ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ</b> .....	25
<i>Глава 4</i>	
<b>НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	32
4.1. Введение .....	32
4.2. Механические и магнитные свойства НКМ .....	34
4.3. Структура, прочность и механизм деформации и разрушения нанокристаллических материалов .....	38
<i>Глава 5</i>	
<b>УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБЫ И РОДСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ XXI ВЕКА</b> .....	43
5.1. Новые возможности использования нанотрубных структур .....	47
5.2. Работают острия труб .....	49
5.3. УНТ в электронике .....	50
5.4. Пряжа из УНТ-нитей и организация нанотрубных пучков на подложках .....	53
5.5. Новые области применения нанотрубных материалов и изделий из них .....	54
<i>Глава 6</i>	
<b>НАНОТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b> .....	57
6.1. Техногенные минеральные наночастицы при освоении недр .....	57
6.2. Разупрочнение железистых кварцитов методом импульсной электромагнитной обработки .....	70
6.3. Применение высоковольтной импульсной техники и наносекундной электроники в процессах переработки благороднометалльного минерального сырья .....	75
6.4. Микродисперсные реагенты и коагулянты — новые средства повышения технико-экономических и экологических показателей работы горно-обогатительных предприятий .....	91
6.5. О свойствах каменного угля как природного наноматериала .....	94
Список литературы .....	98

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. НАНОИЗМЕРЕНИЯ.....	18
1.1 Классификация методов наноизмерений.....	18
1.2 Исследования наноструктур.....	19
1.2.1 Электронная микроскопия.....	19
1.2.2 Сканирующая зондовая микроскопия .....	29
1.2.3 Дифракционный анализ.....	41
1.2.4 Спектральные методы.....	45
1.2.5 Прецизионная эллипсометрия.....	47
1.2.6 Фракционный анализ нанопорошков.....	50
1.2.7 Наноиндентирование.....	53
1.3 Измерения наноперемещений.....	57
1.4 Нанометрология.....	64
1.4.1 Современное состояние нанометрологии.....	64
1.4.2 Меры длины в диапазоне наноразмеров .....	69
1.4.3 Меры наноперемещений.....	75
Контрольные вопросы.....	76
2. ФУЛЛЕРЕНЫ, НАНОЧАСТИЦЫ И НАНОТРУБКИ.....	77
2.1 Фуллерены.....	77
2.1.1 Фуллерены — новая аллотропная форма углерода.....	77
2.1.2 Получение фуллеренов.....	81
2.1.3 Применение фуллеренов.....	85
2.2 Наночастицы и нанотрубки.....	89
Контрольные вопросы.....	101
3. НАНОПОРОШКИ.....	102
3.1 Терминология и основные области применения.....	102
3.2 Методы получения нанопорошков.....	103
3.2.1 Классификация методов получения нанопорошков.....	103
3.2.2 Физико-химические методы получения нанопорошков.....	103
3.2.3 Физические методы получения нанопорошков.....	115
Контрольные вопросы.....	131
4. ОБЪЁМНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ.....	132
4.1 Методы получения объёмных наноматериалов.....	132
4.1.1 Компактирование нанопорошков.....	132
4.1.2 Методы интенсивной пластической деформации.....	143
4.1.3 Контролируемая кристаллизация аморфных сплавов.....	150
4.1.4 Стереолитография наноструктурных материалов.....	155
4.2 Свойства и области применения объёмных наноматериалов.....	157
Контрольные вопросы.....	162
5. НАНОПОКРЫТИЯ.....	163

5.1 Методы нанесения тонких покрытий.....	163
5.1.1 Электролитическое осаждение покрытий.....	163
5.1.2 Химическое осаждение покрытий.....	167
5.1.3 Физическое осаждение покрытий.....	169
5.1.4 Газотермическое напыление.....	178
5.2 Методы нанесения нанопокровтий.....	179
5.2.1 Основные технологические подходы.....	179
5.2.2 Ионно-плазменное осаждение.....	183
5.2.3 Молекулярно-лучевая эпитаксия.....	185
5.2.4 Импульсное лазерно-плазменное напыление.....	190
5.3 Свойства нанопокровтий.....	193
Контрольные вопросы.....	197
6. НАНОТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ.....	198
6.1 Поверхностное наноструктурирование.....	198
6.2 Изменение химического состава поверхностного слоя.....	203
6.2.1 Метод термической диффузии.....	203
6.2.2 Метод ионной имплантации.....	210
6.3 Нанополирование.....	212
Контрольные вопросы.....	222
7. УСТРОЙСТВА НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ.....	223
7.1 Требования к устройствам наноперемещений.....	223
7.2 Основные типы приводов наноперемещений.....	223
7.3 Устройства наноперемещений.....	231
7.3.1 Наноактюаторы.....	231
7.3.2 Нанопозиционеры.....	236
7.3.3 Наноманипуляторы.....	240
Контрольные вопросы.....	245
8. РАЗМЕРНАЯ НАНООБРАБОТКА.....	246
8.1 Классификация методов размерной нанобработки.....	246
8.2 Размерная нанобработка объёмных изделий.....	246
8.2.1 Лезвийная нанобработка.....	246
8.2.2 Наношлифование.....	251
8.2.3 Электроэрозионная нанобработка.....	253
8.2.4 Лазерная нанобработка.....	258
8.3 Нанобработка сканирующими зондами.....	260
8.4 Нанолитография.....	264
Контрольные вопросы.....	271
9. КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ.....	272
9.1 Основные понятия.....	272
9.2 Простейшие полупроводниковые наноструктуры .....	274
9.2.1 Квантовые ямы .....	274
9.2.2 Квантовые нити.....	276
9.2.3 Квантовые точки .....	279
9.3 Применение квантовых полупроводниковых структур.....	280
9.3.1 Резонансный туннельный диод.....	280

9.3.2	Лазерные устройства на квантовых ямах .....	283
9.3.3	Фотоприемники на квантовых ямах .....	284
	Контрольные вопросы.....	288
10.	НАНОМАШИНЫ И СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ.....	289
10.1	Наномашины.....	289
10.1.1	Основные понятия.....	289
10.1.2	Атомные и молекулярные машины.....	292
10.2	Супрамолекулярные структуры.....	293
10.2.1	Объекты супрамолекулярной химии.....	293
10.2.2	Применение супрамолекулярных структур.....	295
10.2.3	Простейшие супрамолекулярные структуры.....	296
10.2.4	Молекулярные машины.....	304
	Контрольные вопросы.....	308
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	309
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	311



12.2.2. Циклотронная частота.....	345
12.2.3. Спектр энергии двумерных электронов в поперечном магнитном поле.....	346
12.2.4. Число состояний для электронов на уровне Ландау.....	347
12.2.5. Плотность электронов в 2D-электронном газе в сильном магнитном поле.....	348
12.2.6. Эффект Холла для 2D-электронов в сильном магнитном поле ..	348
Контрольные вопросы .....	349
<b>Глава 13. Полупроводниковые приборы при экстремальных температурах .....</b>	<b>350</b>
13.1. Полупроводниковые материалы для высокотемпературной электроники .....	350
13.2. Твердотельные приборы на SiC.....	353
13.3. Твердотельные приборы на GaN.....	355
Контрольные вопросы .....	356
<b>Глава 14. Микроминиатюризация и приборы наноэлектроники .....</b>	<b>357</b>
14.1. Микроминиатюризация МДП-приборов .....	358
14.2. Физические явления, ограничивающие микроминиатюризацию .....	360
<u>14.3. Приборы наноэлектроники для квантовых компьютеров.....</u>	<u>362</u>
Контрольные вопросы .....	365
	366

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Схемы интенсивной пластической деформации (ИПД) .....	5
2. Структурообразование при холодной ИПД .....	15
3. Термическая устойчивость УМЗ структуры .....	22
4. Свойства металлов и сплавов после ИПД .....	30
Библиографический список .....	35

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ..... 7

Глава 1. Новая парадигма в тенденциях развития кремниевой нано-электроники..... 7

Введение..... 7

1.1.Увеличение быстродействия за счёт уменьшения длины канала ..... 9

1.2.Использование напряжённого кремния в МДП-транзисторах иКМОП структурах..... 14

1.2.1. Механические напряжения в полупроводниках ..... 15

1.2.2. Способы введения напряжений в область канала МДПТ .. 23

1.2.2.1. Деформация, вводимая подложкой ..... 23

1.2.2.2. Деформации, вводимые в область канала транзистора с помощью технологических процессов ..... 25

1.2.3. Влияние относительной ориентации поверхности подложки направления тянущего поля в канале и направлении напряжения ..... 30

1.3. Проблема металла при формировании затвора ..... 32

Заключение..... 37

Список литературы..... 40

Глава 2. Фотоприемники на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник - приборов с зарядовой связью ..... 43

2.1. Физические основы работы ПЗС-структур ..... 44

2.1.1. Неравновесное обеднение полупроводника в МДП структуре..... 44

2.1.2. Устройство и принцип работы ПЗС ..... 47

2.2. Обработка сигнала на многоэлементном ПЗС (Линейка, Матрица) ..... 59

2.3. Шумы приборов с зарядовой связью..... 63

2.4. Приёмники излучения на основе приборов с зарядовой инжекцией ..... 65

2.5. Получение цветного изображения..... 71

2.6. Приборы, отображающие оптическую информацию..... 78

2.6.1. Электролюминесцентные дисплеи..... 79

2.6.2. Материалы для цветных дисплеев ..... 82

2.6.3. Конструкция многоцветных дисплеев..... 84

2.6.4. Жидкокристаллические дисплеи..... 86

2.6.5. Плазменные дисплеи..... 91

Список литературы ..... 94

Глава 3. Полупроводниковые нанопроволочные сенсоры..... 94

3.1. Общие проблемы химических и биологических сенсоров..... 95

3.2. Физические принципы работы химических и биосенсоров .... 97

3.3. Методы получения нанопроволок ..... 102

3.4. Химические нанопроволочные сенсоры ..... 106

3.5. Нанобиосенсоры..... 108

3.6. Снабжение энергией автономных наносенсорных беспроводных приборов и «нанобиороботов»..... 119

3.7. Заключение..... 123

Список литературы ..... 127

Глава 4. Особенности транспорта электронов в ID-системах..... 127

4.1. Кондактанс идеального квантового проводника в баллистическом режиме..... 131

4.2. Баллистическая проводимость квантовых проводов при конечных температурах..... 140

4.3. Квантовая проводимость с учетом разогрева носителей заряда в продольном электрическом поле..... 142

4.4. Интерференционный транзистор на основе одномодового КП ..... 145

4.5. Особенности измерения кондактанса КП в баллистическом режиме много контактным методом..... 149

4.6. Электропроводность квантовых проволок в диффузионном режиме..... 154

4.7. Влияние флуктуации толщины полупроводниковой квантовой проволоки на ее статическую электропроводность.....	156	6.4. Основные направления развития магнитоэлектроники.....	271
4.8. Влияние магнитного поля на проводимость КП в диффузионном режиме.....	161	Список литературы .....	277
4.9. Плотность состояний в квантовом проводе с уширенными энергетическими уровнями .....	170	Глава 7. Фотонные кристаллы.....	283
Список литературы.....	170	7.1. Общие положения .....	283
Глава 5. Нанотрубки .....		7.2. Одномерные фотонные кристаллы .....	286
IXI		7.3. Одномерные квазипериодические фотонные кристаллы.....	290
5.1. Структура углеродных нанотрубок .....	183	7.4. Особенности плотности состояний одномерного разупорядоченного фотонного кристалла .....	296
5.2. Электронные свойства углеродных нанотрубок.....	192	7.5. Фотонно-кристаллические свойства магнитогиротропных сред .....	306
5.3. Механические свойства углеродных нанотрубок.....	203	7.6. Двух-и трехмерные фотонные кристаллы .....	313
5.4. Фононный спектр углеродных нанотрубок.....	220	7.7. Фотонные кристаллы на основе опала.....	317
Список литературы.....		7.8. Оптические свойства нанокompозитов на основе пористого кремния .....	324
225		7.8.1. Формирование пористого кремния .....	325
Глава 6. Магнитоэлектроника .....	231	7.8.2. Двулучепреломление и дисперсия оптических параметров ПК .....	327
6.1. Гигантское магнетосопротивление.....	233	7.8.3. Двулучепреломление окисленного ПК.....	332
6.1.1. Гигантское магнетосопротивление в мультислойных структурах первого типа.....	238	7.8.4. Одномерные фотонно-кристаллические структуры на основе ПК .....	334
6.1.2. Гигантское магнетосопротивление в мультислоях второго и третьего типа.....	247	7.8.5. Двух- и трехмерные фотонно-кристаллические структуры на основе ПК .....	338
6.1.3. Магнитные туннельные структуры.....	253	Список литературы .....	347
6.2. Колоссальное магнетосопротивление в магнитных полупроводниках .....	257		
6.3. Гигантский магнитоэлектрический эффект в мультиферроиках .....	262		



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения .....	9
Предисловие к первому изданию .....	10
Предисловие ко второму изданию .....	15
<b>Глава 1. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности .....</b>	<b>17</b>
1.1. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке .....	18
1.2. Потенциальный барьер конечной ширины .....	23
1.3. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролете частиц .....	25
1.4. Частица в прямоугольной потенциальной яме .....	28
1.5. Особенности движения частиц над потенциальной ямой .....	37
1.6. Движение частицы в сферически симметричной прямоугольной потенциальной яме .....	39
1.7. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора .....	44
1.8. Энергетические состояния в прямоугольной квантовой яме сложной формы .....	49
1.9. Структура со вдвоенной квантовой ямой .....	56
1.10. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры .....	60
1.11. Энергетический спектр сверхрешеток .....	69
1.12. Классификация полупроводниковых сверхрешеток .....	74
1.13. Низкоразмерные системы с цилиндрической и сферической симметрией .....	88
Список литературы .....	95
<b>Глава 2. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности .....</b>	<b>98</b>
2.1. Энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы в однородном электрическом поле .....	98
2.2. Оценка смещения энергетических уровней под действием электрического поля в прямоугольной КЯ конечной глубины .....	103

2.3. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы .....	106
2.4. Интерференционная передислокация электронной плотности в туннельно-связанных квантовых ямах .....	109
2.5. Потенциальная ступенька в однородном электрическом поле .....	114
2.6. Прохождение частиц через двухбарьерную структуру в электрическом поле .....	117
2.7. Влияние однородного электрического поля на двухэлектронные состояния в двойной квантовой точке .....	123
2.8. Энергетический спектр сверхрешетки из квантовых точек в постоянном электрическом поле .....	128
Список литературы .....	132
<b>Глава 3. Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности .....</b>	<b>134</b>
3.1. Особенности распределения плотности состояний в 2D-системах .....	134
3.2. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации электронов и толщины пленки для 2D-систем .....	142
3.3. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках .....	146
3.4. Влияние дополнительного пространственного ограничения на энергетический спектр связанных состояний в одномерной $\delta$ -образной потенциальной яме .....	150
3.5. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности .....	154
3.6. Влияние размерного квантования на состояния мелкого экситона .....	161
3.7. Энергетический спектр полупроводниковых пленок типа $n$ -GaAs .....	167
3.8. Энергетический спектр электронов в размерно-квантовых пленках Ge и Si .....	176
3.9. Энергетический спектр в полупроводниковых пленках с вырожденными зонами .....	181
3.10. Энергетический спектр в квантовой точке с параболическим удерживающим потенциалом .....	194
Список литературы .....	197
<b>Глава 4. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности .....</b>	<b>200</b>
4.1. Приповерхностная область пространственного заряда .....	200
4.2. Уравнение Пуассона .....	206
4.3. Разновидности областей пространственного заряда .....	209
4.4. Решение уравнения Пуассона .....	213
4.5. Определение зависимости потенциала в области пространственного заряда от координаты .....	216
4.6. Поверхностное квантование .....	219

4.7. Экранирование электрического поля в 2D-системах .....	227
4.8. Особенности экранирования электрического поля в квантовых проволоках .....	232
Список литературы .....	235
<b>Глава 5. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе .....</b>	<b>237</b>
5.1. Эксперименты с двумерным электронным газом .....	239
5.2. Энергетический спектр электронов в постоянном однородном магнитном поле .....	242
5.3. Проводимость двумерного электронного газа .....	251
5.4. Дробный квантовый эффект Холла .....	261
Список литературы .....	271
<b>Глава 6. Особенности фононного спектра в системах пониженной размерности .....</b>	<b>278</b>
6.1. Дисперсионные зависимости фононов в полупроводниковых сверхрешетках .....	278
6.2. Свертка ветвей акустических фононов .....	284
6.3. Локализация фононов .....	288
6.4. Интерфейсные фононы .....	291
Список литературы .....	296
<b>Глава 7. Транспортные явления .....</b>	<b>297</b>
7.1. Стационарная дрейфовая скорость .....	297
7.2. Всплеск во времени дрейфовой скорости при воздействии электрического поля .....	307
7.3. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных приборах .....	313
7.4. Подвижность электронов в системах с селективным легированием .....	321
7.5. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности .....	329
7.6. Рассеяние электронов в 2D-системах .....	335
7.7. Особенности рассеяния квазидвумерных электронов в сверхрешетках .....	343
7.8. ТермоЭДС в квазидвумерных системах .....	348
7.9. Асимметричные наноструктуры в магнитном поле .....	351
7.10. Эффект Ааронова – Боме .....	363
Список литературы .....	367
<b>Глава 8. Туннелирование через квантово-размерные структуры .....</b>	<b>371</b>
8.1. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой .....	371
8.2. Вольт-амперная характеристика многослойных структур .....	382
8.3. Экспериментальное исследование вольт-амперных характеристик двухбарьерных квантовых структур .....	385
8.4. Диапазон рабочих частот двухбарьерной квантовой структуры .....	394
Список литературы .....	410

Г л а в а 9. Проблемы одноэлектроники .....	413
9.1. Теоретические основы одноэлектроники .....	414
9.2. Реализация одноэлектронных приборов .....	422
9.3. Применение одноэлектронных приборов .....	442
Список литературы .....	449
Г л а в а 10. Тенденции создания нанотранзистора .....	453
Список литературы .....	471
Г л а в а 11. Проблемы полупроводниковой элементной базы квантового компьютера .....	473
11.1. Общие сведения .....	479
11.2. Квантовый компьютер на ядерных спинах в кремнии. ....	479
11.3. Квантовый компьютер на электронном спиновом резонансе в структурах Ge – Si .....	484
Список литературы .....	493

## Оглавление

Введение. Чудеса вокруг нас . . . . .	7
Глава 1. Афера с расхищением. . . . .	15
Глава 2. Меньше, еще меньше и еще и еще меньше. . . . .	35
Глава 3. Оставаясь на дне . . . . .	80
Глава 4. Строим памятник? Скорее монумент. . . . .	119
Глава 5. Наннобактерии . . . . .	152
Глава 6. Кто боится нанотехнологий? . . . . .	172
Приложение I. Коротенькая история микроскопа. . . . .	203
Приложение II. Злоключения одной приставки. . . . .	223
Библиография . . . . .	234
Благодарности . . . . .	237



# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
<i>Глава первая</i>	
Методология компьютерного моделирования наносистем .....	10
1.1. Общие принципы компьютерного моделирования .....	10
1.2. Методологические основы вычислительной нанотехнологии .....	21
<i>Глава вторая</i>	
Квантовое описание структуры атомного мира .....	31
2.1. Предпосылки создания квантовой механики .....	31
2.2. Основные понятия и математический аппарат квантовой механики .....	38
2.3. Свойства одноэлектронных атомов .....	46
<i>Глава третья</i>	
Моделирование строения многоэлектронных атомов .....	58
3.1. Электронная теория строения атомов .....	58
3.2. Метод Хартри-Фока .....	63
3.3. Атомные орбитали .....	69
3.4. Теория функционала плотности .....	82
<i>Глава четвертая</i>	
Моделирование молекулярных систем .....	87
4.1. Физико-химические закономерности строения молекул .....	87
4.2. Теория химической связи .....	98
4.3. Приближение Борна-Оппенгеймера .....	116
4.4. Метод валентных схем .....	121
4.5. Метод молекулярных орбиталей .....	125
4.6. Расчет поверхности потенциальной энергии .....	143

<i>Глава пятая</i>	
Межмолекулярные взаимодействия .....	158
5.1. Межмолекулярные силы .....	158
5.2. Потенциалы взаимодействия частиц .....	173
5.3. Молекулярная механика .....	195
5.4. Молекулярная динамика .....	213
5.5. Моделирование методами Монте-Карло .....	224
<i>Глава шестая</i>	
Механизм образования наноструктур .....	234
6.1. Супрамолекулярные системы .....	234
6.2. Модели нанокластеров .....	250
6.3. Молекулярная самосборка .....	281
<i>Глава седьмая</i>	
Многомасштабное моделирование материалов и процессов ..	298
7.1. Концепция многомасштабного моделирования .....	298
7.2. Многомасштабное моделирование энергетических процессов .....	306
7.3. Моделирование в наноструктурной области .....	329
7.4. Моделирование макроскопических систем .....	342
<i>Глава восьмая</i>	
Программное обеспечение моделирования наносистем .....	357
8.1. Процедуры квантовохимических расчетов .....	357
8.2. Программы расчетов «из первых принципов» .....	361
8.3. Программы полуэмпирических методов расчета .....	365
8.4. Программы для моделирования в молекулярной динамике .....	366
8.5. Интегрированные пакеты программ .....	369
8.6. Программы моделирования наносистем .....	370
Литература .....	373

5.7. Репрограммируемые постоянные запоминающие устройства.....	321
5.8. Флеш-память.....	324
5.8.1. Виды флеш-памяти.....	324
5.8.2. Флеш-память с многоуровневым хранением заряда .....	327
5.8.3. Флеш-память с зеркальным битом .....	327
5.9. Кэш-память .....	328
5.10. Базовые матричные кристаллы .....	329
5.11. Программируемые логические интегральные схемы .....	337
5.12. Цифровые и аналоговые мультиплексоры .....	341
6. МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ.....	343
6.1. Классификация преобразователей .....	343
6.2. Аналоговые перемножители сигналов .....	344
6.3. Микроэлектронные компараторы.....	349
6.4. Микроэлектронные выпрямители и стабилизаторы напряжения.....	353
6.5. Цифро-аналоговые преобразователи.....	356
6.6. Аналогово-цифровые преобразователи .....	357
6.7. Нелинейные устройства .....	359
6.7.1. Диодные ограничители.....	359
6.7.2. Управляемые пороговые устройства и ограничители.....	363
6.7.3. Логарифматор и антилогарифматор.....	366
6.8. Преобразователи на основе интегральных микросхем ФАПЧ.....	367
7. <u>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ</u> .....	372
7.1. Введение в нанотехнологии .....	372
7.2. Литография.....	374
7.2.1. Классическая фотолитография .....	374
7.2.2. Введение в литографию наноизделий.....	376
7.2.3. Литография экстремальным ультрафиолетом.....	379
7.2.4. Электронно-лучевая литография .....	381
7.2.5. Ионная литография.....	383
7.2.6. Рентгеновская литография .....	384
7.2.7. Нанопечатная литография .....	385
7.2.8. Литографически индуцированная самосборка наноструктур.....	386
7.3. Молекулярно-лучевая эпитаксия .....	387
7.4. Введение в технику микроскопии.....	392
7.5. Просвечивающие электронные микроскопы .....	394
7.6. Сканирующие электронные микроскопы .....	396
7.7. Сканирующие зондовые и оптические микроскопы .....	398



7.7.1. Общие сведения .....	398
7.7.2. Сканирующий туннельный микроскоп .....	400
7.7.3. Атомно-силовой микроскоп .....	402
7.7.4. Сканирующий оптический микроскоп ближнего поля (СОМБП) .....	404
7.8. Методы сканирующей зондовой микроскопии .....	406
7.8.1. Введение .....	406
7.8.2. Методы получения информации о структуре вещества в нанометровом диапазоне с помощью СЗМ .....	408
<b>8. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ .....</b>	<b>434</b>
8.1. Общие сведения .....	434
8.2. Закон Мура .....	436
8.3. Элементы зонной теории .....	439
8.4. Гетероструктуры и барьеры Шоттки .....	443
8.5. Квантовые ямы, нити, точки .....	448
8.6. Электрофизические свойства наночастиц .....	453
8.7. Закон масштабирования и его применение в НЭ .....	466
8.8. Основы одноэлектроники .....	469
<b>9. НАНОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>478</b>
9.1. Общие сведения .....	478
9.2. Нанoeлектронные конденсаторы и аккумуляторы .....	479
9.2.1. Нанoeлектронные конденсаторы .....	479
9.2.2. Нанoeлектронные аккумуляторы энергии и топливные элементы .....	485
9.3. Нанoeлектронные диоды и транзисторы .....	490
9.3.1. Введение .....	490
9.3.2. Нанотранзисторы на основе структур кремний на сапфире .....	493
9.3.3. Нанотранзисторы с гетеропереходами .....	501
9.3.4. Нанодиоды и нанотранзисторы с резонансным туннелированием .....	508
9.3.5. Нанодиоды и нанотранзисторы на основе нанотрубок .....	513
9.4. Нанoeлектронные лазеры .....	518
9.4.1. Нанoeлектронные лазеры с горизонтальными резонаторами .....	518
9.4.2. Нанoeлектронные лазеры с вертикальными резонаторами .....	521
9.5. Оптические модуляторы .....	532
9.6. Дисплеи и осветительные приборы с использованием наноматериалов .....	534

9.6.1. Дисплеи и осветительные приборы на основе нанотрубок .....	534
9.6.2. Перспективы создания дисплеев-невидимок .....	537
9.7. Нанoeлектронные фотоприемники .....	538
9.7.1. Фотоприемники на квантовых ямах .....	538
9.7.2. Фотоприемники на основе квантовых точек .....	542
9.8. Логические элементы для нанокomпьютеров .....	549
9.8.1. Квантово-точечные клеточные автоматы .....	549
9.8.2. Молекулярные переключатели .....	552
9.8.3. Одноэлектронные транзисторы .....	557
9.9. Квантовые компьютеры .....	558
9.9.1. Введение .....	558
9.9.2. Квантовые вычисления .....	561
9.9.3. Кубит .....	563
9.9.4. Структура квантового компьютера .....	565
9.9.5. Квантовый регистр .....	566
9.9.6. Квантовый процессор .....	567
9.9.7. Основные требования для реализации КК .....	568
9.9.8. Практическая реализация КК .....	569
9.9.9. Перспективы развития квантовых компьютеров .....	576
9.10. Нанoeлектронные системы .....	577
9.10.1. Однокристалльные системы .....	577
9.10.2. Системы для компьютеров .....	580
9.10.3. Нанoeлектронные системы беспроводной связи .....	585
9.11. Перспективы развития нанoeлектронных систем .....	588
<b>10. ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ .....</b>	<b>596</b>
10.1. Введение в функциональную электронику .....	596
10.2. Приборы с зарядовой связью .....	596
10.3. Фотоприемные ПЗС .....	599
10.4. КМОП-фотодиодные СБИС .....	602
10.5. Акустоэлектронные приборы .....	607
10.6. Магнитоэлектронные приборы .....	614
<b>11. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ .....</b>	<b>621</b>
11.1. Стандартизация .....	621
11.2. Надежность .....	695
Библиография .....	715
Приложение А. Перечень принятых обозначений .....	717
Приложение Б. Перечень принятых сокращений .....	723

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие ко второму изданию .....	7
Из предисловия к первому изданию .....	8
Введение .....	10
<b>Глава 1. РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....</b>	<b>13</b>
1.1. Информационные технологии .....	13
1.2. Развитие вычислительных средств .....	15
1.3. Интернет и мультимедийная среда .....	19
1.4. Современные средства накопления информации .....	22
1.5. Микро- и нанoeлектроника .....	28
1.6. Развитие твердотельной электроники .....	29
1.7. Истоки современной микроэлектронной технологии .....	32
1.8. Повышение степени интеграции и новые технологии .....	37
Контрольные вопросы и задания .....	39
<b>Глава 2. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА НАНОТЕХНОЛОГИЙ .....</b>	<b>41</b>
2.1. Общие сведения .....	41
2.2. Литографические процессы .....	43
2.3. Интеграция технологических процессов .....	46
2.4. Модернизация интегральных схем .....	50
2.5. Гетеропереходные системы .....	53
2.6. Мезоскопические структуры .....	55
2.7. Элементная база нанoeлектроники .....	58
2.8. Перспективы развития нанотехнологий .....	63
2.9. Квантовые компьютеры .....	66
2.10. Альтернативные компьютеры .....	68
Контрольные вопросы и задания .....	73
<b>Глава 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАКОПИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ .....</b>	<b>76</b>
3.1. Общая характеристика .....	76
3.2. Средства реализации высокой информационной плотности .....	81
3.3. Технические средства перпендикулярной записи .....	84
3.4. Реализация перпендикулярной записи .....	89



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Лабораторная работа № 1. Изучение процессов структурной релаксации в аморфных сплавах дилатометрическим методом .....	9
Лабораторная работа № 2. Изучение релаксации напряжений в ленточных образцах аморфных сплавов .....	25
Лабораторная работа № 3. Изучение закономерностей охрупчивания аморфных магнитно-мягких сплавов .....	44
Лабораторная работа № 4. Определение температуры кристаллизации аморфных сплавов с помощью дифференциального термического анализа .....	67
Лабораторная работа № 5. Влияние параметров тороидальных образцов, приготовленных из лент аморфного сплава, на их магнитные свойства .....	90
Лабораторная работа № 6. Влияние режимов термической обработки на формирование гистерезисных магнитных свойств аморфных сплавов .....	116
Лабораторная работа № 7. Влияние термомагнитной обработки на магнитные свойства аморфных сплавов .....	151
Лабораторная работа № 8. Влияние отжига на магнитострикцию аморфных сплавов .....	180
Лабораторная работа № 9. Формирование магнитных свойств нанокристаллического сплава типа FINEMET при изохронном отжиге .....	209
Лабораторная работа № 10. Влияние режимов отжига на магнитные свойства микрокристаллической электротехнической стали, полученной закалкой из жидкого состояния .....	227

# Оглавление

I i.i.i.i	1. Что такое нанотехнология?.....	11
1.1.	Чему соответствует единица НАНО?.....	11
1.2.	Что такое нанотехнология? .....	13
1.3.	Как возникла нанотехнология? .....	15
1.4.	Как ускорить развитие нанотехнологий? .....	17
	Дополнительный материал к главе 1. Это интересно! .....	18
I i.i.ua	2. Фронт нанотехнологических исследований .....	21
2.1.	История нанотехнологий .....	21
2.2.	Естественные границы развития существующей микроэлектроники.....	25
2.3.	Создание объектов по принципам «сверху—вниз» и «снизу—вверх».....	27
	Дополнительный материал к главе 2. Это интересно! .....	29
	Глава 3. Мир нанотехнологий.....	31
3.1.	Что такое туннельный эффект? .....	31
3.2.	Электронные микроскопы расширяют границы оптики .....	33
3.3.	Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) .....	35
3.4.	Сканирующие электронные микроскопы.....	37
3.5.	Что такое сканирующий зондовый микроскоп?.....	40
3.6.	Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа.....	41
3.7.	Работа атомно-силового микроскопа.....	43
3.8.	Принцип работы сканирующего оптического микроскопа ближнего поля (СОМБП).....	45
3.9.	Развитие техники фотообработки.....	47
3.10.	Что такое углеродные нанотрубки? .....	50
3.11.	Нанотехнология и проблема записи информации .....	51
3.12.	Что такое «квантовая точка»?.....	56
3.13.	Поразительные свойства наноустройств! .....	58
3.14.	Разнообразные возможности применения наностекло .....	62
3.15.	Биодатчики и информационные терминалы .....	64
3.16.	Что такое квантовый компьютер?.....	67
	Дополнительный материал к главе 3. Это интересно! .....	69
	Глава 4. Экономические и социальные последствия внедрения нанотехнологии. Чего нам следует ожидать? .....	71
4.1.	Электроника и информационные технологии.....	71
4.2.	Нanomатериалы и методы их обработки.....	75
4.3.	Методы измерения, обработки и моделирования для получения и использования наноматериалов .....	77
4.4.	Связь нанотехнологии с проблемами окружающей среды и энергетики.....	79
4.5.	Нанотехнология и развитие наук о жизни .....	86
4.6.	Нанотехнология и сельское хозяйство .....	89
4.7.	Возможности применения нанотехнологии	

в авиации и космонавтике.....	91
4.8. Социальные последствия внедрения нанотехнологии .....	93
4.9. Изменения в системе образования и подготовки научных кадров .....	95
4.10. Проблемы коммерциализации нанотехнологических исследований .....	97
Дополнительный материал к главе 4. Это интересно! .....	102
Глава 5. Развитие нанотехнологии в мировом масштабе .....	104
5.1. Американская стратегия в области нанотехнологии .....	104
5.2. Развитие нанотехнологии в странах Европы.....	108
5.3. Какова ситуация в Японии? .....	ПО
Дополнительный материал к главе 5. Это интересно! .....	114
Глава 6. Какова должна быть стратегия Японии в развитии нанотехнологии?.....	116
6.1. Выбор стратегии для Японии.....	116
6.2. Приоритеты финансирования нанотехнологических исследований.....	118
6.3. Как должны быть организованы научно-исследовательские работы?.....	125
Дополнительный материал к главе 6. Это интересно! .....	126
Глава 7. Как должны быть организованы нанотехнологические производства?.....	129
7.1. Возможности ускорения внедрения нанотехнологии.....	129
7.2. Нанотехнология означает промышленную и социальную революцию! .....	130
Дополнительный материал к главе 7. Это интересно! .....	133

Предисловие.....	3
Список сокращений.....	6
<b>Глава 1. Общие положения нанотехнологии.....</b>	<b>7</b>
1.1. Физические и химические особенности наномира.....	7
1.2. Природные наноразмерные эффекты и структуры.....	23
1.3. Основные понятия нанотехнологии.....	28
<b>Глава 2. Инструменты нанотехнологии.....</b>	<b>41</b>
2.1. Компьютерное моделирование наносистем.....	41
2.2. Исследование и анализ наноструктур.....	54
2.3. Формирование и сборка наносистем.....	66
<b>Глава 3. Наноструктурные материалы.....</b>	<b>82</b>
3.1. Получение ультрадисперсных порошков.....	82
3.2. Углеродные наноструктуры.....	92
3.3. Производство наноструктурных материалов.....	113
<b>Глава 4. Наноразмерная обработка поверхности изделий.....</b>	<b>149</b>
4.1. Формирование поверхностного слоя.....	149
4.2. Абразивная нанообработка.....	158
4.3. Нанолезвийная обработка.....	169
4.4. Электрофизические методы обработки.....	173
<b>Глава 5. Применение нанотехнологии в технике.....</b>	<b>178</b>
5.1. Первые успехи и ближайшие перспективы нанотехнологического прорыва.....	178
5.2. Наноматериалы и процессы.....	196
5.3. Технические наноустройства.....	209
5.4. Биотехнические системы.....	229
Список литературы.....	238



## Содержание

Введение .....	4
Содержание учебной дисциплины .....	
Тема 1. Методика карбонизации пористого кремния .....	5
Тема 2. Состав и структура карбонизированного пористого кремния ..	8
Тема 3. Фотолюминесценция и деградационные свойства карбонизированного пористого кремния .....	19
Тема 4. Гетероструктурные эффекты в карбонизированном пористом кремнии .....	24
Тема 5. Особенности фотолюминесценции карбонизированного пористого кремния, легированного галлием .....	28
Тема 6. Аномальный характер кинетики затухания фотолюминесценции карбонизированного пористого кремния.....	34
Тема 7. Электронно-стимулированные процессы в карбонизированном пористом кремнии .....	38
Рекомендации по проведению семинарских и лабораторных занятий. Контрольные вопросы и задания.....	52
Библиографический список .....	63
Применение технологий дистанционного обучения и удаленного доступа при реализации образовательных программ переподготовки специалистов в области коммерциализации высоких технологий (Новиков С.Г., Бакланов С.Б.) .....	69
1. Технологии дистанционного обучения .....	70
2. Применение новых информационных технологий в дистанционном обучении.....	71
3. Инструментальные средства дистанционного обучения.....	75
4. Организационные формы дистанционного обучения и удаленного доступа. Специфика их применения .....	76
Выводы .....	81
Литература к разделу .....	82

## СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений .....	3
-------------------------	---

Введение .....	4
----------------	---

### ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ

1. Особенности высшего технического образования .....	8
1.1. Современная система высшего образования и его цели .....	8
1.2. Особенности обучения в вузе .....	11
Вопросы для самоконтроля .....	12
2. Фундаментальные основы инженерной деятельности .....	13
2.1. Направления инженерной деятельности .....	13
2.2. Практическая деятельность человека и современное естествознание .....	17
2.3. Естественнаучные основы практической деятельности человека .....	19
2.4. Эволюция Вселенной и общность законов природы .....	26
2.5. Деятельность инженера и реальность .....	33
Вопросы для самоконтроля .....	40
3. Фундаментальные основы дисциплин учебного плана .....	42
3.1. Особенности государственного образовательного стандарта по направлению «Нанотехнология в электронике» .....	42
3.2. Естественнаучные дисциплины .....	43
3.3. Общепрофессиональные дисциплины .....	46
3.4. Специальные дисциплины .....	49
3.5. Гуманитарные и социально-экономические дисциплины .....	51
3.6. Основные требования к подготовке современного инженера .....	54
Вопросы для самоконтроля .....	56

### ЧАСТЬ ВТОРАЯ ЭТАПЫ И ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

4. Элементы квантовой физики .....	58
4.1. Связь электроники и квантовой физики .....	58
4.2. Этапы развития электроники .....	59
4.3. Основные представления квантовой механики .....	63
4.4. Квантовая модель атома .....	68
4.5. Понятие о потенциальных ямах и барьерах .....	71
4.6. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме .....	73
4.7. Туннельный эффект .....	77
4.8. Энергетический спектр кристалла .....	78
4.9. Собственная электропроводность полупроводников .....	83
4.10. Примесная электропроводность полупроводников .....	86
4.11. Эффект компенсации примесных уровней .....	88
4.12. Энергетические зоны на границе дырочного и электронного полупроводников .....	89
4.13. Понятие эффективной массы электрона .....	91
4.14. Неравновесная электропроводность собственного полупроводника .....	93
4.15. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры .....	95
4.16. Полупроводниковые материалы в твердотельной электронике .....	96
Вопросы для самоконтроля .....	97
5. Полупроводниковые структуры .....	100
5.1. Роль полупроводниковых структур в микро- и оптоэлектронике .....	100
5.2. Электронно-дырочный переход и его свойства .....	101
5.3. Транзисторы .....	107
5.4. Элементы оптоэлектроники. Гетеропереходы .....	110
5.5. $P-n$ -переход как схемный элемент ИМС .....	113
Вопросы для самоконтроля .....	116

### ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

6. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике .....	118
6.1. Вводные замечания .....	118
6.2. Основные этапы технологии ИМС .....	118
6.3. Получение полупроводникового материала .....	119
6.4. Получение полупроводниковых пластин .....	120
6.5. Получение эпитаксиальных структур .....	121
6.6. Методы формирования элементов ИМС .....	123
6.7. Литография .....	126
6.8. О преемственности этапов развития электроники .....	128
6.9. Краткий обзор новой научной базы нанoeлектроники .....	134
Вопросы для самоконтроля .....	142

<b>7. Физические основы наноэлектроники</b>	<b>143</b>
7.1. Квантоворазмерные эффекты	143
7.2. Простейшие виды низкоразмерных объектов	145
7.2.1. Квантовая яма	145
7.2.2. Квантовая нить	146
7.2.3. Квантовая точка	146
7.3. Энергетический спектр электронов и плотность электронных состояний в низкоразмерных областях	147
7.3.1. Важнейшие квантовомеханические характеристики тел	147
7.3.2. Энергетический спектр 3D-электронного газа	148
7.3.3. Энергетический спектр 2D-электронного газа	149
7.3.4. Электронный газ в квантовой нити (1D-газ)	151
7.3.5. Электронный газ в квантовой точке (0D-газ)	152
7.3.6. 2D-электронный газ в магнитном поле	152
7.3.7. Примеры влияния кванторазмерных эффектов на свойства вещества	154
7.4. Резонансный туннельный эффект	159
7.4.1. Резонансное тунелирование	159
7.4.2. Резонансно-туннельный диод	161
7.5. Полупроводниковые сверхрешетки	163
7.5.1. Сверхрешетки	163
7.5.2. Энергетические диаграммы сверхрешеток	164
7.5.3. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках	166
7.5.4. Свойства электронного газа в сверхрешетках	167
7.5.5. Устройства на основе сверхрешеток	167
7.6. Одноэлектронные устройства	174
7.6.1. Одноэлектронные приборы	174
7.6.2. Кулоновская блокада туннелирования	175
7.6.3. Кулоновская блокада в структурах с двумя туннельными переходами	177
7.6.4. Металлический одноэлектронный транзистор	179
7.7. Некоторые явления и устройства спинтроники	181
7.7.1. Спинтроника	181
7.7.2. Гигантское магнитосопротивление	182
7.7.3. Туннельное магнитосопротивление	185
7.7.4. Полупроводниковая спинтроника	186
7.7.5. Спиновый полевой транзистор	187
7.7.6. Элементы памяти на магнитных моментах ядер	188
7.8. Некоторые устройства молекулярной электроники	188
7.8.1. Макромолекулярная электроника	188
7.8.2. Молекулярная электроника (молетроника)	190
7.8.3. Молекулы-проводники и молекулы-изоляторы	191
7.8.4. Молекулы-диоды	192
7.8.5. Молекулы-транзисторы	193
7.8.6. Молекулярные элементы памяти	194
7.8.7. Молекулярные интегральные микросхемы	195
Вопросы для самоконтроля	197

<b>8. Технические средства нанотехнологий</b>	<b>199</b>
8.1. Два подхода к изготовлению структур в нанотехнологиях	199
8.2. Эпитаксиальные методы получения наноструктур	200
8.2.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия	200
8.2.2. Формирование квантовых точек посредством самоорганизации при эпитаксии	210
8.2.3. Перспективы использования массивов квантовых точек в приборных структурах	215
8.3. Нанолитография	216
8.3.1. Общие замечания	216
8.3.2. Оптическая литография (фотолитография)	217
8.3.3. Электронно-лучевая литография	224
8.3.4. Рентгенолитография	232
8.3.5. Ионолитография	234
8.3.6. Импринт-литография	235
8.4. Зондовые нанотехнологии	240
8.4.1. Общие принципы сканирующей зондовой микроскопии	240
8.4.2. Сканирующий туннельный микроскоп	242
8.4.3. Применение СТМ для исследований	248
8.4.4. Нанотехнологии на основе СТМ	252
8.4.5. Сканирующий атомно-силовой микроскоп	257
8.4.6. Примеры применения АСМ для диагностики полупроводниковых структур	265
8.4.7. Нанолитография на основе АСМ	267
8.5. Углеродные нанотрубки	278
8.5.1. Форма и структура нанотрубок	279
8.5.2. Методы получения нанотрубок	282
8.5.3. Свойства нанотрубок	285
8.5.4. Неуглеродные нанотрубки	294
8.5.5. Перспективы применения нанотрубок в электронике	295
8.6. Формирование квантовых точек и проволок	303
8.7. Контакты к отдельным молекулам	305
8.8. Линейная мера для измерений с помощью электронных и атомно-силовых микроскопов	310
8.8.1. Назначение линейных мер	310
8.8.2. Линейная мера МШПС-2.0 К	311
8.8.3. Аттестация меры МШПС-2.0 К	313
Вопросы для самоконтроля	314
<b>Заключение</b>	<b>316</b>
<b>Литература</b>	<b>319</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>320</b>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3	1.5.2. Межатомные связи в твердых телах .....	76
От авторов .....	9	1.5.3. Валентная теория и метод молекулярных орбиталей .....	78
Введение .....	10	1.5.4. Зонная теория твердого тела .....	80
<b>Глава 1. Основные физические представления, лежащие в основе микро- и нанотехнологии</b> .....	15	1.6. Молекулярная и ионная связи .....	82
1.1. Переход от микротехнологии к нанотехнологии .....	15	1.6.1. Молекулярная связь и молекулярные решетки .....	82
1.2. Основные положения квантовой механики .....	25	1.6.2. Физические свойства молекулярных кристаллов .....	87
1.2.1. Макромир, микромир, наномир, мир элементарных частиц .....	25	1.6.3. Ионная связь и ионные решетки .....	88
1.2.2. Основные понятия квантовой механики .....	29	1.6.4. Расчет энергии связи ионной решетки .....	89
1.2.3. Волновой дуализм де Бройля .....	30	1.6.5. Свойства ионных кристаллов. Соотношение ионных радиусов и структура кристалла .....	92
1.2.4. Принцип неопределенности Гейзенберга .....	32	1.7. Ковалентная и металлическая связи .....	94
1.2.5. Принцип запрета Паули .....	32	1.7.1. Ковалентная связь и ковалентные решетки .....	94
1.2.6. Волновая функция .....	34	1.7.2. Свойства ковалентных кристаллов .....	97
1.2.7. Уравнение Шредингера .....	35	1.7.3. Металлическая связь и металлические решетки .....	100
1.2.8. Волновые функции свободных частиц .....	38	1.7.4. Свойства металлов .....	103
1.2.9. Квантование энергии. Частица в потенциальном ящике .....	40	1.8. Квазичастицы .....	106
1.2.10. Туннельный эффект .....	43	1.8.1. Фононы .....	107
1.2.11. Квантовое состояние и вырождение .....	46	1.8.2. Магноны .....	109
1.3. Электронные состояния в твердых телах .....	47	1.8.3. Экситоны .....	110
1.3.1. Энергетические уровни атома .....	47	1.8.4. Полярны .....	112
1.3.2. Подвижность электронов .....	49	1.9. Фуллерены и соединения на основе углерода .....	114
1.3.3. Энергия Ферми .....	51	1.9.1. Общие представления .....	114
1.3.4. Эффективная масса электрона .....	54	1.9.2. Методы получения фуллеренов .....	117
1.4. Кристаллическое и аморфное состояния вещества .....	56	1.9.3. Некоторые свойства фуллеренов .....	118
1.4.1. Понятие кристаллической решетки .....	56	1.9.4. Фуллериты .....	119
1.4.2. Симметрия кристаллов .....	58	1.9.5. Фуллериды .....	121
1.4.3. Решетки Браве .....	59	1.9.6. Перспективы применения фуллеренов .....	123
1.4.4. Индексы Миллера .....	62	1.10. Проблема атомных радиусов .....	124
1.4.5. Плотнейшие упаковки шаров .....	63	<b>Глава 2. Основные понятия фрактальной геометрии и фрактальной физики</b> .....	129
1.4.6. Аморфное состояние вещества .....	65	2.1. Общие представления .....	129
1.4.7. Энергетический спектр аморфных твердых тел .....	67	2.1.1. Понятие фрактала .....	129
1.4.8. Аморфные полупроводники, диэлектрики и металлы .....	68	2.1.2. Аффинная геометрия .....	131
1.4.9. Модели аморфной структуры .....	70	2.1.3. Математические фракталы. Фрактальная размерность .....	132
1.5. Энергия связи в кристаллической решетке .....	71	2.1.4. Некоторые реальные фракталы .....	135
1.5.1. Расчет энергии связи двух атомов .....	71	2.1.5. Перколяция .....	139
		2.1.6. Понятие фрактального кластера .....	139
		2.1.7. Свойства фрактальных кластеров .....	140
		2.1.8. Понятие вязких пальцев .....	142
		2.2. Реальные фракталы .....	144
		2.2.1. Реальные фрактальные структуры .....	144
		2.2.2. Модельные механизмы формирования фракталов .....	146
		2.2.3. Методы определения фрактальной размерности реальных фракталов .....	148
		2.2.4. Физические методы измерения фрактальной размерности .....	154
		2.3. Фрактальный подход в микро- и нанотехнологии .....	155
		2.3.1. Фрактальный анализ процесса кристаллизации .....	155
		2.3.2. Механизм кластер-кластерной агрегатизации .....	157



2.3.3. Фрактальная эволюция поликристаллической структуры .....	161
2.3.4. Фрактальные структуры .....	163
2.3.5. Фрактоны и их свойства .....	164
2.4. Методы получения фрактальных структур в микро- и нанотехнологии .....	166
2.5. Концепция мультифрактала .....	171
2.6. Основные понятия нелинейной динамики .....	176
2.6.1. Открытые и динамические системы .....	176
2.6.2. Линейные и нелинейные системы .....	178
2.6.3. Понятие хаоса. Точки бифуркации .....	180
2.6.4. Фазовое пространство. Аттрактор .....	182
<b>Глава 3. Физические основы элементной базы полупроводниковой микроэлектроники .....</b>	<b>188</b>
3.1. Энергетические диаграммы .....	188
3.2. Принцип действия $p-n$ -перехода .....	198
3.3. Биполярный транзистор .....	203
3.4. Полевой транзистор .....	206
3.4.1. Принцип действия полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом .....	206
3.4.2. Устройство и принцип действия полевого транзистора с МДП-структурой .....	208
3.5. Приборы с зарядовой связью .....	212
3.6. Инверторы .....	219
<b>Глава 4. Физические основы технологий получения тонких пленок ..</b>	<b>222</b>
4.1. Термическое вакуумное напыление .....	222
4.2. Ионное (катодное) распыление .....	229
4.3. Ионно-плазменное распыление .....	234
4.4. Эпитаксия из газовой фазы .....	240
4.5. Жидкостная эпитаксия .....	245
4.6. Молекулярно-лучевая эпитаксия .....	247
4.7. Применение ионных пучков для выращивания тонких аморфных пленок .....	251
4.8. Золь-гель-технологии и их применение для выращивания тонких пленок .....	254
4.8.1. Коллоидное состояние вещества. Дисперсные системы .....	254
4.8.2. Физический и химический гель. Их получение .....	256
4.8.3. Мицеллярная теория строения коллоидных растворов .....	257
4.8.4. Физическая теория устойчивости коллоидных систем .....	259
4.8.5. Методы получения зольей .....	262
4.8.6. Превращение золь в гель .....	263
<b>Глава 5. Физические основы литографических методов создания и переноса изображения .....</b>	<b>267</b>
5.1. Общие понятия. Резисты и их характеристики .....	267
5.1.1. Понятие литографии .....	267
5.1.2. Основные характеристики резистов .....	268
5.2. Фотолитография .....	271

5.3. Рентгеновская литография .....	274
5.4. Электронная литография .....	278
5.4.1. Общие понятия. Проекционная литография .....	278
5.4.2. Сканирующая электронная литография .....	280
5.4.3. Проблема совмещения .....	282
5.4.4. Модель Каная .....	283
5.4.5. Аналитические модели. Модель прямого рассеяния .....	284
5.4.6. Модель обратного рассеяния. Сшивка моделей .....	286
5.5. Низковольтная электронная литография. Эффект близости .....	291
5.5.1. Процессы энергосвечения в зоне пучка .....	291
5.5.2. Эффект близости в электронной литографии .....	293
5.6. Процессы травления в микротехнологии .....	295

<b>Глава 6. Физические основы методов модификации поверхностных и объемных структур .....</b>	<b>301</b>
6.1. Диффузия в поверхностных структурах .....	301
6.2. Лазерное легирование .....	304
6.3. Ионное легирование или ионная имплантация .....	306
6.3.1. Схема ионного легирования .....	306
6.3.2. Физические процессы при ионном легировании .....	308
6.3.3. Теория ионного легирования Линдхардта—Шарфа—Шиотта .....	310
6.4. Термический отжиг .....	327
6.4.1. Лазерный отжиг .....	330
6.4.2. Электронно-лучевой отжиг .....	318
6.5. Ионно-лучевое и лазерное перемешивание .....	320

<b>Глава 7. Физические основы методов контроля и метрологии в микро- и нанотехнологии .....</b>	<b>327</b>
7.1. Просвечивающая электронная микроскопия .....	327
7.2. Растровая электронная микроскопия .....	330
7.2.1. Физические и технические основы работы растровых электронных микроскопов .....	330
7.2.2. Контраст в РЭМ и его разновидности .....	333
7.2.3. Магнитный контраст в РЭМ .....	337
7.3. Оже-спектроскопия .....	340
7.4. Рентгеноспектральный микроанализ .....	345
7.5. Рентгеноструктурный анализ .....	351
7.6. Спектроскопия обратного рассеяния Резерфорда .....	357
7.7. Ионный микроанализ и ионная масс-спектрометрия .....	362
7.8. Туннельная и атомно-силовая микроскопия .....	371
7.8.1. Автоионный микроскоп .....	371
7.8.2. Сканирующий туннельный микроскоп .....	372
7.8.3. Атомно-силовой микроскоп .....	377
7.9. Микроскопия ближнего поля .....	379
7.10. Физические основы эллипсометрии .....	385
7.11. Конфокальная микроскопия .....	389
Список литературы .....	395

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	11
Структура книги.....	15
<b>Глава 1. Мезоскопическая физика и нанотехнологии.....</b>	<b>17</b>
1.1. Содержание книги.....	17
1.2. Основные тенденции развития нано- и оптоэлектроники.....	18
1.3. Характеристические длины в мезоскопических системах.....	26
1.4. Квантово-механическая когерентность.....	31
1.5. Квантовые ямы, проволоки и точки.....	32
1.6. Плотность состояний и размерность системы.....	33
1.7. Полупроводниковые гетероструктуры.....	36
1.8. Квантовые процессы переноса.....	38
Литература.....	39
Дополнительная литература.....	39
Задачи и упражнения.....	40
<b>Глава 2. Введение в физику твердого тела.....</b>	<b>43</b>
2.1. Введение.....	43
2.2. Краткие сведения из квантовой механики.....	45
2.2.1. Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гейзенберга.....	45
2.2.2. Уравнение Шрёдингера.....	47
2.2.3. Распределения Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна.....	50
2.2.4. Методы теории возмущений.....	52

2.3. Модель свободных электронов в твердых телах. Функция плотности состояний	54
2.4. Теорема Блоха	58
2.5. Электроны в кристаллических твердых телах	60
2.5.1. Модель почти свободных электронов	60
2.5.2. Приближение сильной связи	62
2.6. Динамика электронов в энергетических зонах	65
2.6.1. Уравнение движения	65
2.6.2. Эффективная масса	67
2.6.3. Дырки	70
2.7. Колебания решетки	71
2.7.1. Одномерная решетка	72
2.7.2. Трехмерная решетка	77
2.8. Фононы	78
Литература	79
Дополнительная литература	80
Задачи и упражнения	80
<b>Глава 3. Общие сведения из физики полупроводников</b>	<b>83</b>
3.1. Введение	83
3.2. Энергетические зоны электронов в типичных полупроводниках	84
3.3. Собственные и примесные полупроводники	87
3.4. Концентрации электронов и дырок в полупроводниках	92
3.5. Элементарные процессы переноса в полупроводниках	98
3.5.1. Движение носителей заряда в электрическом поле. Подвижность зарядов	99
3.5.2. Диффузионная проводимость	101
3.5.3. Уравнения непрерывности. Время жизни носителей и длина диффузии	102
3.6. Вырожденные полупроводники	107
3.7. Оптические свойства полупроводников	108
3.7.1. Оптические процессы в полупроводниках	108

3.7.2. Межзонное поглощение	110
3.7.3. Экситонные эффекты	113
3.7.4. Спектр излучения	117
3.7.5. Стимулированное излучение	119
Литература	122
Дополнительная литература	122
Задачи и упражнения	123

#### Глава 4. Физика полупроводников

<b>с пониженной размерностью</b>	<b>126</b>
4.1. Введение	126
4.2. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур	127
4.3. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины	134
4.4. Параболическая и треугольная квантовые ямы	136
4.4.1. Параболическая потенциальная яма	136
4.4.2. Треугольная потенциальная яма	137
4.5. Квантовые проволоки	139
4.6. Квантовые точки	142
4.7. Напряженные слои	144
4.8. Влияние напряжений на валентную зону	146
4.9. Зонная структура в квантовых ямах	150
4.10. Экситонные эффекты в квантовых ямах	152
Литература	156
Дополнительная литература	156
Задачи и упражнения	157

#### Глава 5. Полупроводниковые квантовые наноструктуры и сверхрешетки

5.1. Введение	160
5.2. Структуры полевых МОП-транзисторов (MOSFET)	161
5.3. Гетеропереходы	166
5.3.1. Гетеропереходы с модулированным легированием	166

5.3.2. Напряженные гетероструктуры на основе SiGe	170
5.4. Квантовые ямы	172
5.4.1. Модулированно-легированные квантовые ямы	172
5.4.2. Множественные квантовые ямы (MQW)	174
5.5. Сверхрешетки	177
5.5.1. Концепция сверхрешеток	177
5.5.2. Модель сверхрешетки Кронига — Пенни. Расщепление зон	178
5.5.3. Приближение сильной связи в теории сверхрешеток	184
5.5.4. Сверхрешетки типа <i>nipi</i>	187
Литература	189
Дополнительная литература	190
Задачи и упражнения	190
<b>Глава 6. Процессы переноса в наноструктурах в электрических полях</b>	<b>192</b>
6.1. Введение	192
6.2. Продольный перенос	193
6.2.1. Механизмы рассеяния электронов	193
6.2.2. Экспериментальные данные по продольному переносу	197
6.2.3. Продольный перенос горячих электронов	200
6.3. Поперечный перенос	203
6.3.1. Резонансное туннелирование	204
6.3.2. Влияние поперечных электрических полей на свойства сверхрешеток	206
6.4. Квантовый перенос в наноструктурах	212
6.4.1. Квантовая проводимость. Формула Ландауэра	213
6.4.2. Формула Ландауэра — Бюттикера для квантового переноса в многозондовых структурах	218
6.4.3. Кулоновская блокада	220

Литература	224
Дополнительная литература	225
Задачи и упражнения	225
<b>Глава 7. Перенос в магнитных полях и квантовый эффект Холла</b>	<b>229</b>
7.1. Введение	229
7.2. Воздействие магнитного поля на кристаллы	231
7.3. Поведение систем пониженной размерности в магнитных полях	233
7.4. Плотность состояний двумерных систем в магнитных полях	234
7.5. Эффект Аронова — Бома	236
7.6. Эффект Шубникова — де Гааза	239
7.7. Квантовый эффект Холла	242
7.7.1. Экспериментальные данные и элементарная теория целочисленного квантового эффекта Холла (IQHE)	242
7.7.2. Краевые состояния и IQHE	244
7.7.3. Протяженные и локализованные состояния	247
7.7.4. Использование квантового эффекта Холла (IQHE) в метрологии	249
7.7.5. Дробный квантовый эффект Холла (FQHE)	251
Литература	254
Дополнительная литература	255
Задачи и упражнения	255
<b>Глава 8. Оптические и электрооптические процессы в квантовых гетероструктурах</b>	<b>258</b>
8.1. Введение	258
8.2. Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток	259
8.3. Оптические характеристики квантовых точек и нанокристаллов	265



8.3.1. Методы выращивания кристаллов. Самоорганизация квантовых точек	265
8.3.2. Оптические свойства	268
8.4. Электрооптические эффекты в квантовых точках. Эффект квантово-размерный Штарка	277
8.5. Электрооптические эффекты в сверхрешетках. Лестницы Штарка и осцилляции Блоха	282
Литература	288
Дополнительная литература	289
Задачи и упражнения	289
<b>Глава 9. Электронные приборы на наноструктурах</b>	<b>292</b>
9.1. Введение	292
9.2. Модуляционно-легированные полевые транзисторы (MODFET)	295
9.3. Биполярные транзисторы на гетеропереходах	298
9.4. Резонансный туннельный эффект	302
9.5. Транзисторы на горячих электронах	307
9.6. Транзисторы с резонансным туннелированием	311
9.7. Одноэлектронные транзисторы	314
Литература	319
Дополнительная литература	319
Задачи и упражнения	319
<b>Глава 10. Оптоэлектронные устройства на основе наноструктур</b>	<b>322</b>
10.1. Введение	322
10.2. Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах	323
10.3. Лазеры на полупроводниковых квантовых ямах	327
10.4. Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL)	332
10.5. Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами	335
10.6. Лазеры на квантовых точках	338

10.7. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках	343
10.7.1. Фотодетекторы на подзонах квантовых ям	343
10.7.2. Лавинные фотодетекторы на сверхрешетках	345
10.8. Модуляторы на квантовых ямах	346
Литература	349
Дополнительная литература	350
Задачи и упражнения	350

<b>Дополнение. Метрологический и стандартизационный базис нанотехнологий</b>	<b>353</b>
----------------------------------------------------------------------------------	------------

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ РОССИИ</b> .....	6
1.1. Станкостроение России .....	19
1.2. Российский рынок механообрабатывающего оборудования .....	29
1.3. Инструментальное производство .....	31
1.4. Направления развития металлообработки .....	38
1.5. Развитие машиностроительного производства России .....	48
1.6. Технологические перспективы машиностроения ...	52
<b>Глава 2. СОСТОЯНИЕ НАУКИ</b> .....	64
2.1. Государственная поддержка науки .....	64
2.2. Инновации и инвестиции .....	68
2.3. Система государственных научных центров .....	72
2.4. Формирование промышленной политики .....	75
2.5. Стандартизация в рамках технического регулирования .....	80
<b>Глава 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	89
3.1. Массовые информационные технологии .....	89
3.2. CALS-технологии .....	98
3.3. Планирование ресурсов предприятия .....	104
3.4. Нанотехнологии .....	111
3.5. Поверхностное упрочнение .....	119
3.6. Износостойкие покрытия режущего инструмента	132
<b>Глава 4. РАЗРАБОТКИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ     ЦЕНТРОВ РОССИИ</b> .....	141
4.1. Создание новых материалов .....	142
4.2. Прогрессивные технологии обработки материалов	151
4.3. Новые технологии создания машин .....	163
4.4. Модернизация технологического оборудования	166

## СОДЕРЖАНИЕ

А.А.Абдураимов, А.А.Мирзаев.....	6
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ МИНИМИЗИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ	
Авдейчик О.В., Кравченко В.И., Горбачев Г.Н., Гараева Т.Ю.....	9
ИНФРАСТРУКТУРА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	
Авдейчик О.В., Гараева Т.Ю., Нехорошева Л.Н.....	18
ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ КАТЕГОРИИ «КАЧЕСТВО» ИННОВАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ	
Авдейчик С. В., Лиопо В. А., Струк В.А., Овчинников Е. В., Дудко В.Т.....	19
СТРУКТУРА И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ, АРМИРОВАННЫХ НАНОСИЛИКАТАМИ	
Агаджанян Л.Г.....	22
СТРУКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОПТИМУМА В УСЛОВИЯХ РЫНКА	
Ажажа В.М., Свердлов В.Я., Ладыгин А.Н., Саенко С.Ю., Холомеев Г.А., Рудычева Т.Ю., Богуслаев А.В., Ключихин В.В., Лысенко Н.А.....	27
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ БАРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ Ni - СПЛАВА ЖС32-ВИ	
Алексеева О.Е., Парфенюк А.С., Костина Е.Д., Третьяков П.В.....	32
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТЫКОВОЧНЫХ УЗЛОВ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ	
Алимов М.А., Думанский А.М., Стрекалов В.Б., Лямзин В.А. ....	35
СТАТИСТИКА МЕЖСЛОЙНОГО РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКА	
Апальков А.А.....	40
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ ИНДЕНТОРА	
Архипова Т.Ф., Савуляк В.И.....	43
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ Fe – Fe <sub>3</sub> C С ЭВТЕКТИКОЙ α Fe – Fe <sub>3</sub> C	
Астапчик С.А., Зайцев В.А., Кузей А.М., Францкевич А.В.....	47
АЛМАЗОАБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ АЛМАЗА И КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА	

Буленков Е. А.....	144
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИНТЕЗА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ	
Буряк В.Ю., Дарковский Ю.В.....	146
РАЗВИТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ	
Бутенко В.И.....	148
ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ДИСЛОКАЦИОННОЙ ТЕОРИИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ И ЕЕ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ	
Буцану В.О., Косенко П.Я., Деревянченко С.А., Рушика И.Д.....	151
МОДЕРНИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ КОПИРОВАЛЬНО-ПРОШИВОЧНЫХ СТАНКОВ МОД. 4Е723 и 4Б722	
Буялич Г. Д.....	153
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В КУЗБАССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	
Васильев А.С., Хейфец М.Л., Точило В.С., Премент Г.Б. ....	156
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ	
Васильев А. Ф., Геращенко Д.А., Фармаковский Б. В., Юрков М. А.....	163
СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ТВЕРДОСТЬЮ МЕТОДОМ СВЕРХЗВУКОВОГО ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Волчкевич Л. И., Волчкевич И. Л.....	171
КРЕДО БАУМАНСКОЙ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ	
Галимова Н.Я., Аблясова А.Г.....	176
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА	
Галимова Н.Я., Тукбаев Э.Е., Зверев Э.В., Галимов Э.Р.....	177
РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	
Ганиев М. М., Вагапов И.К.....	178
МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИБРОУДАРНОЙ СИСТЕМЫ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ БОЙКОМ	
Генералов М.Б.....	183
НАНОМАТЕРИАЛЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Список сокращений .....	7
<b>Глава 1. Информационные процессы в жизнедеятельности общества .....</b>	<b>12</b>
1.1. Основы информатиологии в процессах жизнедеятельности общества .....	12
1.1.1. Информациологический подход в информационных сферах .....	12
1.1.2. Информатиология развития общества .....	16
1.2. Процессы информатизации .....	22
1.2.1. Основные положения и понятия информатизации .....	22
1.2.2. Основные глобальные аспекты информатизации общества .....	23
1.3. Информация и информационные технологии .....	25
1.3.1. Информационные процессы и классификация источников информации .....	25
1.3.2. Информационные технологии .....	32
1.4. Информационные ресурсы и связи в жизнедеятельности общества .....	36
1.4.1. Характерные особенности информационных ресурсов и связей общества .....	36
1.4.2. Ресурсы и информационные связи в корпоративно-правовом взаимодействии .....	40
1.4.3. Государственный учет информационных ресурсов .....	42
1.4.4. Ресурсы экономической и научно-технической информации государственной системы России .....	44
1.4.5. Российские информационные ресурсы библиотечной сети .....	45
1.4.6. Информационные ресурсы природных процессов и явлений .....	47
1.4.7. Информационные ресурсы федеральных и муниципальных органов власти .....	48
1.4.8. Информационные ресурсы государственной системы статистики .....	49
1.4.9. Информационные ресурсы финансовой и внешнеэкономической деятельности Российской Федерации .....	52

1.4.10. Информационные ресурсы социальной сферы Российской Федерации .....	53
1.4.11. Информационные ресурсы отраслей материального производства .....	53

<b>Глава 2. Методология информатизации и информационные технологии .....</b>	<b>56</b>
2.1. Методическое обеспечение информационных технологий. Объектно-ориентированные среды .....	56
2.1.1. Документационное обеспечение информационных технологий .....	56
2.1.2. История формирования и характеристики объектно-ориентированных сред баз данных .....	57
2.1.3. Особенности реляционных баз данных .....	58
2.1.4. Объектно-реляционные среды и методы .....	59
2.1.5. Объектно-ориентированные технологии в базах данных .....	61
2.1.6. Стандартизация объектных баз данных .....	63
2.1.7. Характеристики и применение современных объектно-ориентированных СУБД .....	67
2.2. Виды информационных технологий, классификации и области их применения. Модели и алгоритмы информационных технологий .....	69
2.2.1. Социальные информационные технологии .....	69
2.2.2. Транспортные логистические технологии .....	71
2.2.3. Микроэлектронные и нанотехнологии .....	75
2.2.4. Энергетические информационные технологии .....	83
2.2.5. Информационные технологии проектирования .....	87
2.2.6. Информационные экологические технологии .....	100
2.2.7. Информационные технологии в управлении и экономике .....	104
2.2.8. Информационные технологии принятия управленческих решений .....	113
2.2.9. Интеллектуальные информационные технологии .....	117
2.2.10. Информационные технологии военного назначения .....	134

<b>Глава 3. Организационно-техническое обеспечение информационных технологий .....</b>	<b>137</b>
3.1. Системная организация информационной деятельности предприятий .....	137
3.2. Современное машинное и оргтехническое обеспечение информационных технологий .....	155
3.2.1. Структуры аппаратных и машинных средств обеспечения информационных технологий .....	155



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
<b>ГЛАВА 1</b>	
<b>УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	8
1.1. Способы получения, области применения и производство ультрадисперсного политетрафторэтилена .....	10
1.2. Морфология ультрадисперсного политетрафторэтилена и покрытий на его основе .....	20
1.3. Термодеструкция и калориметрические исследования ультрадисперсного политетрафторэтилена .....	26
1.4. Исследования политетрафторэтилена методом инфракрасной спектроскопии .....	29
1.5. Особенности кристаллического строения ультрадисперсного политетрафторэтилена .....	37
1.6. Радиоспектроскопические исследования ультрадисперсного политетрафторэтилена .....	44
Список литературы к главе 1 .....	53
<b>ГЛАВА 2</b>	
<b>ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕН</b> .....	57
2.1. Металлические наночастицы во фторсодержащих полимерных матрицах .....	—
2.1.1. Способы получения .....	58
2.1.2. Взаимодействие наноразмерных частиц металла с полимерной матрицей .....	61
2.1.3. Магнитные свойства композиционных материалов на основе полимерных матриц и наноразмерных частиц металлов .....	65
2.1.4. Электрофизические свойства композиционных материалов на основе полимеров и наноразмерных частиц металлов .....	68
2.2. Механохимический способ получения дисперсных оксидов, используемых для модифицирования полимерных композитов .....	69

2.3. Твердофазные механохимические методы получения композитных материалов металл—керамика—политетрафторэтилен .....	73
2.3.1. Композиты несмешивающиеся металлы—политетрафторэтилен .....	—
2.3.2. Композиты металлокерамика—ультрадисперсный политетрафторэтилен .....	76
2.3.3. Нанокompозит медь—диборид титана—ультрадисперсный политетрафторэтилен .....	77
2.4. Модельное исследование изменения коэффициента трения механически полученной композитной системы носитель—смазка .....	79
2.4.1. Модель .....	80
2.4.2. Результаты моделирования .....	—
2.5. Металлические нанопокpытия на частицах ультрадисперсного политетрафторэтилена .....	84
2.6. Электрофизические свойства композитов йодид серебра—ультрадисперсный политетрафторэтилен .....	89
2.6.1. Сквозная проводимость .....	90
2.6.2. Электрические характеристики композитов в переменном поле .....	93
Список литературы к главе 2 .....	97

## ГЛАВА 3

### ПРОЦЕССЫ КОМПАКТИРОВАНИЯ

<b>И ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	100
3.1. Физические основы холодного газодинамического напыления (ХГН) порошковых материалов .....	104
3.1.1. Газодинамика холодного напыления .....	—
3.1.2. Ускорение и ударное взаимодействие частиц с преградой .....	134
3.2. Математическое моделирование процесса соударения частиц с преградой .....	160
3.2.1. Моделирование в рамках механики сплошной среды .....	—
3.2.2. Моделирование методом молекулярной динамики .....	201
3.3. Формирование металлополимерных покрытий на основе ХГН и их физико-технические свойства .....	225
3.3.1. Физические параметры, влияющие на процесс формирования покрытий .....	226
3.3.2. Металлополимерные покрытия .....	239
Список литературы к главе 3 .....	252

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Маринин В.И., Артеменко А.А. Расчет оптимальной линии укладки нити на поверхности цилиндрической оболочки наматывания .....	4
Маринин В.И., Журихин С.М. Построение траектории укладки нити на оправке сложной формы .....	9
Маринин В.И., Савин А.Г. Система графического моделирования процессов намотки на намоточных станках с ЧПУ .....	13
Петухов Ю.Е. Математическая модель процесса фрезерования сложных поверхностей .....	16
Киреев С.О., Ковалев В.Н., Ершов Ю.В. Моделирование профиля зубчатого колеса планетарного роликового редуктора с центроидным гипоциклоидальным зацеплением .....	22
Нозик А.А., Можаяев А.С., Потапычев С.Н., Скворцов М.С. Программный комплекс автоматизированного моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования .....	28
Шибанов С.А. Компьютерное моделирование технологических процессов на Верхне-Салдинском металлургическом производственном объединении .....	36
Шубин А.П., Егоров С.Н., Кичик Т.Н. Математическое и экспериментальное моделирование формирования контактной поверхности при уплотнении металлических порошков .....	37
Абрамов Г.В., Рындин П.В. Современное состояние математического моделирования производства углеродных нанотрубок .....	41
Арушанян Д.В., Шахматов А.Ю., Арушанян М.М. Метод симплекс-решетчатого планирования как один из способов варьирования хлебопекарными свойствами муки .....	42
Ткачук Э.И. Вероятностная модель изменения модуля деформации глинистых пород как функция случайных чисел .....	43
Ткачук Э.И., Красилов Т.А., Ахлюстин О.Е. Градиентные модели вертикальной изменчивости показателей просадочности лессовых пород территории г. Анапы .....	47
Ткачук Э.И., Рубежанская С.А. Градиентные модели вертикальной изменчивости показателей свойств глинистых пород трассы газопровода Ростов-Майкоп .....	49
Иванов И.Ю., Шурыгин Д.Н. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности для горных выработок произвольной формы .....	50
Карачевцев Д.В., Иванов И.Ю. Структура геоинформационной системы подрабатываемых территорий .....	53
Белоконев Г.А. Математическое моделирование топоповерхности в пакетах «Surfer» и «Trimble Geomatics Office» .....	57

<b>Глава 8. Продукты органического синтеза в нанохимии и нанотехнологии.....</b>	<b>331</b>
8.1. Методы получения и исследования наночастиц.....	332
8.2. Виды наночастиц.....	332
Органические макроциклы.....	333
Катенаны и родственные структуры.....	335
Дендримеры.....	337
Фуллерены и другие наночастицы.....	340
Ансамбли.....	342
8.3. Применение нанотехнологий.....	345
Новые материалы.....	346
Биология и медицина.....	347
Охрана окружающей среды.....	349
Наночастицы в катализе.....	349
Новые источники электрического тока.....	351
Наноразмерные приборы и устройства.....	353
Нанoeлектроника и молекулярные компьютеры.....	355
Библиографический список.....	358



# Содержание

Предисловие .....	12
<b>Глава 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ .....</b>	<b>19</b>
1.1. Наноматериалы и нанотехнологии <i>Ж.И. Алферов, П.С. Копьев, Р.А. Суриц, А.Л. Асеев, С.В. Гапонов, В.И. Панов, Э.В. Полторацкий, Н.Н. Сибельдин .....</i>	19
1.2. О развитии работ в России в области наноматериалов и нанотехнологий <i>А.В. Путилов .....</i>	34
1.3. Развитие в России работ в области нанотехнологий <i>С.М. Алфимов, В.А. Быков, Е.П. Гребенников, С.И. Желудева, П.П. Мальцев, В.Ф. Петрунин, Ю.А. Чаплыгин .....</i>	38
1.4. О терминологии: наночастицы, наносистемы, нанокompозиты, нанотехнологии <i>В.Я. Шевченко .....</i>	47
1.5. Нанотехнологии и наноматериалы <i>А.Л. Асеев .....</i>	50
1.6. Перспективы молекулярной нанотехнологии <i>Ю.Г. Кригер, И.К. Изуменов .....</i>	59
1.7. Перспективы развития микросистемной техники в XXI веке <i>Д.М. Климов, А.А. Васильев, В.В. Лучинин, П.П. Мальцев .....</i>	62
1.8. Организация формирования и реализации национальных и региональных программ по микросистемам и нанотехнологии <i>В.Д. Вернер, П.П. Мальцев, И.А. Пурицхванидзе .....</i>	68
1.9. Наноэлектроника суперионных проводников - основа создания новых приборов для МСТ <i>А.Л. Деспотули, А.В. Андреева, Б. Рамбабу .....</i>	72
<b>Глава 2. ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР .....</b>	<b>86</b>
2.1. Самоформирующиеся полупроводниковые микро- и нанотрубки <i>В.Я. Принц, В.А. Селезнев, А.В. Чеховский .....</i>	86
2.2. Нанокриогенные технологии <i>В.И. Карагузов .....</i>	95
2.3. Экстремальная ультрафиолетовая литография - будущее наноэлектроники <i>С.В. Гапонов .....</i>	107
2.4. Формирование и электрические свойства планарных 2D-наноразмерных структур <i>Ю.Ф. Адамов, Н.В. Корнеев, В.Г. Мокеров, В.К. Неволлин .....</i>	111
2.5. Формирование микроструктур с «захороненными» поверхностными фазами на кремнии <i>А.В. Зотов, В.В. Коробцов, В.Г. Лифшиц .....</i>	115
2.6. Разработка методов сканирующей зондовой литографии для создания нанометровых элементов <i>В.Ф. Дряхлушин, Н.В. Востоков, А.Ю. Климов, В.В. Рогов, В.И. Шашкин .....</i>	119
2.7. Возможности создания гетероструктурного транзистора на квантовых точках <i>В.Г. Мокеров, Ю.В. Федоров, Л.Э. Великовский, М.Ю. Шербакова .....</i>	127

## 6 Содержание

2.8. Создание фотонных кристаллов методами глубокого анодного травления кремния <i>В.В. Старков, В.В. Аристов, А.М. Желтков, С.А. Магницкий, А.В. Тарасишин .....</i>	131
2.9. Нанотрубки из углеродной смеси высокой реакционной способности <i>В.В. Минаев, В.К. Неволлин, В.И. Петрик .....</i>	136
2.10. Физико-химические аспекты формирования нанокompозитных структур <i>В.В. Слепцов, И.И. Диесперова, А.А. Бизюков, С.Н. Дмитриев .....</i>	138
2.11. Роль структуры приповерхностных слоев металлического никеля при каталитическом синтезе углеродных нанотрубных автоэммиттеров <i>Е.Ф. Куковицкий, С.Г. Львов, Н.А. Саинов, В.А. Шустов, Н.А. Киселев, К.Р. Израэльянц, А.Л. Мусатов .....</i>	147
2.12. Логические ключи на основе пучков однослойных углеродных нанотрубок <i>И.И. Бобринецкий, В.К. Неволлин, Ю.А. Чаплыгин .....</i>	153

## Глава 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ .....

3.1. Лабораторные методы исследования многослойных зеркал для экстремального ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения <i>М.С. Бибишкин, И.Г. Забродин, С.Ю. Зуев, Е.Б. Юшенков, А.Е. Пестов, Н.Н. Салащенко, Д.П. Чехонадских, Н.И. Чхало .....</i>	158
3.2. Особенности электронного строения взаимодействующих нанотрубок <i>Ф.И. Далидчик, М.В. Гришин, С.А. Ковалевский .....</i>	167
3.3. Микромеханика для сканирующей зондовой микроскопии и нанотехнологии <i>В.А. Быков .....</i>	174
3.4. Методы и средства измерений линейных размеров в наноразмерном диапазоне <i>А.Ю. Кузин, В.Н. Марютин, В.В. Календин .....</i>	195
3.5. Исследование полевой электронной эмиссии из наноструктурированных материалов методом сканирующей туннельной микроскопии <i>В.Д. Фролов, А.В. Карабутов, В.И. Конов, С.М. Пименов .....</i>	210
3.6. Особенности методики исследований зеренной структуры нано- и микрокристаллических металлов методом атомно-силовой микроскопии <i>А.В. Нохрин, И.М. Макаров .....</i>	215
3.7. Получение и исследование наноразмерных пленок меди с фрактальной структурой <i>И.Н. Серов, В.И. Марголин, И.А. Солтовская, Г.Н. Лукьянов, Н.А. Потсар, В.С. Фантиков, В.А. Тупик .....</i>	230
3.8. Новые возможности нанолитографии зондом атомно-силового микроскопа <i>Д.В. Шеглов, Е.Е. Родякина, А.В. Латышев, А.Л. Асеев .....</i>	241
3.9. Метрологическое обеспечение измерений длины в микрометровом и нанометровом диапазонах и их внедрение в микроэлектронику и нанотехнологию <i>В.А. Быков, Ч.П. Волк, Е.С. Горнев, П.А. Тодуа, Ж.Е. Желкобаев, Л.М. Зыкин, А.Б. Ишанов, В.В. Календин, Ю.А. Новиков, Ю.В. Озерин, Ю.П. Плотников, А.М. Прохоров, А.В. Раков, С.А. Саулин, В.Н. Чепряков .....</i>	254

## Глава 4. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МНСТ .....

4.1. Особенности материаловедческого и технологического базиса микросистем <i>В.В. Лучинин, Ю.М. Таиров, А.А. Васильев .....</i>	298
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----



4.2. Перспективы применения структур кремний-на-изоляторе в микро-, наноэлектронике и микросистемной технике <i>А.Л. Асеев, В.П. Попов, В.П. Володин, В.Н. Марютин</i>	305
4.3. Специфика технологии микроэлектромеханических устройств <i>Е.Н. Пятыхев, М.С. Лурье, И.В. Попова, А.Н. Казакин</i>	315
4.4. Моделирование процесса прецизионного травления вибрационной системы датчика угловой скорости <i>С.П. Тимошенков, В.Г. Рубиц</i>	319
4.5. Моделирование элементов микромеханики <i>Е.С. Горнев, Н.А. Зайцев, М.Ф. Равилов, И.М. Романов</i>	327
4.6. Расчет температурных и технологических погрешностей микромеханических гироскопов <i>В.Э. Джашистов, В.М. Панкратов, А.М. Лестев, И.В. Попова</i>	342
4.7. Методика анализа пьезорезистивного эффекта в элементах микросистемной техники с использованием пакета программ ISETCAD <i>Т.Ю. Крупкина</i>	357
4.8. Основные принципы создания SPICE-моделей микроэлектромеханических систем <i>Н.А. Шелепин</i>	362
4.9. Нелинейная динамическая модель упругого элемента микромеханических систем <i>В.П. Драгунов</i>	371
4.10. Моделирование пульсирующих колебаний гибких микрообъектов для целей нанотехнологий <i>Л.Ф. Фомин</i>	381
4.11. Динамические процессы в многозвенных микросистемах <i>В.Г. Градецкий, Л.Н. Кравчук, М.М. Пушкин</i>	386
4.12. Особенности определения поля давления при движении микрокапсул в трубках малого диаметра <i>Г.Н. Космодемьянская, С.И. Сорокина</i>	396
4.13. Расчет температурных полей в многослойных фотоприемных структурах <i>А.А. Мельников</i>	406

## Глава 5. КОМПОНЕНТЫ НАНО- И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ ..... 416

5.1. Микроакселерометр на поверхностных акустических волнах <i>Д.П. Лукьянов, В.В. Лучинин, В.Ю. Скворцов</i>	416
5.2. Трехкомпонентные векторные вибродатчики нового поколения для оперативной диагностики силовых агрегатов <i>И.Б. Кобяков, С.А. Гамкрелидзе, А.А. Сперанский</i>	424
5.3. Интегральные датчики абсолютного и избыточного давления <i>А.В. Саблин</i>	427
5.4. Высокочувствительный датчик температуры на основе гетероэпитаксиальной структуры SiC/Si <i>В.И. Чепурнов, Т.П. Фридман</i>	430
5.5. Полевой датчик Холла на основе структур «кремний-на-изоляторе» <i>М.Л. Бараночкиков, А.В. Леонов, П.П. Мальцев, А.Д. Мокрушин, В.Н. Мордкович, Н.М. Омельяновская, Д.М. Пажин</i>	436
5.6. О возможных конструкциях датчиков туннельно-эмиссионных акселерометров <i>В.И. Шашкин, Н.В. Востоков, Е.А. Вопилкин, А.Ю. Климов, Д.Г. Волгунов, В.В. Рогов, С.Г. Лазарев</i>	445

5.7. Электростатический двигатель для быстродействующих микромеханических устройств <i>Э.Г. Косцов, И.Л. Багинский, Э.Л. Кащеев, Д.И. Буханец</i>	451
5.8. Коррекция частотной характеристики молекулярно-электронного акселерометра вращательных движений в области инфранизких частот <i>В.А. Козлов, Д.А. Терентьев</i>	459
5.9. Микрозеркала в кремниевом кристалле <i>Н.А. Зайцев</i>	463
5.10. Микрооптоэлектромеханические системы для приемников инфракрасного диапазона волн <i>В.Н. Федоринин</i>	466
5.11. Биосенсоры и биомолекулярная электроника <i>А.А. Карякин</i>	471
5.12. Химические сенсоры на поверхностно-акустических волнах для мультисенсорной системы атмосферного мониторинга <i>Э.И. Соборовер, С.В. Ткаченко</i>	478
5.13. Сенсоры газовых сред на основе пористого кремния <i>Д.И. Биленко, О.Я. Белобровая, Э.А. Жаркова, Т.Е. Мельникова, И.Б. Мысенко, В.П. Полянская, Е.И. Хасина, В.Д. Ципоруха</i>	484
5.14. Интегральный электрический микронасос <i>Е.Б. Механцев, В.Ю. Мариничев</i>	488

## Глава 6. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ ..... 492

6.1. Технологии миниатюризации «сверху вниз» или «снизу вверх» <i>В.Д. Вернер, П.П. Мальцев, А.Н. Сауров, Ю.А. Чаплыгин</i>	492
6.2. Технологическая модульность в микросистемной технике <i>В.Д. Вернер, И.А. Пурихванидзе</i>	498
6.3. Мехатроника — основа интеллектуальной техники будущего <i>В.А. Лопота, Е.И. Юревич</i>	505
6.4. Кремниевые преобразователи физических величин и компоненты датчиков. Датчики и микросистемы на их основе <i>Н.А. Шелепин</i>	507
6.5. Акселерометры НИИ физических измерений — элементы микросистемотехники <i>Е.А. Мокров, А.А. Папко</i>	525
6.6. Микроэлектронные сенсорные системы: опыт создания и применения <i>И.А. Каляев, В.Н. Котов, В.Г. Клифдухов, А.П. Кухаренко</i>	535
6.7. Волоконные МЭМС и НЭМС <i>С.П. Суховеев</i>	540
6.8. Перспективы развития микрореактивных двигателей для МСТ <i>С.Е. Александров, А.В. Коротынский, С.С. Тимофеев, Ю.Д. Акулышин, А.В. Коршунов, Е.Н. Пятыхев, В.К. Васильев</i>	554
6.9. Микроэлектронные преобразователи физических величин и компоненты датчиков — перспективная элементная база микросистемной техники <i>В.А. Телец, А.Ю. Никифоров</i>	562
6.10. Тенденции развития беспилотных летательных аппаратов мини- и микроклассов <i>В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов, И.Б. Гарцев, К.С. Колядин</i>	572
6.11. Тенденции развития подводных микроаппаратов <i>Л.Ю. Бочаров</i>	578

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение
2. Технология производства детонационных наноалмазов (ДНА)
  - 2.1. Принцип детонационного синтеза*
  - 2.2. Выделение ДНА из детонационного углерода*
3. Структура детонационных наноалмазов
  - 3.1. Структура частицы ДНА*
  - 3.2. Агрегация ДНА*
4. Свойства ДНА
  - 4.1. Физические и химические свойства порошка ДНА*
  - 4.2. Суспензия ДНА*
5. Применения ДНА
  - 5.1. Существующие промышленные применения ДНА*
  - 5.2. Будущие применения ДНА*
6. Историческая справка и современное состояние производства ДНА
7. Заключение
- Благодарности
- Глоссарий
- Библиография
- Биографическая справка

## Содержание

От редактора .....	10
<b>Глава 1. Наноматериалы</b> .....	13
Наноматериал графен — пленка толщиной в атом .....	13
Прозрачные пленки из нанотрубок .....	14
Пленки из наночастиц формируют «резиновые» нанотрубки .....	15
Электропроводящие нанотрубки большой длины .....	16
Новый инструмент визуализации наномира: яркие квантовые точки .....	17
Ученые из Брукхейвена создали уникальную наноструктуру .....	19
Серебряные цветы и карта Новой Зеландии в наномире .....	20
Что будет, если надавить на нанотрубку? .....	24
Светоизлучающие нанотрубки в телевизорах и дисплеях .....	26
Кисть из нанотрубок .....	27
Нанотрубки для топливных элементов .....	29
Наноструктуры по шаблону .....	31
Батарейку от Toshiba можно зарядить за 60 секунд .....	32
Батарейка на основе «нанотравы» от mPhase Technologies .....	33
Создана прозрачная наноткань с прочностью стали .....	34
Нанопокрывание NanoMATRIX для одежды .....	36
Нанотехнологии выходят на корт .....	37
Наноматериалы частично поражают легкие .....	39
<b>Глава 2. Нанoeлектроника</b> .....	41
Нанотрубка в роли транзистора .....	41
Компания Infineon создала самый маленький в мире транзистор на нанотрубке .....	43
IBM утроит производительность транзисторов .....	44
Транзистор с плавником от Infineon уменьшил flash-память .....	45
Сверхконденсаторы из углеродных нанотрубок .....	46
Фотонные транзисторы в кремниевом исполнении .....	47
НР провозглашает конец кремниевой эры .....	50
Квантовый выключатель — основа будущей нанологии .....	53
Способ массового производства электронных схем на основе нанотрубок .....	55
Штампуют наносистемы .....	56
Компания TSMC объявила о промышленном выпуске чипов по 65-нанометровому техпроцессу к концу 2005 г. ....	58
НР избавит мир от транзисторов .....	58
<b>Глава 3. Нанодатчики и наноустройства</b> .....	60
Проект наномеханического вентиля .....	60
Нанoeлектромеханический одноэлектронный транзистор с «механической рукой» .....	62

Наномеханическая память вскоре заменит традиционную магнитную .....	64
Механическая память на основе НЭМС .....	65
«Многоножка» стартует с 10 Гб .....	68
Память объемом в 100 Гбайт благодаря нанотехнологиям .....	72
Магнитная flash-память на основе углеродных нанотрубок .....	73
Открытые микрожидкостные и наножидкостные системы .....	75
Ученые построили первый наножидкостный транзистор для химических компьютеров .....	77
Сверхточный детектор массы и силы на основе нанотрубки .....	80
Датчик наноперемещений .....	82
НЭМС для взвешивания ДНК .....	83
Вращающийся нанопропеллер .....	84
Новый подход в наномоторах — использование силы поверхностного натяжения .....	86
Газовый наносенсор на основе проводящего полимера .....	88
Газовая нанотурбина .....	90
Продукты нанотехнологий завоевывают мировой рынок .....	91
Дисплеи нового поколения на мировом рынке .....	93
Первый цветной дисплей на нанотрубках от компании Motorola .....	97
Молекулярные машины вращают ДНК вдоль оси .....	98
Нановелосипед покажет себя на Tour de France .....	99
<b>Глава 4. Диагностика наноструктур и наноматериалов</b> .....	101
Новые суперлинзы — база будущей оптоэлектроники .....	101
Оптическая микроскопия для манипулирования нанотрубками .....	105
Как «Многоножка» залезла в микроскоп, или Оптическая микроскопия в нанорежиме .....	105
Лазерная идентификация материалов .....	107
Математическая модель квантовых точек открывает их новые свойства .....	108
Компания НТ-МДТ вывела на рынок новые DLC-иглы .....	111
«Невидимое сделать видимым» .....	112
<b>Глава 5. Нанобиотехнологии и применение нанотехнологий в медицине</b> .....	113
Живое наноожерелье .....	113
ДНК-нанопроволока для будущей микроэлектроники .....	115
Микроорганизмы синтезируют проводящие нанонити .....	116
Нанoeлектронный прибор на основе одной органической молекулы .....	118
Хламидомонада в качестве «грузовика» .....	119

Химики создали «крабовые клешни», захватывающие атомы мышьяка .....	120
Наноустройства ловят вирусы .....	122
«Живые» роботы двигаются с помощью мышц .....	124
ДНК-наномашина производит полимер .....	126
Приручение таинственных биологических наноконтейнеров .....	127
Дендромерные ДНК-наночастицы помогут бороться с раком и другими заболеваниями .....	130
Углеродные нанотрубки в мозговых имплантах .....	132
«Умные» нанотрубки в доставке лекарств .....	134
Золотые наночастицы могут упростить диагностику раковых опухолей .....	137
Новый тип РНК-нанокапсул излечит от рака .....	138
Наночастицы и дендромеры помогают космонавтам .....	141
FDA берет нано под учет .....	145
«Печатный станок» и экспресс-анализ ДНК .....	146
Мозг на нанопроводниках .....	148



# Содержание

Предисловие к английскому изданию .....	11
Предисловие редакторов к русскому изданию .....	13
Предисловие переводчика и редактора перевода .....	15
<b>Глава 1. Галилео Галилей и проблемы твердого тела</b>	
<i>Д.Т.М. де Хоссон и А. Кавалеиро</i> .....	17
1.1. Введение .....	17
1.2. Покрытия .....	18
1.3. Проблемы и перспективы .....	21
1.3.1. Износ: роль поверхностей раздела в поведении наноматериалов .....	21
1.3.2. Трение: размерные эффекты в нанопокрывах .....	27
1.3.3. Трибологические характеристики: роль шероховатости поверхности .....	35
1.4. Основная идея и структура предлагаемого сборника .....	41
Литература .....	44
Дополнительная литература .....	47
<b>Глава 2. Размерные эффекты в процессах деформации и разрушения наноструктурных металлов</b>	
<i>Б. Мозер, Р. Швайгер и М. Дао</i> .....	48
2.1. Введение .....	48
2.2. Методы механических испытаний массивных и пленочных наноструктурных материалов .....	49
2.2.1. Испытания на растяжение и сжатие .....	49
2.2.2. Индентирование: экспериментальная техника и методы расчета .....	52
2.2.3. Методы измерения, связанные с изгибом кантилеверов .....	55
2.2.4. Техника испытаний материалов <i>in situ</i> .....	57
2.3. Деформация и разрушение наноструктур (структурные ограничения) .....	57
2.3.1. Кристаллические материалы .....	57
2.3.2. Аморфные материалы .....	80
2.4. Деформация при размерных ограничениях (стесненная деформация пленок) .....	85
2.4.1. Предел текучести и упрочнение .....	85
2.4.2. Циклическая деформация .....	91
2.5. Заключительные замечания и выводы .....	95
Литература .....	96
Дополнительная литература .....	107
<b>Глава 3. Дефекты и механизмы деформации в наноструктурных покрытиях</b>	
<i>И.А. Овифько</i> .....	108
3.1. Введение .....	108
3.2. Общие сведения о механизмах деформации в наноструктурных покрытиях .....	111



3.3. Внутризеренное скольжение решеточных дислокаций .....	113
3.4. Зернограничное скольжение .....	116
3.5. Ротационные механизмы деформации .....	120
3.6. Зернограничная диффузионная ползучесть по Кобле и диффузионная ползучесть по тройным стыкам .....	124
3.7. Взаимодействие между деформационными модами в нанопокртыях: эмиссия дислокаций из межзеренных границ .....	126
3.8. Роль дефектов и пластической деформации в релаксации внутренних напряжений в нанокристаллических пленках и покрытиях .....	129
3.9. Заключение .....	134
Литература .....	135
Дополнительная литература .....	141
<b>Глава 4. Наноиндентирование нанокристаллических металлических слоев: изучение размерных эффектов методом молекулярной динамики</b> <i>Х. Ван Свигенховен, А. Хаснави и П. М. Дерлет</i> .....	142
4.1. Введение .....	142
4.2. Атомарное моделирование .....	145
4.2.1. Метод молекулярной динамики .....	146
4.2.2. Методы скорейшего спуска и сопряжения градиентов .....	147
4.2.3. Межатомные потенциалы .....	148
4.2.4. Создание нанокристаллических атомарных конфигураций для численного моделирования .....	150
4.2.5. Геометрические аспекты численного моделирования процесса наноиндентации в атомарных структурах .....	151
4.2.6. Методы визуализации атомарной структуры границ зерен и сеток из границ зерен .....	153
4.2.7. Проблемы учета временных и пространственных масштабов .....	155
4.3. Механизмы деформации на атомарном уровне в наноразмерных зернах, расположенных под индентором .....	157
4.3.1. Механизмы деформации в нанокристаллических ГЦК металлах .....	157
4.3.2. Атомарные механизмы процессов деформации в областях, расположенных под индентором .....	159
4.3.3. Взаимодействие дислокаций с сетками границ зерен .....	163
4.3.4. Соотношение между размерами индентора и кристаллических зерен .....	166
4.3.5. Скопление материала вокруг индентора в процессе деформации .....	172
4.3.6. Фаза разгрузки (снятия напряжения) .....	174
4.4. Обсуждение и общий обзор проблемы .....	176
Литература .....	178
Дополнительная литература .....	181
<b>Глава 5. Электронно-микроскопическая аттестация наноструктурных покрытий</b> <i>Д. Т. М. де Хоссеи, Н. Д. М. Карвальо, Ю. Пей и Д. Гальван</i> .....	182
5.1. Введение .....	182
5.2. Экспериментальная методология и используемые материалы .....	187
5.2.1. Материалы .....	187

5.2.2. Исследование материалов методами электронной микроскопии .....	188
5.2.3. Изготовление образцов для экспериментов с использованием ПЭМ .....	204
5.3. Микроструктура алмазоподобных многослойных пленок .....	207
5.3.1. Алмазоподобные покрытия .....	207
5.3.2. Сложные покрытия .....	208
5.3.3. Частицы внутри аморфной структуры .....	216
5.3.4. Структура дефектов .....	220
5.3.5. Механизмы распространения трещин .....	221
5.4. Исследование многослойных пленок на основе TiN и TiN-(Ti, Al)N .....	226
5.4.1. Нитриды переходных металлов .....	226
5.4.2. Микроструктурные особенности .....	230
5.4.3. Формирование и микроструктура макрочастиц .....	236
5.4.4. Наноиндентационный отклик .....	238
5.5. Общий обзор содержания главы и выводы .....	246
Литература .....	257
Дополнительная литература .....	264
<b>Глава 6. Измерение твердости и модуля Юнга методом наноиндентирования</b> <i>Т. Чудоба</i> .....	265
6.1. Введение .....	265
6.2. Теория индентационных измерений .....	266
6.3. Роль и возможности измерения «податливости» измерительной аппаратуры .....	278
6.4. Роль и определение функции площади индентора .....	286
6.5. Дополнительные поправки для более точного анализа данных .....	292
6.5.1. Поправка, связанная с тепловым дрейфом .....	292
6.5.2. Поправка на нулевую точку .....	296
6.6. Специфика проведения наноиндентационных испытаний на тонких твердых поверхностях .....	298
6.6.1. Проблемы, связанные с влиянием подложки .....	298
6.6.2. Эффекты, связанные с возникновением навалов и провалов на поверхности .....	305
6.7. Пределы и возможности сравнения измерений твердости материалов .....	308
6.8. Измерения модуля Юнга с использованием инденторов со сферическим наконечником .....	311
Литература .....	315
Дополнительная литература .....	317
<b>Глава 7. Влияние добавок третьего элемента на структуру и механические свойства наноструктурных твердых пленок на основе переходных металлов.</b> <b>Часть I – нитриды</b> <i>А. Кавалейро, Б. Триндаде и М. Т. Виейра</i> .....	318
7.1. Введение .....	318
7.2. Добавка алюминия в нитриды переходных металлов .....	320



7.3. Тройные нитриды на основе переходных металлов IV–VI групп	324
7.4. Особая ситуация, связанная с добавкой кремния к нитридам переходных металлов	328
7.5. Добавка элементов с низким сродством к азоту в нитриды переходных металлов	332
7.6. Покрытия на основе вольфрама	333
7.6.1. Двойные системы	333
7.6.2. Тройная система W–X–N	337
7.7. Заключение: общий обзор и анализ содержания гл. 7	365
Литература	367
Дополнительная литература	375
<b>Глава 8. Влияние добавок третьего элемента на структуру и механические свойства наноструктурных твердых пленок на основе переходных металлов.</b>	
Часть II – карбиды	376
<i>А. Кавалейро, Б. Триндаде и М.Т. Виейра</i>	376
8.1. Введение	376
8.2. Аморфные карбидные тонкие пленки, осажденные напылением	379
8.3. Структурные модели для предсказания образования аморфных фаз	380
8.4. Образование аморфных фаз в распыленных пленках на основе тройных карбидов переходных металлов	386
8.4.1. Тонкие пленки типа ПМ–Fe–C (ПМ = Ti, V, W, Mo, Cr)	386
8.4.2. Тонкие пленки типа W–ПМ–C (ПМ = Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Pd и Au)	390
8.5. Твердость и модуль Юнга распыленных тонких пленок на основе тройных карбидов переходных металлов	396
8.5.1. Тройные системы ПМ–C/ПМ <sub>2</sub> –C (ПМ = металл группы VA, ПМ <sub>2</sub> = металл группы VIA)	396
8.5.2. Другие тройные карбидные системы типа ПМ–ПМ <sub>2</sub> –C	399
8.6. Термическая стабильность распыленных тонких пленок на основе тройных карбидов переходных металлов	403
8.7. Заключение и краткий обзор содержания главы	406
Литература	407
Дополнительная литература	411
<b>Глава 9. Концепция создания сверхтвердых нанокompозитов с высокой термической стабильностью: получение, свойства, промышленные применения</b>	
<i>С. Вепрек и М.Г.Д. Вепрек-Хейман</i>	412
9.1. Введение	412
9.1.1. Возможные причины возникновения артефактов при измерениях твердости сверхтвердых покрытий	413
9.1.2. Требования к толщине покрытий	417
9.2. Обзор предыдущих исследований в данной области	418
9.3. Сверхтвердые нанокompозиты и упрочнение посредством ионной бомбардировки	421
9.4. Сверхтвердые нанокompозиты с высокой термической устойчивостью	426

9.4.1. Концепция осаждения устойчивых сверхтвердых нанокompозитов	426
9.4.2. Характеристики полностью сегрегированных сверхтвердых нанокompозитов	438
9.5. Воспроизводимость процессов получения сверхтвердых нанокompозитов	453
9.5.1. Влияние примесей	453
9.5.2. Условия, необходимые для полного разделения фаз при осаждении	456
9.5.3. Условия, необходимые для получения твердости от 80 до $\geq 100$ ГПа	460
9.6. Механические свойства сверхтвердых покрытий	462
9.6.1. Последние результаты исследований	462
9.6.2. Сопротивление хрупкому разрушению	465
9.6.3. Упругое восстановление (последствие)	467
9.6.4. Идеальная прочность на разрыв	467
9.6.5. Направления некоторых будущих исследований	469
9.7. Промышленное применение	470
9.8. Заключение	471
Литература	473
Дополнительная литература	480
<b>Глава 10. Физические и механические свойства твердых нанокompозитных пленок, получаемых реактивным магнетронным напылением</b>	481
<i>Н. Мусил</i>	481
10.1. Введение	481
10.2. Формирование нанокристаллических и нанокompозитных покрытий	482
10.2.1. Бомбардировка низкоэнергетическими ионами	482
10.2.2. Процесс смешивания	484
10.2.3. Структура пленок	484
10.3. Микроструктура нанокompозитных покрытий	488
10.4. Роль энергии ионов в формировании покрытий	490
10.4.1. Ионная бомбардировка при реактивном напылении пленок	493
10.4.2. Влияние ионной бомбардировки на элементный состав распыленной пленки	495
10.4.3. Влияние ионной бомбардировки на физические характеристики формируемых пленок	496
10.4.4. Ионная бомбардировка растущих пленок при пульсирующем распылении	499
10.5. Природа повышенной твердости однофазных пленок	502
10.5.1. Научные проблемы, связанные с созданием сверхтвердых нанокompозитных пленок	504
10.5.1. Макронапряжения в распыленных пленках	505
10.5.3. Высоконапряженные распыленные пленки	510
10.5.4. Пленки с низким уровнем напряжений	511



10.5.5. Общие замечания по проблеме снижения уровня макронапряжений $\sigma$ в сверхтвердых пленках	519
10.6. Природа повышенной твердости однофазных пленок	519
10.7. Классификация нанокompозитов по структуре и микроструктуре	522
10.8. Механические свойства твердых нанокompозитных покрытий	524
10.8.1. Зависимость механических свойств реактивно распыляемых пленок $Ti(Fe)N_x$ от режимов осаждения	526
10.8.2. Зависимость твердости и способности сопротивляться пластическим деформациям реактивно распыляемых пленок $Ti(Fe)N_x$ от стехиометрии $x$ и энергии $E_d$	527
10.9. Тенденции будущих разработок	529
Литература	532
<b>Глава 11. Термическая стабильность перспективных наноструктурных износостойких покрытий</b>	544
<i>Л. Хульман, Х. Миттерер</i>	544
11.1. Введение	544
11.2. Измерительная техника	545
11.2.1. Измерения зависимости двухосных напряжений от температуры	546
11.2.2. Дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрический анализ	549
11.3. Восстановление (возврат при нагреве)	551
11.3.1. Однофазные покрытия	551
11.3.2. Многофазные покрытия	559
11.4. Рекристаллизация и рост зерен	563
11.4.1. Однофазные покрытия	564
11.4.2. Многофазные покрытия	566
11.5. Фазовый распад метастабильных псевдобинарных нитридов	573
11.5.1. Спинодальный распад	573
11.5.2. Дисперсионное твердение	577
11.6. Гетеродиффузия	580
11.7. Окисление	582
11.7.1. Легирование твердых покрытий для повышения стойкости к окислению	582
11.7.2. Самоадаптация покрытий при окислении	585
11.8. Заключение и обзор	586
Литература	589
Дополнительная литература	597
<b>Глава 12. Оптимизация наноструктурных трибологических покрытий</b>	598
<i>А. Лейланд и А. Метьюз</i>	598
12.1. Введение	598
12.2. Параметр $H/E$ и его роль в определении характеристик покрытий	601

12.3. Получение наноструктурных покрытий осаждением из газовой фазы	606
12.4. Материалы и конструирование нанокompозитных металлоподобных и аморфных пленок	607
12.4.1. Основа для создания металлоподобных нанокompозитных пленок	607
12.4.2. Проблемы конструирования	610
12.4.3. Подбор материалов для наноструктурных и стеклообразных пленок	612
12.5. Примеры наноструктурных и аморфных пленок, осаждаемых из газовой фазы	617
12.5.1. Наноструктурные пленки $CrCu(N)$ и $MoCu(N)$	617
12.5.2. Пленки из металлических стекол $CrTiCu(B,N)$	619
12.6. Адаптивные покрытия	622
12.7. Выводы	625
Литература	626
<b>Глава 13. Синтез, структура и свойства многослойных покрытий (сверхрешеток)</b>	
<i>Л. Хульман</i>	631
13.1. Введение	631
13.2. Выращивание многослойных пленок	632
13.3. Природа сверхтвердости	636
13.4. Механизмы деформации и износа	637
13.5. Выводы	644
Литература	645
<b>Глава 14. Синтез, структура и применение наноразмерных многослойных покрытий (сверхрешеток), получаемых методом физического осаждения из газовой фазы</b>	
<i>П. Э. Ховсепян, В.-Д. Мюнци</i>	648
14.1. Общие сведения о промышленном получении твердых наноразмерных многослойных покрытий	648
14.1.1. Введение	648
14.1.2. Проблемы промышленного производства	650
14.1.3. Поверхности раздела, формируемые при дуговом распылении	655
14.1.4. Основной критерий, характеризующий структуру сверхрешетки	661
14.1.5. Текстура покрытий и остаточные напряжения	672
14.1.6. Механические и трибологические свойства	677
14.2. Промышленное применение наноразмерных многослойных покрытий	679
14.2.1. Создание покрытий с заданными характеристиками	679
14.2.2. Многослойные покрытия для высокотемпературных применений	681



14.2.3. Сверхтвердые многослойные покрытия с низким коэффициентом трения и их применение.....	695
14.2.4. Возможности применения многослойных нанопокровтий с очень низким коэффициентом трения .....	707
14.2.5. Многослойные покрытия CrN/NbN с повышенной стойкостью к коррозии и износу.....	714
Литература .....	736
Дополнительная литература.....	743
<b>Послесловие редактора перевода. Наноструктурные покрытия и пленки как типичные и характерные наноматериалы .....</b>	<b>744</b>
Литература .....	748

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	10	2.7.1. «Соседи» в контакте	87
Предисловие редактора перевода	12	2.7.2. Совместимость и плотность: фильтрация жесткости	88
Введение: особые свойства как результат наноразмерности	15	2.8. Упаковочная иерархия: топологическая структура за пределами «соседей» первого порядка	90
Ссылки	26	2.8.1. Анализ оболочки	91
<b>Глава 1. Технологии наночастиц и их применение</b>	29	2.8.2. Сетевое взаимодействие	93
1.1. Введение	29	2.9. Может ли неупорядоченность быть более эффективной?	93
1.2. Промышленное производство наночастиц	32	2.9.1. Эффективность упаковки	94
1.3. Процессы синтеза и производства наночастиц	36	2.9.2. Изопериметрическое частное	97
1.3.1. Нисходящие процессы	36	2.10. Заключение	98
1.3.2. Восходящие процессы	45	2.11. Благодарности	99
1.4. Промышленное использование наночастиц	52	2.12. Ссылки	99
1.4.1. Получение углеродных нанотрубок	52	<b>Глава 3. Изучение наноструктуры с использованием электронно-лучевых технологий</b>	103
1.4.2. Получение оксида металла (ZnO)	58	3.1. Введение	103
1.5. Применение наночастиц	60	3.2. Подготовка материала	107
1.6. Тенденции в производстве наночастиц	62	3.2.1. Система сфокусированного ионного луча	107
1.7. Ссылки на специализированные и полезные веб-сайты	62	3.2.2. Ультрамикротомия	108
1.8. Ссылки	63	3.3. Наноанализ	109
<b>Глава 2. Нанометрические архитектуры: возникновение эффективной некристаллической организации атомов в наноструктуре</b>	70	3.3.1. Рентгеновская спектроскопия на основе метода энергетической дисперсии	110
2.1. Введение	70	3.3.2. Электронная спектроскопия энергетических потерь	113
2.2. Упаковки одинаковых сфер	73	3.3.3. Нанодифракция	114
2.2.1. Шесть образцов	74	3.3.4. Энергетическая фильтрация	115
2.3. Исследование структуры: функция кругового распределения	75	3.4. Отображение	116
2.4. Местные рисунки и ориентационная симметрия	75	3.4.1. Томография	116
2.4.1. Двухмерные упаковки и геометрическая фрустрация	77	3.4.2. Скорректированные измерительные средства	118
2.4.2. Местная вращательная симметрия	78	3.5. Тенденции	120
2.5. Разбор структуры: местная геометрическая организация	79	3.5.1. Улучшенное разрешение	120
2.5.1. Формы Вороного	79	3.5.2. Автоматизированная микроскопия	120
2.5.2. Общие «соседи»	81	3.5.3. Выводы	122
2.5.3. Исследование плотных местных упаковок	81	3.6. Благодарности	123
2.5.4. Распределение двугранных углов	82	3.7. Ссылки	123
2.6. Упаковка тетраэдров	84	<b>Глава 4. Органические нанокompозитные мембраны с неорганическими добавками для процессов молекулярного разделения</b>	129
2.7. Структурная организация и упаковочная фракция	86	4.1. Введение	129
		4.2. Проницаемость плотных мембран	131



4.3. Проницаемость композитных материалов	131
4.4. Исследование нанокompозитной мембраны	133
4.4.1. Ранние исследования	133
4.4.2. Современные нанокompозитные мембраны	139
4.5. Выводы и тенденции	153
4.6. Ссылки	155
<b>Глава 5. Разработка ионных проводников на основе наноструктурных полимеров</b>	160
5.1. Введение	160
5.2. Полимерные электролиты	161
5.3. Композитные электролиты	165
5.3.1. Нанокompозитные наполненные полимерные электролиты	166
5.3.2. Нанокompозитные полимерные гелевые электролиты	171
5.3.3. Нанокompозитные полиэлектролитные гели	173
5.4. Вывод	178
5.5. Ссылки	178
<b>Глава 6. Наноструктуры в биологических материалах</b>	184
6.1. Введение	184
6.2. Наноструктуры биологических материалов	186
6.2.1. Параллельные наноструктуры костеподобных материалов	186
6.2.2. Конвергентные поверхностные биологические наноструктуры	190
6.3. Механика наноструктур костеподобных материалов	193
6.3.1. Устойчивость наноструктуры кости и модели для ее определения	193
6.3.2. Прочность минеральных пластин	197
6.3.3. Энергия разрушения биокompозитов	200
6.4. Механика поверхностной наноструктуры геккон-подобных материалов	205
6.4.1. Модели контактной механики Джонсона—Кендалла—Роберта (ДКР)	205
6.4.2. Насыщение прочности адгезии шпателя в наномасштабе	210
6.4.3. Энергия адгезии решеток шпателя	212
6.4.4. Антигруппирование структуры «шпатель»	214
6.5. Выводы	216
6.6. Тенденции	219

6.7. Благодарности	219
6.8. Ссылки	220

<b>Глава 7. Механические характеристики металлических многослойных наноматериалов</b>	225
7.1. Введение	225
7.2. Методы синтеза металлических многослойных наноматериалов	226
7.3. Обзор механизмов упрочнения	231
7.3.1. Модель Холла—Петча	231
7.3.2. Одинокная дислокация	233
7.4. Зависимость прочности многослойных наноматериалов от толщины слоя	235
7.5. Моделирование поведения одинокной дислокации	238
7.5.1. Ограниченное скольжение слоя	238
7.5.2. Пересечение границы раздела	243
7.6. Пластическая деформация многослойных наноматериалов	248
7.7. Выводы	260
7.8. Благодарности	263
7.9. Ссылки	263

<b>Глава 8. Подготовка монолитных нанокристаллических керамик</b>	267
8.1. Введение	267
8.2. Синтез неметаллических неорганических наночастиц	272
8.2.1. Методы получения порошков в больших количествах	273
8.2.2. Характеристики порошка, оказывающие влияние на объемные свойства	277
8.3. Формирование нанокерамических тел	278
8.3.1. Проблемы в обработке нанопорошка	279
8.3.2. Методы сухого сжатия	282
8.3.3. Методы влажной обработки	284
8.4. Уплотнение	289
8.4.1. Стратегии агломерации для ограниченного роста зерна	289
8.4.2. Агломерация без давления	291
8.4.3. Горячее изостатическое сжатие	293
8.4.4. Неосевое горячее сжатие	295
8.4.5. Горячее сжатие при наличии жидкой фазы	296



8.4.6. Агломерационная ковка	297
8.4.7. Агломерация пульсирующим электрическим током	300
8.5. Особые свойства и применение	307
8.6. Выводы и тенденции	310
8.7. Ссылки	311
<b>Глава 9. Нанопроектирование металлических материалов</b>	322
9.1. Введение	322
9.2. Нанопроектирование металлических материалов	323
9.2.1. Эффект Холла—Петча	323
9.2.2. Роль нанопрепятствий и управление ими	324
9.2.3. Связь «обработка — структура — свойства — стоимость»	324
9.2.4. Получение нанометаллов и наносплавов	324
9.3. Дисперсионноупрочненные сплавы	325
9.3.1. Химия и конструкция сплава в дисперсионном упрочнении алюминиевых сплавов	329
9.3.2. Термическая обработка	333
9.4. Высокопрочные низколегированные стали	335
9.4.1. Обработка зерна и влияние ниобия и ванадия на свойства высокопрочных низколегированных сталей	338
9.4.2. Дисперсионное упрочнение в высокопрочных низколегированных сталях	339
9.5. Механическое сплавление	340
9.5.1. Механическое сплавление	340
9.5.2. Структура первого типа: получение нанокристаллических или аморфных порошков для улучшения качества последовательной обработки, когда конечный материал не является нанокристаллической структурой	346
9.5.3. Структура второго типа: получение нанокристаллических или аморфных порошков, когда конечный материал обладает нанокристаллической структурой или структурно однороден	347
9.5.4. Структура третьего типа: получение нанокристаллических или аморфных порошков, когда конечный материал структурно неоднороден и содержит нанокристаллические или аморфные области	348

9.6. Аморфные твердые материалы и контроль кристаллизации при быстром отвердевании	349
9.6.1. Технологии быстрого отвердевания (ТБО)	350
9.6.2. Применение аморфных сплавов	353
9.6.3. Применение нанокристаллических сплавов	355
9.7. Тенденции	356
9.8. Ссылки	358

<b>Глава 10. Использование магнитного резонанса для изучения nanoосаждения в легких металлических сплавах</b>	364
10.1. Введение. Дисперсное упрочнение легких металлических сплавов	364
10.1.1. Методы изучения механизмов дисперсионного упрочнения	367
10.2. Ядерно-магнитный резонанс	368
10.2.1. Общие сведения о ядерно-магнитном резонансе	368
10.3. Спектры ядерно-магнитного резонанса сплавов	373
10.3.1. Воздействие температуры	375
10.3.2. Воздействие микросплавления	376
10.4. Выводы	381
10.5. Ссылки	382

<b>Глава 11. Нанокристаллические легкие металлические гидриды для накопления водорода</b>	384
11.1. Введение	384
11.2. Производство нанокристаллических легких металлических гидридов	385
11.3. Процессы абсорбции и десорбции водорода	386
11.4. Нанокристаллические магниевые гидриды	387
11.4.1. Создание микроструктуры, минимального размера зерна	387
11.4.2. Воздействие микроструктурной обработки на кинетику реакции и сравнительная характеристика с крупнозернистыми гидридами	388
11.4.3. Термическая стабильность нанокристаллической структуры	390
11.4.4. Дополнительное воздействие катализаторов на кинетику реакции нано-Mg	392
11.4.5. Факторы, позволяющие выявить наилучшие катализаторы для сорбции водорода в нанокристаллическом магнии	401
11.4.6. Термодинамические свойства магния и магниевых сплавов	408



11.4.7. Выводы.....	410
11.5. Нанокристаллические аланаты.....	410
11.6. Оценка технического потенциала нанокристаллических гидридов.....	416
11.6.1. Использование высокоэнергетического измельчения для получения большого количества наноматериалов.....	417
11.6.2. Сравнение кинетических свойств с требованиями.....	419
11.6.3. Длительная циклическая стабильность.....	419
11.6.4. Сравнение с другими материалами—носителями водорода.....	422
11.6.5. Интеграция гидридов для реализации законченных системных решений.....	423
11.7. Тенденции.....	424
11.8. Ссылки.....	426
<b>Глава 12. Наномонтаж.....</b>	<b>430</b>
12.1. Введение.....	430
12.2. Наноматериалы — нисходящий и восходящий подходы.....	431
12.3. Технологии производства — аддитивный и субтрактивный методы.....	432
12.4. Технологии, основанные на литографии.....	434
12.4.1. Электронолитография.....	434
12.4.2. Литография сфокусированным ионным лучом.....	436
12.4.3. Лазерная литография.....	438
12.4.4. Интерферометрическая литография.....	440
12.4.5. Мягкая литография.....	442
12.5. Технологии осаждения.....	447
12.5.1. Осаждение «золь-гель».....	448
12.5.2. Химическое осаждение из паровой фазы.....	450
12.6. Получение нанопроводов.....	452
12.6.1. Шаблонный синтез.....	454
12.6.2. Электрохимическое пошаговое окрашивание.....	455
12.7. Тенденции.....	458
12.8. Ссылки.....	459
<b>Дополнение 1. Перспективные Инструменты нанотехнологий.....</b>	<b>464</b>
<b>Дополнение 2. Существует ли цвет в наномире? (о возможностях оптических методов за пределом дифракции).....</b>	<b>479</b>

## Оглавление

Обращение ректора МГУ им. М.В. Ломоносова .....	4
Предисловие главного редактора .....	6
Введение .....	9

### А

АМФИФИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (Amphiphilic compounds) .....	29
АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ (АСМ) (Atomic force microscopy, AFM) .....	31

### Б

БИОМАТЕРИАЛЫ (Biomaterials) .....	34
БИОМИМЕТИКА (Biomimetics) .....	36
БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ (Bionanotechnology) .....	39
БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ (Block-copolymers) .....	41

### В

ВИРУСЫ (Viruses) .....	44
ВОЕННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ (Military nanotechnology) .....	46

### Г

ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ (Heterostructures) .....	49
ГИБРИДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ (Hybrid nanomaterials) .....	51
ГРАФЕН (Graphene) .....	53

### Д

ДЕМОН МАКСВЕЛЛА (Maxwell demon) .....	56
ДЕНДРИМЕРЫ (Dendrimers) .....	59
ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ (Dissipative structures) .....	62

### Е

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ (Units of measurement) .....	65
---------------------------------------------------	----

### Ж

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ (Liquid crystals) .....	67
ЖУРНАЛЫ ПО НАНОТЕХНОЛОГИЯМ (Journals on nanotechnology) .....	71

### З

ЗАКОН МУРА (Moore's law) .....	73
ЗАКОН ХОЛЛА-ПЕТЧА. НАНОМЕХАНИКА (Nanomechanics) .....	75
ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЯ (Sol-gel technology) .....	77

### И

ИНВЕСТИЦИИ В НАНОТЕХНОЛОГИИ (Investments in Nanotechnology) .....	79
ИНСТРУМЕНТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ (Nanotechnology instruments) .....	81
ИНТЕРНЕТ-САЙТЫ О НАНОТЕХНОЛОГИЯХ (Nano-Web) .....	83
ИНТЕРНЕТ-ОЛИМПИАДА «НАНОТЕХНОЛОГИИ — ШАГ В БУДУЩЕЕ!» (e-NANOΣ) .....	85



## К

КАНТИЛЕВЕР	
(Cantilever) .....	87
КАТАЛИЗ	
(Catalysis) .....	89
КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ	
(Quantum effects) .....	92
КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ	
(Quantum computers) .....	95
КВАНТОВЫЕ НИТИ	
(Quantum wires) .....	97
КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ	
(Quantum dots) .....	99
КОЛЛОИДНЫЕ ЧАСТИЦЫ	
(colloid Nanoparticles) .....	102
КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ	
(Space elevator) .....	105
КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РФ	
(Critical technologies) .....	107
КТО ЕСТЬ КТО В НАНОНАУКЕ	
(Who is who in nanoscience) .....	110

## Л

ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ	
(Laser Ablation) .....	114

## М

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ	
(Interdisciplinary) .....	116
МЕЗОПОРИСТЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИТА	
(Mesoporous molecular sieves) .....	119
МЕТАМАТЕРИАЛЫ	
(Metamaterials) .....	121
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	
(Microelectromechanical systems) .....	124
МИЦЕЛЛЫ	
(Micelles) .....	128

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (Molecular electronics) .....	130
МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВАЯ ЭПИТАКСИЯ (Molecular Beam Epitaxy) .....	132

## Н

НАНОАКТИУАТОРЫ (Nanactuators) .....	134
НАНОБАТАРЕЙКИ (Nanobattery) .....	137
НАНОБИЗНЕС (Nanobusiness) .....	141
НАНОВЕСЫ (Nanobalance) .....	143
НАНОВОЛОКНА (Nanofibres) .....	145
НАНОЖИДКОСТИ (Nanofluids) .....	147
НАНОИНДЕНТЕР (Nanoindentor) .....	149
НАНОИНДУСТРИЯ (Nanoindustry) .....	151
НАНОКАПСУЛЫ (Nanocapsules) .....	153
НАНОКЕРАМИКА (Nanoceramics) .....	155
НАНОКЛАСТЕРЫ (Nanoclusters) .....	157
НАНОКЛЕЙ (Nanoglue) .....	160
НАНОКОЛЬЦА (Nanorings) .....	162
НАНОКОМПОЗИТЫ (Nanocomposites) .....	164
НАНОКРИСТАЛЛЫ (Nanocrystals) .....	166
НАНОЛЕКАРСТВА (Nanodrugs) .....	168
НАНОЛИТОГРАФИЯ (Nanolithography) .....	170

НАНОМАТЕРИАЛЫ (Nanomaterials) .....	173
НАНОМАШИНЫ (Nanocars) .....	175
НАНОМЕДИЦИНА (Nanomedicine) .....	178
НАНОМЕМБРАНЫ (Nanomembrans) .....	181
НАНОМЕТР (Nanometer) .....	184
НАНОМЕТРОЛОГИЯ (Nanometrology) .....	186
НАНОМОДИФИКАТОРЫ (Nanomodifiers) .....	188
НАНОНИТИ/ВИСКЕРЫ (Nanowires/Whiskers) .....	191
НАНООБРАЗОВАНИЕ (Nanoeeducation) .....	193
НАНОПИНЦЕТ (Nanotweezer) .....	196
НАНОПОЛИРОВАНИЕ (Nanopolishing) .....	198
НАНОПОРОШКИ (Nanopowders) .....	200
НАНОРЕМЕШКИ (Nanobelts) .....	202
НАНОРОБОТЫ (Nanorobots) .....	204
НАНОСЕНСОРЫ (Nanosensors) .....	207
НАНОСТЕКЛО (Nanoglass) .....	209
НАНОСТЕРЖНИ (Nanorods) .....	211
НАНОСТРУКТУРЫ (Nanostructures) .....	214
НАНОСФЕРНАЯ ЛИТОГРАФИЯ (Nanospher Lithography) .....	217
НАНОТЕРМОМЕТР (Nanothermometer) .....	220



НАНОТЕХНОЛОГИИ (Nanotechnology) .....	222
НАНОТОКСИЧНОСТЬ (Nanotoxicity) .....	224
НАНОТРИБОЛОГИЯ (Nanotribology) .....	226
НАНОФАРМАКОЛОГИЯ (Nanopharmacology) .....	227
НАНОФИЗИКА (Nanophysics) .....	229
НАНОХИМИЯ (Nanochemistry) .....	230
НАНОЧАСТИЦЫ (Nanoparticles) .....	231
НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (Nanoelectromechanical systems) .....	233
НАНОЭЛЕКТРОНИКА (Nanoelectronics) .....	236
НАНОЭМУЛЬСИИ (Nanoemulsions) .....	238
НАНОЭНЕРГЕТИКА (Nanoenergetics) .....	240
НЕУГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ (Nanotubes) .....	243

## О

ОДНОСТЕННЫЕ НАНОТРУБКИ (ОСНТ) (Single Wall Nanotubes) .....	245
ОДНОЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНЗИСТОР (Single Electron Transistor) .....	247
ОПТИЧЕСКИЙ ПИНЦЕТ (Optical tweezers) .....	249

## П

ПАТЕНТОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ (Patents In Nanotechnology) .....	251
ПЛАЗМОННЫЙ РЕЗОНАНС (Plasmon Resonance) .....	254

ПЛЕНКИ ЛЕНГМЮРА–БЛОДЖЕТТ (Langmuir–Blodgett films) .....	256
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА (ПАВ) (Surface active compounds) .....	259
ПЬЕЗОДВИГАТЕЛИ (Piezomotors) .....	261

## Р

РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ (Size Effects) .....	263
РОССИЙСКАЯ КОРПОРАЦИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ (ГК «РОСНАНОТЕХ») (Russian Corporation of Nanotechnologies (RCNT)) .....	264
РЫНОК НАНОПРОДУКТОВ (Nanomarket) .....	266

## С

САМООРГАНИЗАЦИЯ (Self-Organization) .....	268
САМООРГАНИЗОВАННЫЕ МАССИВЫ (Superlattices) .....	272
САМОСБОРКА (Self-Assembly) .....	275
САМОСОБИРАЮЩИЕСЯ МОНОСЛОИ (Self-Assembled Monolayers) .....	278
СЕРАЯ СЛИЗЬ (Grey Goo) .....	280
СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (Synchrotron Radiation) .....	282
СИСТЕМЫ НАНОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ (Nanopositioning systems) .....	284
СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ (СЗМ) (Scanning Probe Microscopy) .....	286
СКАНИРУЮЩАЯ ТУННЕЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ (СТМ) (Scanning Tunnel Microscopy) .....	289
СУПЕРПАРАМАГНЕТИЗМ (Superparamagnetism) .....	291
СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ ХИМИЯ (Supramolecular Chemistry) .....	293

<b>Т</b>	
ТЕМПЛАТНЫЙ МЕТОД (Template Technique)	296
ТЕОРИЯ ОБОРВАННЫХ СВЯЗЕЙ (Surface Bond Contraction)	298
ТОНКИЕ ПЛЕНКИ (Thin films)	300
ТРАНЗИСТОР (Transistor)	302
ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ (Tunneling Effect)	305
<b>У</b>	
УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ (Carbon Nanotubes)	307
УМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (Smart Materials)	310
УСТРОЙСТВА ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ (Information Storage Devices)	312
<b>Ф</b>	
ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММА (Federal Target Program)	316
ФИП-НАНОЛИТОГРАФИЯ (FIB Nanolithography)	318
ФОТОНИКА (Photonics)	320
ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ (Photonic Crystals)	322
ФРАКТАЛЫ (Fractals)	324
ФУЛЛЕРЕНЫ (Fullerenes, Bucky-Balls)	327
<b>Х</b>	
ХИРАЛЬНОСТЬ (Chirality)	330

<b>Ц</b>	
ЦЕНТРЫ ПРЕВОСХОДСТВА (Centre of excellence)	332
ЦЕОЛИТЫ (Zeolites)	334
<b>Ч</b>	
ЧТО ЧИТАТЬ О НАНОТЕХНОЛОГИЯХ (To Study Nanotechnology: Books)	336
<b>Ш</b>	
ШРЕДИНГЕРА УРАВНЕНИЕ (Schroedinger Equation)	338
<b>Щ</b>	
ЩЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ (ЗОННАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА) Band gap (Band theory of solids)	340
<b>Э</b>	
ЭКСИТОН (Exciton)	342
ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ (Electron Microscopy)	344
ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС (E-nose)	348
ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК (E-tongue)	351
<b>Ю</b>	
ЮНГА МОДУЛЬ (Young's Modulus)	353
<b>Я</b>	
ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС (Nuclear Magnetic Resonance)	355



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ГЛАВА 1. МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВАЯ ЭПИТАКСИЯ .....	13
§ 1.1. Выращивание структур $Cd_xHg_{1-x}$ с горизонтальным и вертикальным расположением нанослоев методом МЛЭ (Н. Н. Михайлов, Р. Н. Смирнов, С. А. Дворецкий, Ю. Г. Сидоров, В. А. Шеиц, Е. В. Спесивцев, С. В. Рытлицкий, П. А. Бахтин, В. С. Варавин, А. Ф. Кравченко, А. В. Латышев, И. В. Сабина, М. В. Якушев) .....	—
§ 1.2. Получение пленок GaN заданной полярности методом молекулярно-лучевой эпитаксии на $Al_2O_3$ (0001) (В. В. Преображенский, Б. Р. Семягин, М. А. Путько, Т. Х. Хамзин, В. Г. Мансуров, К. С. Журавлев, А. И. Торопов, О. П. Пчеляков) .....	33
§ 1.3. Молекулярно-лучевая эпитаксия GaAs при низких температурах: влияние избыточного мышьяка на структуру и свойства слоев (Л. Г. Лавренченко, М. Д. Вилисова, В. В. Преображенский, В. В. Чалдышев) .....	41
§ 1.4. МЛЭ-системы Ge/Si и структуры с квантовыми точками для элементов наноэлектроники (А. В. Дворецкий, А. И. Никитов, О. П. Пчеляков, С. А. Тийс, А. И. Якимов) .....	67
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ .....	85
§ 2.1. Самоформирующиеся прецизионные 3D наноструктуры для будущих приборов наноэлектроники и наномеханики (В. Я. Принц) .....	—
§ 2.2. Электронно-лучевая литография сфокусированными пучками и ее применение для изготовления квантовых структур и элементов наноэлектроники (Ю. В. Настаушев, Л. В. Литвин, Т. А. Гаврилова, А. Е. Плотицкий, А. Л. Асеев) .....	120
§ 2.3. Создание и исследование наноразмерных структур зондом АСМ (Д. В. Щеглов, А. В. Латышев, А. Л. Асеев) .....	132

ГЛАВА 3. ДИАГНОСТИКА НАНОСТРУКТУР .....	154
§ 3.1. Исследование полупроводниковых гетеросистем современными методами просвечивающей электронной микроскопии (А. К. Гутаковский, А. Л. Асеев) .....	—
§ 3.2. Атомные механизмы кластеризации собственных точечных дефектов в Si (Л. И. Федина, А. Л. Асеев) .....	179
§ 3.3. Сверхвысоковакуумная отражательная электронная микроскопия (А. В. Латышев, С. С. Косолобов, Д. А. Насимов, А. Л. Асеев) .....	202
§ 3.4. Применение сканирующей туннельной микроскопии для исследования наноструктур на поверхностях кремния (Б. З. Ольшанецкий, С. А. Тийс) .....	235
ГЛАВА 4. УСТРОЙСТВА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ .....	252
§ 4.1. ИК-фотоприемники на многослойных гетероструктурах с GaAs/AlGaAs (А. И. Торопов, В. В. Шапкин) .....	—
§ 4.2. Лазеры с вертикальным резонатором на основе $In_{0.2}Ga_{0.8}As$ квантовых ям (В. А. Гайслер, А. И. Торопов) .....	272
§ 4.3. Исследование процессов роста и свойств AlGaIn/GaN-структур для мощных СВЧ-транзисторов на подложках сапфира (К. С. Журавлев, В. Г. Мансуров, В. В. Преображенский, Ю. Г. Галицын, Б. Р. Семягин, В. А. Колосанов, О. А. Шегай, М. А. Ревенко, А. К. Гутаковский, А. В. Латышев, Т. С. Шамирзаев, А. Б. Талочкин, В. И. Ободников, В. Н. Овсянко) .....	298
§ 4.4. Гетероструктуры Ge/Si с квантовыми точками для нанотранзисторов, фототранзисторов и фотодиодов (А. В. Дворецкий, А. И. Якимов) .....	308
§ 4.5. Разработка нанотранзисторов на структурах кремний-на-изоляторе для нового поколения элементной базы микроэлектроники (В. П. Попов, А. Л. Асеев, А. А. Французов, М. А. Ильницкий, Л. Н. Сафронов, О. В. Наумова, Ю. В. Настаушев, Т. А. Гаврилова, В. М. Кудряшов, Л. В. Литвин) .....	337
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	363

## Содержание

Предисловие.....	11
Введение. Нанотехнологии в современных электронных системах.....	13
<b>Глава 1</b>	
<b>Исследование наноразмерных областей методами просвечивающей электронной микроскопии</b>	
<i>Н.И. Боргардт, В.Н. Кукин</i> .....	20
Введение .....	20
1.1. Основы электронной микроскопии .....	21
1.1.1. Устройство электронного микроскопа .....	22
1.1.2. Режимы работы микроскопа .....	23
1.1.3. Образцы для электронно-микроскопических исследований ...	25
1.2. Дифракция электронов и электронно-микроскопический контраст.....	26
1.2.1. Возникновение дифрагированных волн.....	27
1.2.2. Изображения с дифракционным контрастом .....	29
1.2.3. Высокоразрешающие изображения.....	33
1.2.4. Цифровая обработка изображений .....	37
1.3. Электронная микроскопия полупроводниковых гетероструктур .....	38
1.3.1. Методы изображения с дифракционным контрастом .....	40
1.3.2. Применение высокоразрешающих изображений .....	44
1.4. Идентификация структуры аморфного материала вблизи границы с кристаллом .....	49
1.5. Электронная микроскопия углеродных материалов .....	52
1.5.1. Фуллерены и нанотрубки .....	53
1.5.2. Углеситаллы .....	55
Заключение .....	57
Литература .....	58
<b>Глава 2</b>	
<b>Зондовая микроскопия углеродных нанотрубок</b>	
<i>С.Н. Мазуренко, В.К. Неволин</i> .....	61
Введение .....	61
2.1. Углеродные нанотрубки — перспективный материал для наноэлектроники .....	62
2.2. Атомарная структура поверхности углеродных нанотрубок.....	64
2.3. Методы селекции углеродных нанотрубок по размерам, форме, тонкой структуре .....	69
Литература .....	71
<b>Глава 3</b>	
<b>Наноструктуры и элементы наноэлектроники на базе метода локального зондового окисления</b>	
<i>С.А. Гаврилов, В.М. Роцин, В.И. Шевяков</i> .....	73
3.1. Основные методы создания наноструктур .....	73



3.2. Зондовые методы нанолитографии .....	76
3.3. Метод локального зондового окисления .....	78
3.3.1. Физико-химические основы метода локального зондового окисления .....	78
3.3.2. Особенности создания электропроводящих зондов .....	83
3.3.3. Кинетика процесса локального зондового окисления полупроводников и сверхтонких металлических пленок .....	87
3.3.4. Метод формирования диэлектрической пленки, модулированной по толщине .....	92
3.3.5. Примеры использования локального зондового окисления для создания наноструктур и элементов нанoeлектроники .....	93
Заключение .....	96
Литература .....	96

#### Глава 4

##### Нелиитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур

<i>С.А. Гаврилов, М.Г. Путря, В.И. Шемяков</i> .....	99
Введение .....	99
4.1. Литографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур .....	101
4.2. Нелиитографические методы создания периодических структур .....	102
4.2.1. Самоорганизующиеся упорядоченные пористые материалы .....	103
4.2.2. Упорядоченные пористые материалы в технологии фотонных кристаллов .....	105
4.2.3. Упорядоченный пористый анодный оксид алюминия. Получение и применение в нанотехнологии .....	110
4.3. Плазменные методы в технологии поверхностных периодических наноструктур .....	117
4.3.1. Специфика используемого плазменного оборудования .....	119
4.3.2. Технологические проблемы обеспечения высокого аспектного отношения наноструктур .....	121
4.3.3. Анализ особенностей травления диэлектрических слоев субмикронных наноструктур .....	124
4.4. Контроль параметров наноструктурированных поверхностей с помощью атомно-силовой микроскопии .....	127
Заключение .....	130
Литература .....	131

#### Глава 5

##### Самоорганизованные имплантированные наноразмерные структуры в полупроводниках

<i>Н.Н. Герасименко</i> .....	135
Введение .....	135

5.1. Наноструктурированные слои дисилицида кобальта на поверхности кремния, образующиеся при внедрении ионов $\text{Co}^+$ в кремниевую подложку .....	137
5.1.1. Силициды, их свойства и применение .....	138
5.1.2. Особенности дисилицида кобальта .....	139
5.1.3. Методы формирования силицидов .....	140
5.1.4. Тенденции развития интегральных схем .....	140
5.1.5. Особенности процесса ионного синтеза .....	141
5.1.6. Возможности применения ионного синтеза .....	141
5.1.7. Ионный синтез дисилицида кобальта .....	142
5.1.8. Самоорганизация приповерхностного слоя дисилицида кобальта .....	143
5.1.9. Фрактальный анализ самоорганизованных полупроводниковых структур .....	146
5.2. Имплантированные квантовые точки в структуре SiGe .....	153
5.2.1. Свойства самоорганизованных SiGe-наноструктур, полученных методом ионной имплантации .....	154
5.2.2. Механизм вязкого течения аморфного материала при наличии радиационных дефектов .....	161
5.2.3. Энергонезависимая память на нанокристаллах, синтезированных ионными пучками .....	164
Заключение .....	168
Литература .....	169

#### Глава 6

##### Полупроводниковые гетероструктуры и приборы на их основе

<i>А.А. Горбачевич, Б.Г. Налбандов, В.И. Старосельский, С.С. Шмелев</i> .....	172
Введение .....	172
6.1. Основные типы полупроводниковых приборных гетероструктур .....	174
6.2. Методы описания и проектирования приборных гетероструктур .....	188
6.3. Гетероструктурные полевые транзисторы .....	195
6.4. Интегральные микросхемы на гетеропереходных полевых транзисторах .....	206
6.5. Интегральные схемы на основе резонансно-туннельных гетероструктур .....	217
6.6. Особенности технологического маршрута изготовления интегральных схем на основе GaAs и полупроводниковых гетероструктур соединений группы $\text{A}^3\text{B}^5$ .....	226
Литература .....	234

#### Глава 7

##### Элементная база нанoeлектроники на основе зондовых нанотехнологий

<i>В.К. Неволин, Ю.А. Чаплыгин</i> .....	243
Введение .....	243
7.1. Зондовые нанотехнологии: взгляд на развитие .....	243

7.2. Квазиодномерные проводники как активные элементы наноэлектроники.....	246
7.3. Зондовое формирование полимерных микропроводников .....	255
7.4. Методы формирования металлических квазиодномерных микроконтактов на подложках.....	259
7.5. Металлическая наноэлектроника.....	263
7.6. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок. Инверторы.....	267
7.6.1. Метод приготовления проводников на основе пучка углеродных нанотрубок.....	268
7.6.2. Репозиционирование и модифицирование углеродных нанотрубок на подложках.....	271
7.6.3. Исследование характеристик макетов нанотранзистора и инвертора на основе углеродных нанотрубок .....	275
7.7. Углеродная наноэлектроника .....	277
Заключение .....	282
Литература .....	282

## Глава 8

### Фотоника волноводных наноразмерных структур

Ю.Н. Коркишко, В.А. Федоров, С.М. Кострицкий .....	286
Введение .....	286
8.1. Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой.....	287
8.1.1. Типы фотонно-кристаллических волокон.....	288
8.1.2. Технология изготовления и основные свойства оптических волокон с фотонно-кристаллической структурой .....	293
8.2. Формирование фотонной запрещенной зоны с помощью субмикронных брэгговских решеток .....	294
8.2.1. Интегральные волноводные структуры с распределенными брэгговскими отражателями (РБО) .....	296
8.2.2. Волоконные световоды с брэгговскими решетками .....	301
8.2.3. Основные методы изготовления брэгговских решеток в световодах.....	303
8.3. Сенсоры на основе оптических волноводов с фотонно-кристаллической структурой.....	305
8.4. Периодические доменные структуры в сегнетоэлектрических кристаллах.....	307
8.4.1. Методы формирования индуцированных доменов и периодических доменных структур в сегнетоэлектриках ....	310
8.4.1.1. Образование сегнетоэлектрических доменов в электрических полях.....	311
8.4.1.2. Образование ПДС во внутренних полях .....	312
8.4.1.3. Оптически индуцированные домены и периодические доменные структуры.....	312
8.4.2. Распространение и генерация оптических волн в ПДС.....	313
8.4.3. Нелинейные оптические эффекты в ПДС.....	315

8.4.3.1. Генерация оптических гармоник .....	315
8.4.3.2. Параметрическое преобразование.....	317
Литература .....	319

## Глава 9

### Наноккомпозиты и нанокерамики как основа функциональной электроники

В.Б. Яковлев, В.М. Рошин .....	323
Введение .....	323
9.1. Классификация композиционных материалов.....	323
9.2. Керамика в современной технике .....	327
9.3. Нанокристаллические материалы (нанокерамики и наноккомпозиты) .....	331
9.4. Применение наноразмерных сегнетоэлектрических материалов .....	334
9.5. Пористая пьезокерамика.....	338
9.6. Высокочастотные диэлектрические свойства наноразмерных пленок титаната-цирконата свинца.....	343
9.7. Структурно-чувствительные свойства наноккомпозитов .....	346
Литература .....	358

## Глава 10

### Высокотемпературные сверхпроводники в наноэлектронике

Ю.Е. Григорашвили .....	361
Введение .....	361
10.1. Методы создания наноразмерных сверхпроводниковых структур .....	362
10.1.1. Метод получения монокристаллического слоя $Zr(Y)O_2$ на сапфире .....	362
10.1.2. Метод формирования пленок $YBa_2Cu_3O_7$ .....	365
10.1.3. Получение тонких пленок системы $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ .....	367
10.1.4. Формирование топологического рисунка .....	370
10.1.5. Формирование наноразмерной планарной активной зоны .....	371
10.2. Электронные элементы на основе высокотемпературных сверхпроводников .....	373
10.2.1. Датчики магнитного поля .....	373
10.2.2. Датчик ИК-излучения болометрического типа .....	375
10.2.3. Исследование сверхпроводниковых структур в условиях космического полета .....	377
Литература .....	380

## Глава 11

### Микро- и наноэлектромеханические системы

С.П. Тимошенко, Ю.А. Чаплыгин.....	381
11.1. Тенденции развития микро- и наносистемной техники.....	381
11.2. Микро- и наноэлектромеханические приборы и устройства .....	385
11.3. Основные технологические процессы изготовления элементов микромеханики.....	396

11.4. Создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем .....	401
11.4.1. Перспективы развития технологии кремний на изоляторе ....	403
11.4.2. Синтез высокодисперсных материалов для структур КНИ и МЭМС .....	407
11.5. Изготовление многоуровневых структур.....	409
11.6. Формирование чувствительных элементов .....	412
11.7. Микромеханические гироскопы и акселерометры.....	416
Заключение .....	420
Литература.....	420
<b>Глава 12</b>	
<b>Интеграция макро-, микро- и нанотехнологий миокарда</b>	
<i>С.В. Селищев</i> .....	422
Введение .....	422
12.1. Макро-, микро-, нанообъекты сердца.....	425
12.2. Биочипы.....	428
12.3. Биомедицинские наносенсоры и бионаносенсоры .....	430
12.4. Внутрисосудистые нано- и микророботы .....	433
12.5. Системы визуализации.....	435
12.6. Электрокардиостимуляторы/дефибрилляторы .....	436
12.7. Искусственное сердце .....	437
Заключение .....	438
Литература.....	440
Сведения об авторах.....	444



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
<b>Глава 1. СТРУКТУРА НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>	13
1.1. Особенности структуры наноматериалов	13
1.2. Основные разновидности углерода	19
1.2.1. Алмаз, графит и аморфный углерод	20
1.2.2. Карбин	23
1.2.3. Кластеры	25
1.2.4. Фуллерены	29
1.2.5. Углеродные нанотрубки	42
1.3. Неуглеродные наноструктуры	58
<i>Список литературы</i>	59
<b>Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>	61
2.1. Общая классификация методов	61
2.2. Электронные микроскопы	62
2.3. Сканирующая туннельная микроскопия	78
2.4. Сканирующая зондовая микроскопия	88
2.5. Оптические методы	105
<i>Список литературы</i>	108
<b>Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБЪЕМНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>	111
3.1. Основные методы получения консолидированных наноматериалов	111
3.2. Получение порошковых наночастиц	116
3.3. Консолидация объемных конструкционных нанокристаллических материалов	123
3.4. Аморфные сплавы	136
3.4.1. Условия образования аморфной структуры	137
3.4.2. Методы получения аморфных сплавов	139
3.4.3. Свойства аморфных металлических сплавов	143
3.4.4. Применение аморфных кристаллических сплавов	149
3.4.5. Наноструктурирование при кристаллизации аморфных сплавов	153
3.5. Наноструктурирование полимеров	154
3.6. Наноструктурные покрытия	158
3.6.1. Технологии нанесения нанопленок и нанопокровов	158
3.6.2. Строение и свойства наноструктурных покрытий	161
3.6.3. Наноструктурные покрытия для машиностроения	165
3.6.4. Наноструктурные покрытия для медицины	171
3.7. Сверхтвердые покрытия из нанокомпозитов	172
<i>Список литературы</i>	178

<b>Глава 4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОБЪЕМНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ</b>	180
4.1. Особенности свойств объемных наноструктурных материалов	180
4.1.1. Физические свойства	181
4.1.2. Механические свойства	185
4.1.3. Химические свойства	194
4.2. Композиционные наноматериалы	196
4.2.1. Дисперсноупрочненные композиционные материалы	198
4.2.2. Волокнистые композиционные материалы	200
4.2.3. Слоистые композиты	204
4.3. Наноструктурные конструкционные сплавы на основе железа	205
4.4. Титан и его сплавы	216
4.5. Нанокомпозиты на основе легких металлов	219
4.6. Инструментальные материалы	226
4.7. Композиционная нанокерамика	229
4.8. Нанокомпозиты на основе полимеров	233
4.9. Псевдосплавы на основе тугоплавких металлов	250
<i>Список литературы</i>	251
<b>Глава 5. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>	256
5.1. Использование наноматериалов в транспортном машиностроении	259
5.1.1. Авиационная и космическая техника	259
5.1.2. Автомобильная промышленность	262
5.2. Нанокомпозиционные материалы с памятью формы	264
5.2.1. Механизм эффекта памяти формы	264
5.2.2. Технологии наноструктурирования материала с эффектом памяти формы	268
5.2.3. Применение сплавов с эффектом памяти формы	270
5.3. Нанoeлектроника и вычислительная техника	276
5.4. Здравоохранение и защита окружающей среды	279
5.4.1. Медицина и фармакология	279
5.4.2. Использование наноматериалов для защиты окружающей среды	289
5.5. Применение наноматериалов в военной технике	296
5.5.1. Проблемы национальной безопасности	298
5.5.2. Броня и средства защиты	299
5.5.3. Аэронавтика и космические исследования	301
5.6. Наноматериалы для атомной энергетики	303
5.7. Наноматериалы в строительной индустрии	307
<i>Заключение</i>	309
<i>Список литературы</i>	313
<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</b>	316



## Содержание

От редакторов.....	4
1. Основные понятия.....	6
2. Основные физические, химические и биологические явления и понятия в нанотехнологиях.....	15
3. Объекты нанотехнологий.....	36
4. Процессы и методы нанотехнологий.....	45
5. Методы и средства исследования нанообъектов.....	52
6. Метрология, стандартизация, сертификация.....	68
7. Информатика, электроника, квантовые компьютеры.....	85
Указатель терминов на русском языке.....	97
Указатель терминов на английском языке.....	112
Приложение 1. Международные, региональные и зарубежные национальные организации в области стандартизации, метрологии и сертификации, научные общества и организации.....	127
Приложение 2. Список распространенных англоязычных сокращений.....	131
Библиография.....	134

## Содержание

Предисловие автора .....	5
Введение .....	7
<b>Глава 1. Зондовая микроскопия и нанотехнология .....</b>	<b>13</b>
1.1. Зондовые микроскопы для технологических приложений .....	14
1.2. Зондовая микроскопия углеродных нанотрубок .....	23
1.2.1. Атомная структура углеродных нанотрубок .....	26
1.2.2. Методы селекции углеродных нанотрубок по размерам, форме, тонкой структуре .....	34
1.3. Зондовая нанотехнология: взгляд на развитие .....	37
Литература .....	42
<b>Глава 2. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов формирования наноразмерных структур с помощью проводящего зонда .....</b>	<b>44</b>
2.1. Физико-химические эффекты в зондовой нанотехнологии .....	45
2.2. Концепция зондовой нанотехнологии в газовых и жидких средах .....	50
2.3. Контактное формирование нанорельефа поверхности подложек .....	59
2.4. Бесконтактное формирование нанорельефа поверхности подложек .....	62
2.5. Локальная «глубинная» модификация поверхности полупроводниковых подложек .....	63
2.6. Локальная электродинамическая модификация поверхности подложки .....	68
2.7. Межэлектродный массоперенос с нанометровым разрешением .....	72
2.8. Модификация свойств среды в зазоре между проводящим зондом и подложкой .....	76
2.9. Электрохимический массоперенос .....	83

## 4 Содержание

2.10. Массоперенос с помощью газовой среды .....	85
2.11. Локальное анодное окисление .....	87
2.12. Тепловой эффект в устройствах вакуумной микро- и нанoeлектроники .....	90
Литература .....	96

<b>Глава 3. Зондовые нанотехнологии создания элементной базы нанoeлектроники .....</b>	<b>100</b>
3.1. Квазиодномерные проводники как активные элементы нанoeлектроники .....	101
3.2. Зондовое формирование полимерных микропроводников .....	113
3.3. Методы формирования металлических квазиодномерных микропроводников на подложках .....	121
3.4. Создание элементов металлической нанoeлектроники .....	126
3.5. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок. Инверторы. ....	132
3.5.1. Метод приготовления проводников на основе пучка углеродных нанотрубок .....	133
3.5.2. Репозиционирование и модифицирование углеродных нанотрубок на подложках .....	137
3.5.3. Исследование характеристик макетов нанотранзистора и инвертора на основе углеродных нанотрубок .....	142
3.6. Углеродная нанoeлектроника .....	146
3.7. Локальное анодное окисление пиролитического графита .....	152
Литература .....	155
<b>Заключение .....</b>	<b>158</b>

## СОДЕРЖАНИЕ

### 9.4.1. Концепция DTHK .....

<b>Глава 10. СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ .....</b>	<b>286</b>
10.1. Традиционные аналоговые технологии .....	286
10.1.1. Способы воздействия на обрабатываемую поверхность ....	286
10.1.2. Технологические показатели традиционных методов обработки	287
10.2. Нетрадиционные технологии .....	288
10.2.1. Комбинированные методы обработки .....	288
10.2.2. Быстрое прототипированное (БП) .....	298
10.2.3. Нанотехнология в машиностроении .....	318
10.2.4. Совмещенность свойств в технологии .....	370
10.2.5. Прецизионные технологии машиностроения .....	377
10.3. Информационно-технологическое обеспечение машиностроительного производства .....	381
<b>Рекомендуемая литература .....</b>	<b>388</b>

<b>ГЛАВА 8. БИОФИЗИЧЕСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>167</b>
8.1. Измерение сил в одиночных белковых молекулах .....	167
8.2. Измерение сил в одиночном комплексе ДНК с ДНК-полимеразой .....	170
8.3. Молекулярное узнавание .....	172
8.4. Белковые наночипы и белковая инженерия .....	175
8.5. Изучение и манипуляции с растущими кристаллами белков .....	178
8.6. Нанотрубки, молекулярные диоды, самоорганизующиеся нанотранзисторы, трансфекция наночастицами и прочие биофизические нанотехнологии .....	179



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
<b>Глава 1</b>	
<b>БАЗОВЫЕ ДЕФИНИЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ</b>	
<b>ГОРНОЙ ОТРАСЛИ .....</b>	<b>9</b>
1.1. Понятие инноваций и инновационной деятельности, применяемых в горном деле .....	11
1.2. Понятие нанотехнологий и особенности проведения нанотехнологических исследований в горнопереработке.....	20
<b>Глава 2</b>	
<b>ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ</b>	
<b>ИННОВАЦИЙ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ .....</b>	<b>35</b>
2.1. Основы управления и нормативного правового обеспечения инновационной деятельности.....	37
2.2. Международно-правовое обеспечение нанотехнологий .....	63
2.3. Особенности национального регулирования нанотехнологий в Российской Федерации.....	88
2.4. Программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации .....	154
2.5. Система научных центров российской наноиндустрии .....	174
<b>Глава 3</b>	
<b>НАЦИОНАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ</b>	
<b>ГОРНОЙ СФЕРЫ В СТРАНАХ ЕВРАЗИИ И СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ .....</b>	<b>181</b>
3.1. Страны Европейского союза.....	183
3.2. Страны Северной Америки.....	213
3.3. Стандартизация нанотехнологий .....	241
3.4. Нанометрология .....	252
Заключение .....	259
Список рекомендуемой литературы.....	265
278	

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	6
Введение .....	8
Наноструктурные состояния материалов .....	8
Литература .....	23
Глава 1. Самоорганизация и фрактальность	
структур материалов .....	24
1.1. Синергетика и самоорганизация .....	24
1.2. Фрактальные структуры .....	37
1.3. Элементы теории перколяции .....	55
1.4. Упругие свойства фрактальных структур .....	60
1.5. Физические свойства фрактальных структур .....	64
1.6. Фрактальные микроструктуры .....	71
Литература .....	78
Глава 2. Кластеры, наночастицы и дисперсные системы .....	79
Введение .....	79
2.1. Наноразмерные частицы. Дисперсные системы .....	81
2.2. Методы получения наночастиц .....	85
2.3. Формирование наноструктур. Организация	
и самоорганизация .....	95
Литература .....	110
Глава 3. Фуллерены и фуллериты .....	110
Введение .....	110
3.1. Структура $C_{60}$ и других кластеров углерода .....	112
3.2. Методы получения фуллеренов .....	119
3.3. Физические и химические свойства фуллеренов .....	122
3.4. Фуллериты .....	128
3.5. Фуллериды. Интеркалированные	
соединения фуллеренов .....	138
3.6. Эндоздральные и фуллереновые структуры .....	142
3.7. Превращения фуллерита $C_{60}$ при высоких	
давлениях и температурах .....	145
3.8. Механические свойства фуллерита .....	148
и других углеродных материалов .....	148
3.9. Возможные пути использования фуллеренов .....	152
Литература .....	156

Глава 4. Углеродные нанотрубки.....	157
Введение.....	157
4.1. Методы получения нанотрубок.....	158
4.2. Структура нанотрубок.....	161
4.3. Физические свойства углеродных нанотрубок.....	164
4.4. Механические свойства углеродных нанотрубок.....	169
4.5. Неорганические фуллерены и наностержни.....	173
4.6. Практическое использование нанотрубок.....	177
Литература.....	186
Глава 5. Квазикристаллы.....	187
Введение.....	187
5.1. Паркет, мозаики и квазикристаллы.....	190
5.2. Локальная структура квазикристаллов.....	193
5.3. Геометрия квазикристаллических структур.....	198
5.4. Геометрические свойства трехмерных квазикристаллов.....	201
5.5. Стабильность и превращения квазикристаллов.....	210
5.6. Квазикристаллы и беспорядок.....	215
5.7. Физические свойства квазикристаллов.....	219
5.8. Дислокации, фазы и границы зерен.....	228
5.9. Механические свойства квазикристаллов.....	234
5.10. Области применения квазикристаллов.....	236
Литература.....	238
Глава 6. Аморфные металлические сплавы.....	239
Введение.....	239
6.1. Природа стеклообразного состояния и его трансформации.....	240
6.2. Методы получения аморфных металлических сплавов.....	246
6.3. Структура аморфных твердых тел.....	257
6.4. Модели аморфной структуры.....	263
6.5. Дефекты аморфной структуры.....	268
6.6. Структурная релаксация.....	272
6.7. Упругие и неупругие свойства аморфных сплавов.....	278
6.8. Кроссовер-эффект упругих модулей.....	285
6.9. Механическое поведение аморфных металлических сплавов.....	291
6.10. Магнитные свойства аморфных сплавов.....	303

6.11. $\Delta E$ -эффект в аморфных сплавах.....	311
6.12. Применение аморфных металлических сплавов.....	317
6.13. Объемно-аморфизирующие металлические сплавы.....	320
Литература.....	323
Глава 7. Нанокристаллические материалы.....	324
Введение.....	324
7.1. Структура наноматериалов.....	326
7.2. Методы получения наноматериалов.....	332
7.3. Физические свойства нанокристаллических материалов.....	350
7.4. Механические свойства нанокристаллических материалов.....	359
7.5. Наноструктурные ферромагнетики.....	380
7.6. Применение наноматериалов как функциональных материалов.....	390
Литература.....	397
Заключение.....	398
Словарь терминов.....	402
Список используемых обозначений.....	418
Предметный указатель.....	419





Введение .....	5
<b>Часть 1. Получение наноразмерных структур .....</b>	<b>8</b>
Получение наночастиц золота .....	8
Получение наночастиц серебра .....	9
Формы наночастиц золота .....	13
Формы наночастиц серебра .....	15
Абсорбционная спектроскопия как метод исследования наночастиц .....	16
Оптические свойства растворов, содержащих наночастицы. Поверхностный плазмонный резонанс и комбинационное рассеяние .....	17
Физико-химические основы процесса получения оксида алюминия методом анодного окисления .....	23
Контрольные вопросы .....	28
Работа 1.1. Формирование и оптические свойства наночастиц золота .....	30
Работа 1.2. Формирование, оптические свойства и морфология наночастиц серебра .....	33
Работа 1.3. Получение двумерных наноструктур оксида алюминия методом анодного окисления .....	35
<b>Часть 2. Исследование наноструктур методами сканирующей зондовой микроскопии .....</b>	<b>39</b>
Общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов .....	39
Основы метода атомно-силовой микроскопии .....	43
Контрольные вопросы .....	46
Работа 2.1. Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии .....	47
<b>Часть 3. Оптические методы исследования наноструктур .....</b>	<b>56</b>
Оптическая спектроскопия .....	56
Фотолюминесценция и наноструктуры .....	59

Магнитооптические явления в наноструктурах .....	66
Оптические плазмонные метаматериалы .....	73
Контрольные вопросы .....	79
Работа 3.1. Исследование оптических свойств наноструктур и фотонных кристаллов .....	81
Работа 3.2. Изучение процессов фотолюминесценции в наноразмерных полупроводниковых структурах оксида цинка .....	84
Работа 3.3. Изучение линейного магнитооптического эффекта Керра в наноструктурированных ферромагнитных материалах .....	88
Работа 3.4. Наблюдение аномального двулучепреломления и дихроизма в анизотропных плазмонных метаматериалах .....	91
<b>Часть 4. Манипулирование нанообъектами и управление наноперемещениями .....</b>	<b>95</b>
Физические принципы оптического манипулирования одиночными микро- и наночастицами .....	95
Пьезоэффект и наноперемещения .....	101
Контрольные вопросы .....	103
Работа 4.1. Манипулирование одиночными наночастицами в оптическом пинцете .....	104
Работа 4.2. Измерение управляемого перемещения эталона в нанометровом диапазоне .....	110
<b>Часть 5. Обработка структур и изготовление устройств с применением нанотехнологий .....</b>	<b>117</b>
Электронный перенос в природе .....	117
Принцип действия солнечных элементов .....	117
Механизм процесса плазмохимического травления .....	120
Контрольные вопросы .....	122
Работа 5.1. Сборка солнечного элемента нового типа с использованием нанотехнологий .....	123
Работа 5.2. СВЧ плазмохимическое травление поверхности подложек и наноразмерных пленок .....	128
Литература .....	143

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Москвичев В.В., Скрипкин И.Е.</i> Методика и показатели оценки и эффективности системы управления промышленной безопасностью.....	3
<i>Галеев И.К.</i> Медицинские аспекты безопасности шахтерского труда....	9
<i>Коноплев В.А., Медведев А.В.</i> Экономико-математическая модель трансграничных взаимодействий социально-экономических структур в нанотехнологиях.....	14

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кочетков В.Н., Петрик П.Т., Афанасьев Ю.О., Зиновьев В.В., Медяник В.С.</i> Гравитационно – рециркуляционная вихревая топка для промышленной теплоэнергетики.....	3
<i>Кочетков В.Н., Степанов С.Г., Майоров А.Е., Зиновьев В.В.</i> Экологически чистая энерготехнологическая переработка кузнечных углей.....	7
<i>Зыков Е.Г.</i> Очистка дымовых газов от золы в производственных котельных угледобывающих предприятий томский политехнический университет.....	20
<i>Слепченко Г.Б., Пикула Н.П., Десятов В.А., Дядюрин С.В.</i> Инновационная технология химико-аналитического поточного контроля производственных и технологических вод в энергетическом комплексе томский политехнический университет.....	30
<i>Сечин А.И., Бошенятов Б.В., Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А., Задорожная Т.А.</i> К вопросу разработки комплексных мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности шахтных технологических процессов.....	35
<i>Ерофеев Г. С., Завгородний В. И., Островляничик В. Ю., Кубарев В. А.</i> Повышение экономической эффективности и безопасности шахтных подъемных установок Кузбасса.....	41
<i>Кулаков С.М., Чабан С.В., Чичерин И.В., Бондарь Н.Ф.</i> Система измерения продольного профиля рельсов для оценки их прямолинейности в соответствии с евронормами.....	47
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В.</i> Новое поколение железных сплавов.....	51
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Полях О.А.</i> Нанотехнология плазмометаллургического производства карбида кремния для композиционных материалов.....	55
<i>Козлов А.П., Барнаков Ч.Н.</i> Синтез углеродного материала, содержащего наночастицы металлов.....	206
<i>Коробецкий И.А., Е. Нордлинг</i> Получение наноуглерода из угля.....	214
<i>Нугуманов Р.Ф.</i> Инновации – как составная часть развития современного металлургического предприятия.....	220



# Содержание

Предисловие автора .....	12
Предисловие редактора русского перевода .....	14
<b>Глава 1.</b>	
<b>Введение .....</b>	<b>17</b>
<b>Глава 2.</b>	
<b>Введение в физику твердого тела .....</b>	<b>23</b>
2.1. Атомарная структура .....	23
2.1.1. Размерные эффекты .....	23
2.1.2. Кристаллические решетки .....	23
2.1.3. Наночастицы с гранецентрированной решеткой .....	26
2.1.4. Тетраэдрические полупроводниковые структуры .....	29
2.1.5. Колебания решетки .....	32
2.2. Структуры энергетических зон .....	34
2.2.1. Диэлектрики, полупроводники и проводники .....	34
2.2.2. Обратное пространство и решетка .....	36
2.2.3. Энергетические зоны и щели в полупроводниках .....	37
2.2.4. Эффективные массы .....	41
2.2.5. Поверхности Ферми .....	41
2.3. Локализованные частицы и квазичастицы .....	43
2.3.1. Доноры, акцепторы и глубоколежащие уровни .....	43
2.3.2. Подвижность .....	43
2.3.3. Экситоны .....	44
<b>Глава 3.</b>	
<b>Методы измерений .....</b>	<b>47</b>
3.1. Введение .....	47
3.2. Структура .....	47
3.2.1. Атомные структуры .....	47
3.2.2. Кристаллография .....	49
3.2.3. Определение размеров частиц .....	52
3.2.4. Структура поверхности .....	56
3.3. Микроскопия .....	57
3.3.1. Просвечивающая электронная микроскопия .....	57

3.3.2. Ионно-полевая микроскопия .....	61
3.3.3. Сканирующая микроскопия .....	61
3.4. Спектроскопия .....	66
3.4.1. Инфракрасная и рамановская спектроскопия .....	66
3.4.2. Фотоэмиссионная и рентгеновская спектроскопия .....	70
3.4.3. Магнитный резонанс .....	75

## Глава 4.

<b>Свойства индивидуальных наночастиц .....</b>	<b>79</b>
4.1. Введение .....	79
4.2. Металлические нанокластеры .....	80
4.2.1. Магические числа .....	80
4.2.2. Теоретическое моделирование наночастиц .....	82
4.2.3. Геометрическая структура .....	83
4.2.4. Электронная структура .....	86
4.2.5. Реакционная способность .....	88
4.2.6. Флуктуации .....	90
4.2.7. Магнитные кластеры .....	90
4.2.8. От макро- к нано- .....	91
4.3. Полупроводниковые наночастицы .....	93
4.3.1. Оптические свойства .....	93
4.3.2. Фотофрагментация .....	94
4.3.3. Кулоновский взрыв .....	95
4.4. Кластеры атомов редких газов и молекулярные кластеры .....	96
4.4.1. Кластеры атомов инертных газов .....	96
4.4.2. Сверхтекучие кластеры .....	97
4.4.3. Молекулярные кластеры .....	98
4.5. Методы синтеза .....	99
4.5.1. Высокочастотный индукционный нагрев .....	99
4.5.2. Химические методы .....	100
4.5.3. Термоллиз .....	100
4.5.4. Импульсные лазерные методы .....	102
4.6. Заключение .....	102

## Глава 5.

<b>Углеродные наноструктуры .....</b>	<b>103</b>
5.1. Введение .....	103
5.2. Углеродные молекулы .....	103
5.2.1. Природа углеродной связи .....	103



из нанокластеров .....	143
6.2.3. Упорядоченные структуры наночастиц в цеолитах .....	144
6.2.4. Кристаллы из металлических наночастиц .....	145
6.2.5. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях .....	146
6.2.6. Наноструктурированные кристаллы для фотоники .....	147
<b>Глава 7.</b>	
<b>Ферромагнетизм в наноструктурах .....</b>	<b>153</b>
7.1. Основы ферромагнетизма .....	153
7.2. Влияние наноструктурирования объемного материала на магнитные свойства .....	157
7.3. Динамика наномагнитов .....	159
7.4. Магнитные частицы в нанопорах .....	161
7.5. Нанокластеры ферромагнетиков .....	163
7.6. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление .....	165
7.7. Ферромагнитные жидкости .....	168
<b>Глава 8.</b>	
<b>Оптическая и колебательная спектроскопия .....</b>	<b>175</b>
8.1. Введение .....	175
8.2. Инфракрасный диапазон .....	176
8.2.1. Спектроскопия полупроводников, экситоны .....	176
8.2.2. Инфракрасная спектроскопия поверхности .....	178
8.2.3. Рамановская спектроскопия .....	181
8.2.4. Бриллюэновская спектроскопия .....	187
8.3. Люминесценция .....	189
8.3.1. Фотолюминесценция .....	189
8.3.2. Поверхностные состояния .....	192
8.3.3. Термолюминесценция .....	195
8.4. Наноструктуры в цеолитовых ячейках .....	196
<b>Глава 9.</b>	
<b>Квантовые ямы, проволоки и точки .....</b>	<b>199</b>
9.1. Введение .....	199
9.2. Приготовление квантовых наноструктур .....	200
9.3. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов .....	203
9.3.1. Временные эффекты .....	203

5.2.2. Новые углеродные структуры .....	104
5.3. Углеродные кластеры .....	105
5.3.1. Малые углеродные кластеры .....	105
5.3.2. Открытие фуллерена $C_{60}$ .....	106
5.3.3. Структура фуллерена $C_{60}$ и его кристаллов .....	108
5.3.4. $C_{60}$ , легированный щелочными металлами .....	109
5.3.5. Сверхпроводимость в $C_{60}$ .....	110
5.3.6. Фуллерены с числом атомов, большим или меньшим 60 .....	111
5.3.7. Неуглеродные шарообразные молекулы .....	111
5.4. Углеродные нанотрубки .....	112
5.4.1. Методы получения .....	112
5.4.2. Структура .....	114
5.4.3. Электрические свойства .....	115
5.4.4. Колебательные свойства .....	117
5.4.5. Механические свойства .....	118
5.5. Применение углеродных нанотрубок .....	120
5.5.1. Полевая эмиссия и экранирование .....	120
5.5.2. Компьютеры .....	121
5.5.3. Топливные элементы .....	122
5.5.4. Химические сенсоры .....	124
5.5.5. Катализаторы .....	124
5.5.6. Механическое упрочнение .....	125

## Глава 6.

<b>Объемные наноструктурированные материалы .....</b>	<b>127</b>
6.1. Разупорядоченные твердотельные структуры .....	127
6.1.1. Методы синтеза .....	127
6.1.2. Механизмы разрушения традиционных поликристаллических материалов .....	130
6.1.3. Механические свойства .....	131
6.1.4. Наноструктурированные многослойные материалы .....	133
6.1.5. Электрические свойства .....	134
6.1.6. Другие свойства .....	137
6.1.7. Металлические нанокластеры в оптических стеклах .....	138
6.1.8. Пористый кремний .....	140
6.2. Наноструктурированные кристаллы .....	142
6.2.1. Природные нанокристаллы .....	142
6.2.2. Теоретическое предсказание кристаллических решеток .....	

9.3.2. Размерность объекта и электроны проводимости . . . .	206
9.3.3. Ферми-газ и плотность состояний . . . . .	206
9.3.4. Потенциальные ямы . . . . .	209
9.3.5. Частичная локализация . . . . .	212
9.3.6. Свойства, зависящие от плотности состояний . . . . .	213
9.4. Экситоны . . . . .	214
9.5. Одноэлектронное тунелирование . . . . .	215
9.6. Приложения . . . . .	218
9.6.1. Инфракрасные детекторы . . . . .	218
9.6.2. Лазеры на квантовых точках . . . . .	220
9.7. Сверхпроводимость . . . . .	222
<b>Глава 10.</b>	
<b>Самосборка и катализ . . . . .</b>	<b>225</b>
10.1. Самосборка . . . . .	225
10.1.1. Процесс самосборки . . . . .	225
10.1.2. Полупроводниковые островковые структуры . . . . .	225
10.1.3. Монослои . . . . .	229
10.2. Катализ . . . . .	231
10.2.1. Природа катализа . . . . .	231
10.2.2. Площадь поверхности наночастиц . . . . .	232
10.2.3. Пористые материалы . . . . .	235
10.2.4. Столбчатые глины . . . . .	238
10.2.5. Коллоиды . . . . .	242
<b>Глава 11.</b>	
<b>Органические соединения и полимеры . . . . .</b>	<b>245</b>
11.1. Введение . . . . .	245
11.2. Образование и описание полимеров . . . . .	246
11.2.1. Полимеризация . . . . .	246
11.2.2. Размеры полимерных структур . . . . .	248
11.3. Нанокристаллы . . . . .	249
11.3.1. Ароматические соединения . . . . .	249
11.3.2. Полидиацетиленовые соединения . . . . .	252
11.4. Полимеры . . . . .	254
11.4.1. Проводящие полимеры . . . . .	254
11.4.2. Блок-сополимеры . . . . .	256
11.5. Супрамолекулярные структуры . . . . .	257
11.5.1. Структуры с переходными металлами . . . . .	257

11.5.2. Дендритоподобные молекулы . . . . .	261
11.5.3. Супрамолекулярные дендримеры . . . . .	264
11.5.4. Мицеллы . . . . .	266

## Глава 12.

<b>Биологические материалы . . . . .</b>	<b>271</b>
12.1. Введение . . . . .	271
12.2. Биологические строительные блоки . . . . .	272
12.2.1. Размеры строительных блоков и наноструктуры . . . .	272
12.2.2. Полипептидные нанопроволоки и белковые наночастицы . . . . .	272
12.3. Нуклеиновые кислоты . . . . .	278
12.3.1. ДНК как сдублированная нанопроволока . . . . .	278
12.3.2. Генетический код и синтез белка . . . . .	282
12.4. Биологические наноструктуры . . . . .	284
12.4.1. Примеры белков . . . . .	284
12.4.2. Мицеллы и везикулы . . . . .	285
12.4.3. Многослойные пленки . . . . .	288

## Глава 13.

<b>Наномашины и наноприборы . . . . .</b>	<b>291</b>
13.1. Микроэлектромеханические системы . . . . .	291
13.2. Нанoeлектромеханические системы . . . . .	294
13.2.1. Изготовление . . . . .	294
13.2.2. Наномашины и наноприборы . . . . .	297
13.3. Молекулярные и супрамолекулярные триггеры . . . . .	303

<b>Приложение А . . . . .</b>	<b>311</b>
Формулы для определения размерности объекта . . . . .	311
А.1. Введение . . . . .	311
А.2. Делокализация . . . . .	311
А.3. Частичная локализация . . . . .	311

<b>Приложение В . . . . .</b>	<b>313</b>
Таблицы свойств полупроводниковых материалов . . . . .	313

<b>Дополнение 1. Индустрия наносистем. Системный подход . . . . .</b>	<b>319</b>
-----------------------------------------------------------------------	------------

<b>Дополнение 2. Применение углеродных нанотрубок в технологии полупроводниковых приборов . . . . .</b>	<b>328</b>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------



- Закон Гесса** 282  
**Золь** 86  
**Золь-гельная технология** 101  
**Изоморфизм** 37  
    изоморфные смеси 37  
**Изотермы трехкомпонентных диаграмм** 165  
**Изотропность** 81  
**Карбиды** 28  
**Кизельгур** 91  
**Килхоанит** 152  
**Кластеры** 42, 44  
**Клиноэнстатит** 157, 262  
    протоэнстатит 157  
    энстатит 157  
**Коагуляция** 88  
**Коалесценции пор** 240  
**Коллоиды**  
    лиофильные 86  
    лиофобные 86  
**Компонент**  
    покрываемый 219  
    покрывающий 219  
**Коннода** 133, 178  
**Концентрационный тетраэдр** 189  
    треугольник 160  
**Координационное число** 10  
**Кордиерит** 21, 186, 262  
**Корунд** 127, 154  
**Краевой угол смачивания** 66  
**Красители**  
    коллоидные 90  
    молекулярные 90  
**Кремнезем**  
    волокнистый 125  
    кварц 25, 122  
    китит 125  
    коэсит 125  
    кристобалит 25, 122  
    стишовит 126  
    тридимит 25, 122  
**Кривые**  
    инконгруэнтные 170  
    конгруэнтные 170  
    ликвидуса 132, 145  
    солидуса 145  
    Таммана 273  
**Кристаллизация** 262  
**Кристаллиты** 76  
**Кристаллогидраты** 214  
**Ликвация** 72, 141  
**Магнезит** 128  
    каустический 128  
**Мелилиты** 185  
**Мервинит** 187  
**Методы построения диаграмм состояния**  
    динамический 201  
    статический 203  
**Минерализаторы** 60  
**Мицелла** 87  
**Монтичеллит** 20, 187  
**Муллит** 54, 154, 217, 263  
**Мусковит** 19, 23, 24  
**Нанотехнология** 99  
    нанокompозиты 99  
    нанокристаллы 99  
    наноматериалы 99  
    нанотрубки 100  
    наночастицы 99  
    фуллерены 100  
**Независимые**  
    компоненты 107  
    параметры системы 104  
**Нитриды** 28  
**Образование центров кристаллизации** 263  
    гетерогенное 267  
    гомогенное (спонтанное) 264  
    энергия активации гомогенного зародышеобразования 266  
**Окорманит** 21, 187  
**Оксиды**  
    модификаторы 78  
    стеклообразователи 78  
**Оливины** 20, 37  
**Опалы** 91  
**Опока** 91  
**Пептизация** 88  
**Первичной кристаллизации**  
    поле 162  
    пространство 191  
**Периклаз** 128  
**Перовскит** 11  
**Пироксены** 23, 158  
**Плавление** 256  
    инконгруэнтное 138  
    конгруэнтное 136

# Оглавление

Предисловие .....	7
Глава 1. Введение .....	11
1.1. Основные углеродные материалы .....	11
1.2. Общая классификация углеродных материалов ..	21
Глава 2. Фуллерены .....	26
2.1. Краткая история открытия .....	26
2.2. Строение, номенклатура .....	27
2.3. Физические и термодинамические свойства .....	32
2.4. Химические свойства .....	40
2.5. Методы получения фуллеренов .....	69
2.6. Фуллерены в природе .....	80
2.7. Потенциальные области применения фуллеренов ..	82
2.8. Фуллереноподобные вещества .....	87
Глава 3. Углеродные нанотрубки .....	91
3.1. История открытия и этапы развития .....	91
3.2. Строение простейших нанотрубок и наноконусов ..	95
3.3. Морфологические формы нитевидных углеродных наночастиц .....	107
3.4. Физические свойства углеродных нанотрубок ....	119
Глава 4. Химия углеродных нанотрубок .....	130
4.1. Раскрытие и разрезание нанотрубок .....	131
4.2. Функциализация .....	141
4.3. Реакции кислотных функциональных групп .....	146
4.4. Фторирование .....	151
4.5. Другие способы ковалентной функционализации ...	154
4.6. Солюбилизация .....	158
4.7. Нековалентное связывание .....	162
4.8. Заполнение внутренних полостей .....	170
4.9. Замещение атомов углерода .....	180
4.10. Образование соединений «гость-хозяин» .....	182
4.11. Сорбция газов и паров .....	186

4.12. Декорирование углеродных нанотрубок .....	190
4.13. Самосборка и позиционная сборка нанотрубок ...	195
4.14. Полимеризация .....	207
4.15. Присоединение биомолекул .....	208
Глава 5. Методы получения углеродных нанотрубок и нановолокон .....	214
5.1. Возгонка-десублимация графита .....	214
5.2. Пиролиз углеводородов .....	228
5.3. Другие методы получения нанотрубок .....	284
5.4. Очистка углеродных нанотрубок .....	290
5.5. Получение композитов с углеродными нанотрубками .....	295
5.6. Получение нанобумаги и макроволокон из углеродных нанотрубок и с углеродными нанотрубками .....	300
Глава 6. Области применения углеродных нанотрубок и нановолокон .....	314
6.1. Композиты .....	314
6.2. Функциональные устройства .....	318
6.3. Другие области применения нанотрубок .....	333
Глава 7. Нанотрубки неорганических веществ .....	337
Глава 8. Методы характеристики углеродных нанотрубок ..	351
Заключение .....	356
Цитированная литература .....	359
Обзоры по углеродным нанотрубкам (2001–2005 гг.) .....	370



# Оглавление

Введение .....	3
1. Классификация дисперсных систем .....	7
1.1. Классификация по агрегатному состоянию .....	8
1.2. Классификация по размерам .....	10
1.3. Классификация по мерности .....	16
2. Способы получения наноразмерных материалов .....	18
2.1. Методы механического диспергирования .....	20
2.2. Методы физического диспергирования .....	37
2.3. Методы химического диспергирования .....	53
2.4. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов .....	73
2.5. Способы консолидации наноразмерных порошков ..	77
3. Физико-химия получения наноструктурных материалов .....	88
3.1. Формирование наноматериалов по механизму «снизу-вверх» .....	88
3.2. Формирование наноматериалов по механизму «сверху-вниз» .....	102
4. Размерные зависимости свойств наноматериалов ...	106
4.1. Особенности термодинамических свойств наносред .....	108
4.2. Структура наноразмерных материалов .....	122
4.3. Характеристики дисперсности наноматериалов .....	136
4.4. Поверхность, границы, морфология наноматериалов .....	153

4.5. Электрические свойства наноматериалов .....	167
4.6. Ферромагнитные характеристики наноматериалов .....	187
4.7. Особенности тепловых свойств наноматериалов ...	196
4.8. Оптические характеристики наносред .....	209
4.9. Диффузия в наноматериалах .....	228
4.10. Химические свойства наноматериалов .....	245
4.11. Механические характеристики дисперсных сред .....	263
5. Методы изучения свойств наноматериалов .....	284
5.1. Исследование размерных характеристик .....	284
5.2. Определение элементного состава .....	302
5.3. Определение фазового состава .....	313
5.4. Методы изучения поверхности .....	317
6. Использование наноматериалов в практической деятельности .....	328
6.1. Применение наноматериалов в промышленности .....	328
6.2. Использование наноматериалов в биологии и медицине .....	339
Заключение .....	343
Приложение. Пассивация, хранение и транспортировка наноматериалов .....	345
П.1. Способы защиты наноматериалов от внешних воздействий .....	346
П.2. Некоторые аспекты транспортировки .....	352
Литература .....	363

## Содержание

Введение .....	3
<b>1. Показатели качества воды. Требования к качеству воды.....</b>	<b>7</b>
1.1. Физико-химические показатели качества воды .....	7
1.2. Требования к качеству воды.....	11
1.2.1. Питьевая вода .....	11
1.2.2. Вода для промышленности и энергетики .....	15
<b>2. Примеси в природной воде. Методы удаления загрязнений из раствора. Основные процессы и их аппаратное оформление .....</b>	<b>21</b>
2.1. Физические методы очистки .....	22
2.1.1. Отстаивание .....	26
2.1.2. Фильтрация через зернистые загрузки .....	26
2.1.3. Фильтрация через пористую перегородку .....	40
2.1.4. Обработка воды ультрафиолетом .....	80
2.2. Химические методы очистки.....	84
2.2.1. Процессы окисления .....	84
2.2.2. Осадительные методы .....	92
2.3. Физико-химические методы очистки .....	97
2.3.1. Сорбционные процессы.....	97
2.3.2. Электродиализ .....	138
2.4. Сравнение методов очистки воды.....	142
<b>3. Способы водоподготовки. Очистка воды для промышленного и бытового использования. Основные понятия и принципиальная схема.....</b>	<b>143</b>
3.1. Методы извлечения и разделения частиц.....	144
3.2. Очистка от взвешенных частиц.....	145
3.3. Обезжелезивание .....	145
3.4. Умягчение воды.....	151
3.4.1. Реагентное умягчение .....	151
3.4.2. Ионный обмен .....	153
3.4.3. Наночистка .....	163
3.4.4. Электрохимическая обработка.....	163
3.5. Обессоливание .....	167
3.5.1. Термические методы обработки воды .....	168
3.5.2. Обессоливание воды ионным обменом.....	172
3.5.3. Обратный осмос и нанофильтрация .....	178
3.5.4. Сравнение методов обессоливания .....	186
3.6. Кондиционирование воды .....	190
3.6.1. Стабилизационная обработка воды для тепловых процессов .....	190
3.6.2. Кондиционирование питьевой воды.....	195
3.6.3. Кондиционирование воды для пищевой промышленности.....	196
3.7. Обеззараживание питьевой воды .....	197

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И МЕТРОЛОГИЯ

Бугров С.В., Жмудь В.А., Семибаламут В.М. Однополосная стабилизация лазерного излучения .....	73
Гололобов В.И., Жмудь В.А., Лисовой Р.А. Обоснование структурной схемы и расчет измерителя микроперемещений плотин .....	79
Гололобов В.И., Жмудь В.А., Ляпидевский А.И. Простой метод измерений микроприращений расстояний для мониторинга состояния плотин .....	85
Гончаренко А.М., Жмудь В.А. Прецизионный высокочастотный фазометр для измерений нановибраций .....	92
Сысоев Д.О., Жмудь В.А., Шкредов Ю.А. Бесконтактный измеритель скорости лифта на основе датчика ускорения.....	99

## ДИСКУССИИ

Бугров С.В., Жмудь В.А. Моделирование нелинейных движений в динамических задачах физики .....	104
Воевода А.А., Жмудь А.М., Жмудь В.А., Калинин М.В. Что такое наноэлектроника.....	110

## Оглавление

Предисловие .....	6	4.2. Серебро и другие металлы .....	89
Введение .....	8	Стабилизация полимерами .....	90
<b>Глава 1. Общая характеристика проблемы</b>		Стабилизация мезогенами .....	101
<b>и некоторые определения</b> .....	11	4.3. Реакции редкоземельных элементов .....	107
<b>Глава 2. Получение и стабилизация наночастиц</b> .....	21	4.4. Активность, селективность и размерные	
2.1. Химическое восстановление .....	23	эффекты .....	115
2.2. Реакции в мицеллах, эмульсиях и дендримерах .....	28	Реакции при сверхнизких температурах .....	115
2.3. Фото- и радиационно-химическое		Реакции частиц серебра разного размера	
восстановление .....	34	и формы .....	128
2.4. Криохимический синтез .....	40	4.5. Теоретические методы исследования .....	133
2.5. Физические методы .....	53	Общие замечания .....	133
2.6. Частицы разной формы и пленки .....	56	Моделирование структуры смешанных	
<b>Глава 3. Методы исследования</b> .....	62	частиц металлов .....	136
3.1. Электронная микроскопия .....	63	Моделирование свойств соединений	
Просвечивающая электронная микроскопия .....	63	внедрения .....	140
Сканирующая электронная микроскопия .....	64	Моделирование структурных элементов	
3.2. Зондовая микроскопия .....	65	металлоорганических соконденсатов .....	144
3.3. Дифракционные методы .....	69	<b>Глава 5. Химические нанореакторы</b> .....	151
Рентгенография .....	69	5.1. Общие замечания .....	151
Дифракция нейтронов .....	70	5.2. Щелочные и щелочно-земельные элементы .....	157
3.4. Другие методы .....	71	5.3. Переходные металлы III–VII групп	
Расширенная адсорбция рентгеновских лучей ...	71	периодической системы .....	168
Рентгенофлуоресцентная спектроскопия .....	71	5.4. Элементы VIII группы периодической системы .....	182
Масс-спектрометрия .....	71	5.5. Подгруппы меди и цинка .....	196
Фотоэлектронная спектроскопия .....	72	5.6. Подгруппа бора и мышьяка .....	204
3.5. Сравнительные возможности методов		5.7. Ансамбли с участием наночастиц .....	208
анализа элементов .....	72	<b>Глава 6. Группа углерода</b> .....	216
<b>Глава 4. Криохимия атомов и наночастиц металлов</b> .....	76	6.1. Маленькие частицы углерода и кремния .....	216
4.1. Реакции частиц магния .....	76	6.2. Фуллерены .....	217
Реакции Гриньяра .....	77	6.3. Углеродные нанотрубки .....	220
Активация малых молекул .....	81	Заполнение внутренних полостей .....	222
Взрывные реакции .....	84	Прививка функциональных групп.	
		Трубки как матрицы .....	223
		Внедрение атомов и молекул в многослойные	
		трубки .....	225
		<b>Глава 7. Размерные эффекты в нанохимии</b> .....	227
		7.1. Модели реакций атомов металлов в матрицах .....	227



7.2. Температура плавления.....	230
7.3. Оптические спектры.....	234
7.4. Кинетические особенности химических процессов на поверхности наночастиц.....	243
7.5. О некоторых термодинамических особенностях наночастиц .....	246
<b>Глава 8. Наночастицы в науке и технике.....</b>	<b>251</b>
8.1. Катализ на наночастицах.....	251
8.2. Реакции оксидов.....	264
8.3. Полупроводники и сенсоры .....	268
8.4. Фотохимия и нанопотоника.....	281
8.5. Углеродные нанотрубки.....	284
8.6. Наночастицы в биологии и медицине .....	289
Заключение .....	298
Список литературы .....	307

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Основные области применения порошков легких металлов.....	5
1.1. Использование магниевых порошков .....	7
1.2. Основные области применения порошкообразных алюминиевых ма- териалов .....	10
1.3. Применение титановых порошков .....	16
1.4. Инновационные перспективы использования наноструктурированных металлов и их соединений .....	22
2. Производство порошков легких металлов.....	24
2.1. Получение магниевых порошков .....	27
2.2. Производство дисперсных порошков алюминия .....	36
2.3. Основные методы получения порошков титана .....	49
2.4. Карбидизированные порошки титана .....	65
2.5. Синтез наноструктурированных тугоплавких соединений титана и металлокарбонов .....	68
2.6. Методы нанометаллургии в процессах производства порошков лег- ких металлов .....	76
3. Основы техники безопасности при производстве и применении порошков легких металлов.....	83
Рекомендательный библиографический список .....	93
Приложение.....	94

15.4. Естественные композиты .....	311
------------------------------------	-----

<b>Глава 16. Наноструктурные материалы .....</b>	<b>314</b>
--------------------------------------------------	------------

16.1. Особенности свойств наноматериалов .....	314
------------------------------------------------	-----

16.2. Получение наноматериалов (нанотехнологии) .....	315
-------------------------------------------------------	-----

16.3. Наноструктурные элементы .....	316
--------------------------------------	-----

16.4. Некоторые наноматериалы и их применение .....	318
-----------------------------------------------------	-----

16.5. Некоторые наноустройства (конструкции из наноматериалов) ....	320
---------------------------------------------------------------------	-----

Приложение .....	322
------------------	-----

Список литературы .....	330
-------------------------	-----

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ (НК) КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	9
1.1. Характерные признаки методов НК.....	9
1.2. Визуально-измерительный контроль (ВИК).....	12
1.3. Радиационный метод.....	14
1.4. Магнитные методы контроля.....	19
1.5. Капиллярные методы.....	21
1.6. Вихретоковые методы.....	25
1.7. Безобразцовые методы испытаний.....	27
1.8. Экономические аспекты неразрушающего контроля.....	31
1.9. Контрольные вопросы.....	33
2. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ.....	35
2.1. Теоретические основы акустических методов контроля.....	35
2.2. Активные акустические методы НК.....	41
2.2.1. Методы прохождения и отражения волн, комбинированные методы.....	42
2.2.2. Спектрально-акустический метод.....	46
2.2.3. Исследование поврежденного сварного соединения с применением спектрально-акустического метода.....	48
2.3. Пассивные акустические методы НК.....	59
2.3.1. Акустико-эмиссионный метод.....	59
2.3.2. Вибрационный и шумо-диагностический методы.....	68
2.4. Контрольные вопросы.....	68
3. МАКРО- И МИКРОАНАЛИЗ, ФРАКТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	70
3.1. Макроскопические исследования (макроанализ).....	71
3.2. Микроскопические исследования (микроанализ).....	72
3.3. Анализатор изображений для световой микроскопии.....	75
3.4. Фрактографические исследования.....	78
3.5. Контрольные вопросы.....	96
4. ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	98
4.1. Просвечивающая электронная и растровая микроскопия.....	98
4.2. Микроскопы для нанотехнологий.....	102
4.3. Контрольные вопросы.....	105
5. МЕТОДЫ РАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ.....	107
5.1. Статические механические испытания.....	107
5.2. Циклические испытания.....	116
5.3. Динамические испытания.....	119
5.4. Испытания сварных соединений.....	126
5.4.1. Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое растяжение.....	129
5.4.2. Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб.....	131
5.4.3. Испытание металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения.....	132
5.4.4. Измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла.....	133
5.4.5. Испытание сварного соединения на статическое растяжение.....	135
5.4.6. Испытание сварного соединения на статический изгиб.....	136
5.5. Контрольные вопросы.....	138
6. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ, МЕТОДОВ СОЕДИНЕНИЯ ЗАГОТОВОК, ИХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ.....	140
6.1. Наноматериалы, нанотехнологии.....	141
6.2. Методы контроля и исследования.....	145
6.3. Контрольные вопросы.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Выписка из «Инструкции по визуальному и измерительному контролю».....	158
П.1. Общие требования к проведению ВИК.....	158
П.2. Квалификация персонала.....	160
П.3. Требования к средствам визуального и измерительного контроля.....	160
П.4. Подготовка мест производства работ.....	161
П.5. Подготовка к контролю.....	162
П.6. Порядок ВИК на стадии входного контроля.....	163
П.7. Порядок выполнения ВИК, подготовки и сборки деталей под сварку.....	164
П.8. Порядок выполнения ВИК сварных соединений (наплавки).....	170



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Перспективные физические технологии</b> .....	5
В.М. Андреев. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии .....	7
Д.И. Биленко. Физические основы нанотехнологии .....	12
Б.А. Калинин. Спиновые волны в ферромагнитных пленках .....	20
Ю.А. Быковский. Оптическая обработка информации .....	27
Ф.Ф. Комаров. Формирование треков в кристаллах высокоэнергетическими ионными пучками .....	32
Ю.А. Быковский. Лазерно-плазменный источник ионов и ядер .....	36
Ю.Г. Мартыненко. О проблемах левитации тел в силовых полях .....	41
Г.А. Бордовский. Новые полупроводниковые материалы с позиционной неупорядоченностью кристаллической решетки .....	45
В.Ф. Писаренко. Новые лазерные материалы .....	51
В.В. Шевченко. Физические основы современных линий передачи сигналов .....	56
С.А. Новиков. О взрыве и о том, какая от него польза .....	62
А.И. Козлов. Радиолокация. Физические основы и проблемы .....	67
Ю.П. Гайдуков. Физические основы и методы получения магнитного поля .....	74
<b>Химическая технология</b> .....	81
М.С. Сафонов. Химическая технология .....	83
В.Ф. Швец. Современный химический завод .....	90
В.Ф. Швец. Промышленный катализ .....	97
Э.А. Караханов. Что такое нефтехимия .....	106
С.А. Вольфсон. Пластики: производство и потребление .....	114
А.Л. Максимов. Перспективные направления переработки метана .....	120
Б.Н. Кузнецов. Каталитические превращения синтез-газа .....	124
Б.Н. Кузнецов. Новые подходы в химической переработке ископаемых углей .....	129
Б.Н. Кузнецов. Каталитическая химия растительной биомассы .....	136
Л.С. Гальбрайт. Целлюлоза и ее производные .....	143
Л.С. Гальбрайт. Химические волокна .....	150
М.М. Шульц. Силикаты в природе и практике человека .....	157
В.В. Болдырев. Химия твердого тела — основа новых технологических процессов .....	164
В.В. Болдырев. Управление химическими реакциями в твердой фазе .....	168
Ю.Д. Третьяков. Низкотемпературные процессы в химии и технологии .....	174
Р.А. Черкасов. Химия и продовольственная проблема .....	181
<b>Биотехнология</b> .....	185
В.Н. Сойфер. Международный проект “Геном человека” .....	187
И.Б. Лещинская. Введение в биотехнологию .....	202
С.Н. Щелкунов. Введение в генетическую инженерию .....	209
Ю.Ю. Глеба. Биотехнология растений .....	219
Д.Г. Кнорре. Что современная химия и биохимия умеют делать с нуклеиновыми кислотами .....	225
О.О. Фаворова. Лечение генами — фантастика или реальность? .....	230
С.Д. Варфоломеев. Химическая и инженерная энзимология .....	237
Т.Т. Березов. Применение ферментов в медицине .....	244
С.Д. Варфоломеев. Биосенсоры .....	248
В.В. Зорин. Биотехнология и органический синтез .....	253

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Строение конденсированных сред</b> .....	5
Л.Б. Зуев. Кристаллы: универсальность и исключительность .....	7
Ю.Х. Векилов. Межатомное взаимодействие и электронная структура твердых тел .....	16
В.Г. Вакс. Упорядочивающиеся сплавы: структура, фазовые переходы, прочность .....	22
Ю.Х. Векилов. Квазикристаллы .....	31
Н.А. Конева. Дислокационные структуры в металлах и сплавах .....	36
Л.Н. Рашкович. Рост кристаллов в растворе .....	44
В.П. Романов. Фазовые переходы и флуктуации в жидких кристаллах .....	52
В.А. Лихачев. Эффект памяти формы .....	58
В.Ф. Мастеров. Физические свойства фуллеренов .....	66
Е.С. Ицкевич. Физика высоких давлений .....	73
 <b>Сверхпроводимость и сверхтекучесть</b> .....	81
Н.Б. Брандт. Сверхпроводимость .....	83
В.П. Минеев. Сверхтекучесть .....	94
В.Л. Введенский. Эффект Джозефсона и его применение .....	102
 <b>Физика полупроводников</b> .....	113
В.И. Ильин. Электрические поля в полупроводниках и полупроводниковых структурах .....	115
В.Е. Челноков. Физические принципы действия некоторых полупроводниковых приборов с р—п-переходами .....	123
В.М. Андреев. Гетеропереходы в полупроводниках .....	127
Н.Б. Брандт. Новый класс фоточувствительных полупроводников .....	133
В.Я. Демидовский. Квантоворазмерные эффекты .....	140
А.Я. Шик. Двумерные электронные системы .....	147
А.Я. Шик. Квантовые нити .....	154
Д.Л. Федоров. Кристаллическая и зонная структура полупроводниковых соединений $A^2B^6$ ..	160
 <b>Физика магнитных явлений</b> .....	167
К.П. Белов. Магнетизм — универсальное свойство материи .....	169
С.А. Никитин. Магнитные структуры в кристаллических и аморфных веществах .....	177
Р.З. Левитин. Магнетизм коллективизированных электронов .....	185
В.Д. Бучельников. Физика магнитных доменов .....	191
Г.С. Кандаурова. Природа магнитного гистерезиса .....	197
С.А. Никитин. Магнитокалорический эффект в парамагнетиках и магнитоупорядоченных веществах .....	203
А.Г. Гуревич. Спиновые волны .....	211
И.К. Камиллов. Магнитные фазовые переходы и критические явления .....	219
Ю.Г. Рудой. Спиновые стекла .....	226
А.К. Звездин. Магнитные наноструктуры .....	233
 <b>Физика сегнетоэлектричества</b> .....	241
Б.А. Струков. Сегнетоэлектричество в кристаллах: природа явления, фазовые переходы ...	243
С.А. Гриднев. Диэлектрики с метастабильной электрической поляризацией .....	251
С.А. Пикин. Сегнетоэлектрические жидкие кристаллы .....	256
С.А. Гриднев. Сегнетоэлектрические кристаллы с несоизмерными фазами .....	263
Б.А. Струков. Фазовые переходы в сегнетоэлектрических кристаллах с дефектами .....	269
Ю.А. Гороховатский. Электретный эффект и его применение .....	275



## Содержание

Предисловие к изданию на русском языке .....	13
Предисловие Neal Lane.....	15
Предисловие James R. Heath .....	17
Предисловие ко второму изданию .....	19
Список сокращений .....	22
<b>1. Введение в нанотехнологию .....</b>	<b>32</b>
1.1. Нанотехнология — определения и примеры.....	32
1.2. Предпосылки и финансирование нанотехнологий .....	35
1.3. Уроки природы (бионика) .....	38
1.4. Применение нанотехнологии в различных областях.....	40
1.5. Проблемы в области нанотехнологий .....	41
1.6. Подготовка кадров для нанотехнологии .....	43
1.7. Построение справочника .....	43
<b>Литература .....</b>	<b>44</b>
 <b>Часть А. Наноструктуры, Микро/Нанотехнологии и материалы</b>	
<b>2. Синтез и приложения наноматериалов:</b>	
<b>молекулярные приборы .....</b>	<b>47</b>
2.1. Химические подходы в технологии наноструктурированных материалов .....	48
2.1.1. От молекулярных строительных блоков к наноструктурам .....	48
2.1.2. Наноразмерные биомолекулы: нуклеиновые кислоты и белки .....	48
2.1.3. Химические синтезы искусственных наноструктур .....	50
2.1.4. От структурного регулирования к планированию свойств и функций ...	53
2.2. Молекулярные ключи и логические элементы .....	55
2.2.1. От макроскопического к молекулярному коммутатору .....	55
2.2.2. Цифровая обработка и молекулярные логические элементы .....	56
2.2.3. Молекулярные логические элементы И, НЕ и ИЛИ.....	56
2.2.4. Комбинационные логические схемы на молекулярном уровне .....	58
2.2.5. Межмолекулярная связь .....	60
2.3. Твердотельные приборы .....	65
2.3.1. От функциональных растворов к твердым материалам, чувстви- тельным к световым и электрическим воздействиям .....	66
2.3.2. Пленки Ленгмюра–Блоджетта .....	67
2.3.3. Самосборочные моностои .....	72
2.3.4. Наноскопы и нанопроволоки .....	77
2.4. Заключение и перспективы развития .....	82
<b>Литература .....</b>	<b>84</b>
<b>3. Углеродные нанотрубки. Введение .....</b>	<b>88</b>
3.1. Структура углеродных нанотрубок .....	89
3.1.1. Однослойные нанотрубки .....	89

3.1.2. Многослойные нанотрубки	93
3.2. Синтез углеродных нанотрубок	96
3.2.1. Методы синтеза углеродных нанотрубок из твердого углерода	96
3.2.2. Методы синтеза углеродных нанотрубок из газообразного углеродного источника	108
3.2.3. Прочие методы	116
3.3. Механизмы роста углеродных трубок	120
3.3.1. Рост без катализатора	120
3.3.2. Каталитический рост	120
3.4. Свойства углеродных нанотрубок	125
3.4.1. Краткий обзор	126
3.4.2. Общие свойства SWNTs	126
3.4.3. Адсорбционные свойства SWNT	126
3.4.4. Электрические и оптические свойства	130
3.4.5. Механические свойства	132
3.4.6. Химическая активность	132
3.5. Нанообъекты на основе углеродных нанотрубок	134
3.5.1. Гетеронанотрубки	134
3.5.2. Гибридные углеродные нанотрубки	134
3.5.3. Функционизированные нанотрубки	139
3.6. Применение углеродных нанотрубок	142
3.6.1. Текущие приложения	142
3.6.2. Ожидаемые применения нанотрубок, связанные с их абсорбционными свойствами	148
3.6.3. Ожидаемые приложения нанотрубок, связанные с композитными системами	155
3.7. Заключительные замечания	166
<b>Литература</b>	166
<b>4. Нанопроволоки</b>	192
4.1. Синтез	194
4.1.1. Синтез с использованием опорного трафарета	194
4.1.2. Метод VLS синтеза нанопроволок	200
4.1.3. Другие методы синтеза	203
4.1.4. Иерархические структуры и сверхструктуры нанопроволок	205
4.2. Структурные и физические свойства нанопроволок	208
4.2.1. Структурные свойства	208
4.2.2. Механические свойства	214
4.2.3. Свойства явлений переноса	216
4.2.4. Оптические свойства	231
4.3. Приложения	237
4.3.1. Приложения в электронике	237
4.3.2. Термоэлектрические приложения	239
4.3.3. Оптические приложения	242
4.3.4. Химические и биохимические датчики	245
4.3.5. Магнитные приложения	247
4.4. Заключительные замечания	248
<b>Литература</b>	248

<b>5. Методы синтеза массивов наностержней и нанопроволок с использованием опорного трафарета</b>	261
5.1. Метод, основанный на опорном трафарете	262
5.2. Электрохимическое осаждение	263
5.2.1. Металлы	265
5.2.2. Полупроводники	267
5.2.3. Проводящие полимеры	267
5.2.4. Оксиды	268
5.3. Электрофорезное осаждение	269
5.3.1. Поликристаллические оксиды	271
5.3.2. Монокристаллические массивы наностержней из оксидов, полученные изменением показателя pH	273
5.3.3. Массивы монокристаллических наностержней из оксидов, полученные агрегированием на основе гомогенной эпитаксии	274
5.3.4. Нанопроволоки и нанотрубки фуллеренов и метафуллеренов	275
5.4. Заполнение пор трафаретной пластины	276
5.4.1. Заполнение коллоидной дисперсией (золе)	276
5.4.2. Заполнение расплавом и раствором	277
5.4.3. Центрифугирование	278
5.5. Синтез путем реакции с опорными элементами	278
5.6. Резюме и заключительные комментарии	279
<b>Литература</b>	280
<b>6. Формирование трехмерных наноструктур ионно-лучевым химическим осаждением из газовой фазы</b>	286
6.1. Формирование трехмерных наноструктур	287
6.1.1. Технология формирования	287
6.1.2. Системы генерации трехмерного изображения	289
6.2. Наноэлектромеханика	291
6.2.1. Измерение модуля Юнга	291
6.2.2. Формирование подвешенных нанопроволок	293
6.2.3. Наномеханический переключатель	297
6.2.4. Электростатический наноактюатор	298
6.3. Нанооптика: бриллиантово-синий цвет квазиструктуры чешуек крыла бабочки Morpho	300
6.4. Нанобиология	302
6.4.1. Наноинжектор	302
6.4.2. Наноманипулятор	303
6.4.3. Наносачок	305
6.5. Заключение	306
<b>Литература</b>	306
<b>7. Введение в микро- и нанообработку</b>	308
7.1. Основные методы микрообработки	308
7.1.1. Литография	309
7.1.2. Осаждение тонких пленок и легирование	311
7.1.3. Травление пленок и подложки	318
7.1.4. Срастание подложек	324



7.2. Технологии производства МЭМС .....	326
7.2.1. Объемная микромеханика .....	326
7.2.2. Поверхностная микромеханика .....	331
7.2.3. Технологии микромеханических структур с высоким аспектным отношением .....	337
7.3. Технологии нанообработки .....	342
7.3.1. Электроопто-лучевые и наноимпринтные методы в нанообработке .....	344
7.3.2. Сканирующие зондовые методы .....	348
7.3.3. Самосборка и формирование наноструктур с использованием трафарета .....	351
7.4. Выводы и заключение .....	357
<b>Литература</b> .....	358
<b>8. Наноимпринтная литография</b> .....	365
8.1. Новые методы нанолитографии .....	367
8.1.1. Литографии следующих поколений .....	368
8.1.2. Формование резиста для литографии .....	369
8.2. Наноимпринтный процесс .....	372
8.2.1. Пределы технологии формования .....	373
8.2.2. Деформация тонких пленок под давлением .....	375
8.2.3. Однородность остаточной толщины пленки .....	378
8.2.4. Выемка штампа .....	381
8.2.5. Дублирование резиста .....	382
8.2.6. Перенос рисунка .....	383
8.2.7. Методы «чередования и сочетания» .....	386
8.2.8. Многослойные и многоуровневые системы .....	387
8.2.9. Реверсивный импринт .....	389
8.3. Инструментальные средства и материалы технологии наноимпринта .....	389
8.3.1. Резисты для наноимпринтной литографии .....	390
8.3.2. Материалы штампа .....	391
8.3.3. Изготовление штампа .....	392
8.3.4. Антиадгезионные покрытия .....	394
8.3.5. Установки для импринтной литографии .....	395
8.4. Приложения .....	399
8.4.1. Различные приложения наноимпринтного процесса .....	399
8.4.2. Формирование рисунка в магнитном материале для накопителей на жестких дисках .....	400
8.4.3. Решетка на основе металлических полосок с шагом меньше длины световой волны .....	403
8.4.4. Полимерная оптика .....	405
8.4.5. Приложения в биологии .....	407
8.5. Заключение и перспективы развития .....	408
<b>Литература</b> .....	410
<b>9. Методы печатания в технологиях микро- и нанобработки</b> .....	425
9.1. Штампы с высоким разрешением .....	426
9.2. Микроконтактное печатание .....	429

9.3. Нанотрансферное печатание .....	432
9.4. Применения .....	437
9.4.1. Нетрадиционные электронные системы .....	438
9.4.2. Лазеры и полноволновые структуры .....	444
9.5. Заключение .....	447
<b>Литература</b> .....	447
<b>10. Материаловедческие аспекты микро- и наноэлектромеханических систем</b> .....	451
10.1. Кремний .....	451
10.1.1. Монокристаллический кремний .....	451
10.1.2. Поликристаллический и аморфный кремний .....	454
10.1.3. Пористый кремний .....	458
10.1.4. Диоксид кремния .....	459
10.1.5. Нитрид кремния .....	461
10.2. Материалы на основе германия .....	462
10.2.1. Поликристаллический германий .....	462
10.2.2. Поликристаллический SiGe .....	462
10.3. Металлы .....	463
10.4. Полупроводники для экстремальных сред .....	466
10.4.1. Карбид кремния .....	466
10.4.2. Алмаз .....	470
10.5. GaAs, InP и другие III-V материалы .....	474
10.6. Сегнетоэлектрики .....	476
10.7. Полимерные материалы .....	477
10.7.1. Полиимид .....	477
10.7.2. SU-8 .....	478
10.7.3. Парижен .....	479
10.7.4. Жидкокристаллический полимер .....	479
10.8. Направления дальнейшего развития .....	480
<b>Литература</b> .....	480
<b>11. Сложность и эмергенция как принципы разработки децентрализованных наноразмерных систем</b> .....	487
11.1. Определения .....	487
11.1.1. Правила .....	489
11.1.2. Принципы разработки .....	491
11.2. Примеры и эмпирический анализ децентрализованных систем в природе .....	498
11.2.1. Термитник как макроскопическая децентрализованная система .....	498
11.2.2. Микоминьеты как децентрализованные системы .....	499
11.2.3. Сложная адаптация на примере поведения клетки .....	501
11.2.4. Фолдинг белка как эмергентный процесс .....	502
11.3. Проектирование эмергентного поведения в наноразмерных системах: примеры синтеза децентрализованных наноструктур .....	502
11.4. Заключение .....	512
<b>Литература</b> .....	513
<b>12. Наноструктурные термоэлектрические материалы</b> .....	516
12.1. Перспективы термоэлектричества .....	518



12.1.1. Приложения для охлаждения.....	518
12.1.2. Электрические генераторы.....	520
12.2. Теория термоэлектрических явлений переноса в низкоразмерных твердых телах.....	521
12.2.1. Плотность состояний и зонная энергетическая структура в трехмерных, двумерных, одномерных системах и системах нулевой размерности.....	523
12.2.2. Электронный перенос в приближении времени релаксации.....	525
12.2.3. Внезонная проводимость: слабая локализация.....	530
12.2.4. Фононные явления переноса в низкоразмерных системах.....	533
12.3. Двумерные термоэлектрические явления переноса в квантовых ямах.....	536
12.4. Одномерные термоэлектрические явления переноса в квантовых проволоках.....	537
12.4.1. Висмутовые нанопроволоки.....	537
12.4.2. Углеродные нанотрубки.....	542
12.5. Системы квазиузеловой размерности.....	547
12.5.1. Сверхрешетки на основе квантовых точек из солей свинца.....	547
12.5.2. $\text{AgPb}_m\text{SbTe}_{2+m}$ .....	549
12.5.3. Наноразмерные включения в объемном материале.....	549
12.6. Заключение.....	551
<b>Литература.....</b>	<b>551</b>
<b>13. Нано- и микроструктурированные полупроводниковые материалы для микроэлектроники.....</b>	<b>559</b>
13.1. Классы полупроводниковых наноматериалов и их подготовка.....	561
13.1.1. Наночастицы.....	561
13.1.2. Нанопроволоки/наноленты.....	562
13.1.3. Однослойные углеродные нанотрубки.....	570
13.2. Формирование тонких пленок упорядоченных наноструктур на пластинчатых подложках.....	572
13.2.1. Сборка нанопроволок/нанолент из суспензии с использованием внешних сил.....	572
13.2.2. «Сухое переносное печатание» массивов проволок и лент с пластин.....	574
13.2.3. Переносное печатание тонких пленок однослойных углеродных нанотрубок.....	578
13.3. Приложения для микроэлектроники.....	579
13.3.1. TFT структуры с «затвором внизу».....	579
13.3.2. MESFET структуры с «затвором сверху» на основе массивов GaAs проволок.....	584
13.3.3. Полупроводниковые схемы на комплементарных транзисторах металл-оксид-полупроводник (МОП).....	586
13.4. Перспективы.....	587
<b>Литература.....</b>	<b>588</b>

## Часть Б. МЭМС/НЭМС и БиомЭМС/НЭМС

<b>14. Наноиндустриальные устройства нового поколения для гибридизации ДНК и самоформирования наносборок.....</b>	<b>593</b>
14.1. Электронная микроматричная технология.....	597
14.1.1. КМОП микроматрица с 400 тестовыми ячейками.....	598
14.1.2. Описание технологии электрического поля.....	600
14.1.3. Разработка электронной гибридизации и анализа ДНК.....	602
14.1.4. Применения генотипирования ДНК.....	603
14.1.5. Амплификация замещением цепочек ДНК, реализованная на чипе.....	604
14.1.6. Клеточное разделение на микроэлектронной матрице.....	604
14.2. Наноиндустриальные процессы под воздействием электрического поля.....	605
14.2.1. Наноиндустриальная самосборка под воздействием электрического поля.....	605
14.3. Заключение.....	608
<b>Литература.....</b>	<b>608</b>
<b>15. МЭМС/НЭМС устройства и их применение.....</b>	<b>612</b>
15.1. МЭМС-устройства и их применение.....	614
15.1.1. Датчики давления.....	614
15.1.2. Инерциальный датчик.....	619
15.1.3. Оптические МЭМС.....	626
15.1.4. Радиочастотные (РЧ) МЭМС.....	633
15.2. Наноэлектромеханические системы (НЭМС).....	642
15.2.1. Материалы и технологии изготовления.....	643
15.2.2. Методы создания актюаторов.....	646
15.2.3. Области применения.....	646
15.3. Текущие проблемы и будущие тенденции.....	647
<b>Литература.....</b>	<b>648</b>
<b>16. Наномеханические матричные кантилеверные датчики.....</b>	<b>653</b>
16.1. Техника.....	653
16.1.1. Кантилеверы.....	654
16.1.2. История кантилеверных датчиков.....	654
16.2. Матричные кантилеверные датчики.....	655
16.2.1. Концепция.....	655
16.2.2. Напряжения сжатия и растяжения.....	656
16.2.3. Недостатки отдельных микрокантилеверов.....	656
16.2.4. Контрольные и чувствительные кантилеверы в матрице.....	656
16.3. Режимы работы.....	657
16.3.1. Статический режим.....	658
16.3.2. Динамический режим.....	659
16.3.3. Режим нагрева.....	661
16.3.4. Другие режимы работы.....	662
16.4. Микрообработка.....	663
16.5. Измерительный комплекс.....	663
16.5.1. Измерения в газообразных или жидких средах.....	663
16.5.2. Принципы считывания.....	665
16.6. Технологии функционализации.....	668



16.6.1. Общая стратегия.....	668
16.6.2. Методы функционализации.....	668
16.7. Приложения.....	670
16.8. Выводы и перспективы.....	671
<b>Литература</b> .....	671
<b>17. Терапевтические наноустройства</b> .....	676
17.1. Определения и перечень рассматриваемых задач.....	676
17.1.1. Вопросы конструирования.....	679
17.1.2. Полезность и диапазон применения терапевтических наноустройств.....	685
17.2. Методы синтеза: сравнение нисходящего и восходящего подходов при создании компонентов нанотерапевтических устройств.....	685
17.2.1. Производство нанопористых мембран с помощью методов микроизготовления: метод нисходящего направления.....	685
17.2.2. Синтез поли(амидо)аминовых (ПАМАМ) дендримеров: метод восходящего направления.....	687
17.2.3. Пределы разграничения методов нисходящего и восходящего направления при работе с наноматериалами и наноустройствами.....	688
17.3. Технологические и биологические возможности.....	689
17.3.1. Методы сборки.....	689
17.3.2. Целевая доставка препарата: установление границ нанотерапевтического действия в трехмерном пространстве.....	700
17.3.3. Эффект срабатывания: пространственно-временные рамки действия нанотерапии.....	703
17.3.4. Возможности детектирования.....	709
17.3.5. Получение изображений с помощью нанотерапевтических контрастных веществ.....	713
17.4. Области применения нанотерапевтических устройств.....	717
17.4.1. Использование нанотерапевтических устройств в онкологии.....	717
17.4.2. Применение нанотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях.....	722
17.4.3. Нанотерапия и кост-специфические (специфические по отношению к носителю) реакции иммунной системы.....	724
17.5. Заключительные замечания: барьеры практического осуществления и перспективы использования.....	730
17.5.1. Сложность биологии.....	730
17.5.2. Распространение информации о биологических системах.....	731
17.5.3. Культурные различия между техническими специалистами и биологами.....	733
<b>Литература</b> .....	734
<b>18. G-протеинсвязанные рецепторы: общее представление и биосенсорные технологии</b> .....	743
18.1. GPCR: белковый цикл активации.....	746
18.2. Подготовка рецепторов, сопряженных с G-белком, и G-белков.....	748
18.3. Измерение GPCR-отклика.....	748
18.3.1. Проточная цитометрия.....	749
18.3.2. Резонанс поверхностного плазмона.....	749
18.3.3. Плазмонная волновая резонансная спектроскопия.....	750

18.3.4. Атомно-силовая микроскопия.....	750
18.3.5. Флуоресценция полного внутреннего отражения (TIRF).....	751
18.4. Биодатчики на основе рецепторов, сопряженных с G-белком.....	752
18.4.1. Создание биодатчиков — 1-й уровень: соединение лиганда.....	752
18.4.2. Создание биодатчиков — 2-й уровень: конформационные изменения в рецепторах, сопряженных с G-белком.....	756
18.4.3. Создание биодатчиков — 3-й уровень: соединение GTP.....	757
18.4.4. Создание биодатчиков — 4-й уровень: диссоциация рецепторов, сопряженных с G-белком, и G-белка.....	758
18.5. Белковая инженерия в GPCR-измерениях.....	760
18.5.1. Понятие.....	760
18.5.2. Рецепторы, сопряженные с G-белком: гибридные белки Ga.....	761
18.5.3. Технология перспективных белков Ga.....	762
18.5.4. Системы экспрессии для рекомбинантных рецепторов, сопряженных с G-белком, и G-белков.....	763
18.5.5. Флуоресцентные белки.....	763
18.6. Будущее рецепторов, сопряженных с G-белком, в нанобиотехнологиях.....	763
<b>Литература</b> .....	765
<b>19. Микрофлюидные устройства и их применение в лаборатории-на-чипе</b> .....	769
19.1. Материалы для микрофлюидных приборов и технологии микро- и нанопроизводства.....	770
19.1.1. Кремний.....	770
19.1.2. Стекло.....	771
19.1.3. Полимер.....	772
19.2. Активные микрофлюидные приборы.....	774
19.2.1. Микроклапаны.....	775
19.2.2. Микронасосы.....	778
19.3. Интеллектуальные пассивные микрофлюидные приборы.....	781
19.3.1. Пассивные микроклапаны.....	782
19.3.2. Пассивные микромиксеры.....	785
19.3.3. Пассивные микродозаторы.....	787
19.3.4. Микрофлюидный мультиплексор в сочетании с пассивным микродозатором.....	788
19.3.5. Пассивные микронасосы.....	790
19.3.6. Преимущества и недостатки пассивного микрофлюидного подхода.....	791
19.4. Лаборатория-на-чипе для биохимического анализа.....	792
19.4.1. Биохимическая система обнаружения на основе магнитных микро- и нанопор.....	793
19.4.2. Разовая интеллектуальная лаборатория-на-чипе для анализа крови.....	797
<b>Литература</b> .....	800
<b>20. Микроструйные платформы на принципе действия центрифуги</b> .....	805
20.1. Зачем использовать центробежную силу для струйной прокачки жидкостей.....	806



20.2. Контакт-диск или струйная микроцентрифуга .....	810
20.2.1. Принцип действия .....	810
20.2.2. Реализация на компакт-диске некоторых простых струйных функций .....	811
20.3. Применение CD-технологии .....	816
20.3.1. Двухточечная калибровка оптической системы детектирования .....	816
20.3.2. CD-платформа для твердофазного иммуноферментного анализа (ELISA, ИФА) .....	817
20.3.3. Многократный параллельный анализ .....	818
20.3.4. Клеточный анализ на CD-платформе .....	819
20.3.5. Интегрированная система приготовления аналита на основе нуклеиновой кислоты и ПЦР-амплификации .....	823
20.3.6. Приготовление образца для анализа с помощью масс-спектрометрии MALDI (ионизация лазерной десорбцией с использованием матрицы) .....	824
20.3.7. Модифицированные CD/DVD приводы (коммерческого типа) лабораторно-измерительного применения .....	826
20.3.8. Гибридизация микроматрицы для молекулярной диагностики инфекционных заболеваний .....	829
20.3.9. Клеточный лизис на CD .....	831
20.3.10. Автоматизация культивации штамма <i>C. Elegans</i> для изучения экспрессии генов с помощью CD-платформы .....	833
20.4. Заключение .....	834
Литература .....	836
21. Микро- и нанокапли в микрофлюидных устройствах .....	839
21.1. Активные или программируемые капельные системы .....	840
21.1.1. Капельные микрофлюидные устройства, построенные на электро-смачивании диэлектрика (ЭСД) .....	840
21.1.2. Принцип действия ЭСД .....	842
21.1.3. Смешивание реагентов при ЭСД .....	842
21.1.4. Усовершенствования ЭСД .....	843
21.1.5. Капельные манипуляции посредством диэлектрофореза (ДЭФ) .....	845
21.2. Пассивные технологии капельного контроля .....	845
21.2.1. Образование моно-дисперсных капель .....	847
21.2.2. Устройства на основе микрокапиллярных матриц .....	848
21.2.3. Двойные эмульсии .....	853
21.2.4. «Спутниковые» капли .....	855
21.3. Области применения .....	856
21.3.1. Капли как средство для инкамуляции и создания микрошаблонов .....	856
21.3.2. Капли как химические процессоры в реальном времени и комбинаторные синтезаторы .....	857
21.3.3. Капли как микромеханические компоненты .....	858
21.4. Заключение .....	858
Литература .....	858



# Содержание

## Часть В. Сканирующая зондовая микроскопия

### 22. Сканирующая зондовая микроскопия:

принцип действия, аппаратура, зонды .....	15
22.1. Сканирующий туннельный микроскоп .....	17
22.1.1. Конструкция СТМ Биннига и др. ....	19
22.1.2. Коммерческие образцы СТМ .....	20
22.1.3. Конструкция зонда СТМ .....	23
22.2. Атомная силовая микроскопия .....	24
22.2.1. Конструкция АСМ, разработанная Биннигом и др. ....	28
22.2.2. Коммерческие образцы АСМ .....	28
22.2.3. Конструкция АСМ зонда .....	36
22.2.4. Методы измерения сил трения .....	41
22.2.5. Нормальная составляющая силы и сила трения. Калибровка луча от кантилевера .....	46
22.3. Аппаратура АСМ и анализ .....	49
22.3.1. Механика кантилеверов .....	49
22.3.2. Аппаратура и анализ систем обнаружения изгибов кантилеверов ...	53
22.3.3. Конструкции для трехмерного измерения силы .....	65
22.3.4. Система сканирования и управления .....	66

Литература .....	74
------------------	----

### 23. Зонды для сканирующей микроскопии

23.1. Атомная силовая микроскопия .....	83
23.1.1. Принцип действия .....	85
23.1.2. Стандартные острия зондов .....	86
23.1.3. Характеристики острий зондов .....	87
23.1.4. Заострение зондов оксидом .....	89
23.1.5. Зонды, изготовленные методом ионно-лучевого травления .....	90
23.1.6. Зонды, изготовленные методом электронно-лучевого осаждения (ЭЛО) .....	90
23.1.7. Зонды из углеродных нанотрубок .....	91
23.2. Сканирующая туннельная микроскопия .....	99
23.2.1. Механическая нарезка СТМ зондов .....	99
23.2.2. Электрохимическое травление при изготовлении СТМ зондов .....	100

Литература .....	100
------------------	-----

### 24. Бесконтактная атомная силовая микроскопия

и связанные с ней темы .....	103
24.1. Атомная силовая микроскопия (АСМ) .....	104
24.1.1. Сигнал изображения в АСМ .....	104
24.1.2. Экспериментальные измерения и шумы .....	105
24.1.3. Рабочий режим статического АСМ .....	106
24.1.4. Рабочий режим динамического АСМ .....	107
24.1.5. Четыре дополнительные проблемы, с которыми сталкивается АСМ ....	107





24.1.6. Частотно-модулированный АСМ (ЧМ-АСМ) .....	109
24.1.7. Соотношение между сдвигом частоты и силами .....	110
24.1.8. Шум в частотно-модулированном АСМ: общие вычисления .....	111
24.1.9. Заключение .....	112
24.2. Применение к полупроводниковым поверхностям .....	112
24.2.1. Поверхность Si(111)-7 × 7 .....	112
24.2.2. Моногидридные поверхности Si(100)-(2 × 1) и Si(100)-(2 × 1):H .....	115
24.2.3. Поверхность кремния с металлическими слоями .....	116
24.3. Применение к диэлектрическим поверхностям .....	120
24.3.1. Щелочные галогениды, фториды и окислы металлов .....	121
24.3.2. Получение изображений поверхности NiO(001) с атомным разрешением .....	127
24.4. Применение к молекулам .....	130
24.4.1. Почему молекулы и какие молекулы? .....	130
24.4.2. Механизм получения изображений молекул .....	130
24.4.3. Перспективы .....	134
<b>Литература</b> .....	135
<b>25. Сканирующая зондовая микроскопия при низких температурах</b> .....	142
25.1. Работа микроскопа при низких температурах .....	144
25.1.1. Дрейф .....	144
25.1.2. Шум .....	144
25.1.3. Стабильность .....	145
25.1.4. Пьезорелаксация и гистерезис .....	145
25.2. Приборное оснащение .....	145
25.2.1. Простая конструкция СЗМ для переменной температуры .....	146
25.2.2. Конструкция ССМ, основанная на криостате .....	147
25.3. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия .....	149
25.3.1. Атомная манипуляция .....	150
25.3.2. Получение изображений движения атомов .....	151
25.3.3. Детектирование света от отдельных атомов и молекул .....	153
25.3.4. Спектроскопия с высоким разрешением .....	154
25.3.5. Создание изображений электронных волновых функций .....	160
25.3.6. Получение изображений поляризации спина: наномagnetизм .....	166
25.4. Сканирующая силовая микроскопия и спектроскопия .....	167
25.4.1. Получение изображений на атомном уровне .....	169
25.4.2. Силовая спектроскопия .....	173
25.4.3. Атомная манипуляция .....	176
25.4.4. Микроскопия электростатической силы .....	177
25.4.5. Магнитная силовая микроскопия .....	178
<b>Литература</b> .....	183
<b>26. Обнаружение силы высших гармоник в динамической силовой микроскопии</b> .....	193
26.1. Моделирование сил взаимодействия зонд-образец в полуконтактном режиме АСМ .....	194
26.1.1. Силы зонд-образец как периодический колебательный сигнал .....	194

26.1.2. Частотный спектр сил взаимодействия зонд-образец .....	195
26.1.3. Зависимость силовых гармоник от упругих свойств .....	196
26.2. Увеличение определенной гармоники силы взаимодействия при использовании резонанса изгиба .....	199
26.2.1. Реакция кантилевера на силы высшей гармоники .....	199
26.2.2. Совершенствование механизма реакции кантилевера АСМ .....	200
26.2.3. Использование гармонических кантилеверов .....	201
26.3. Восстановление сил взаимодействия зонд-образец с временным разрешением с использованием торсионного кручения .....	202
26.3.1. Крутильный отклик сопряженных торсионных кантилеверов .....	203
26.3.2. Временное разрешение измерений сил .....	205
26.4. Примеры применения .....	206
26.4.1. Измерения с временным разрешением взаимодействия между острием зонда и образцом из различных материалов .....	207
26.4.2. Количественные сравнения свойств материалов образца .....	208
26.4.3. Определение перехода двойной полимерной смеси из высокоэластичного состояния в стеклообразное при одной гармонической силе .....	209
26.4.4. Детальный анализ сил с временным разрешением .....	211
26.5. Высшая гармоника — атомно-силовая микроскопия при малой амплитуде .....	212
26.5.1. Принцип работы .....	212
26.5.2. Примеры использования .....	215
26.5.3. Заключение .....	215
<b>Литература</b> .....	216
<b>27. Динамические режимы атомно-силовой микроскопии</b> .....	218
27.1. Мотив: измерение одинарной атомной связи .....	219
27.2. Генератор синусоидальных колебаний: модель динамического АСМ .....	224
27.3. Динамические разновидности атомно-силовой микроскопии (АСМ) .....	226
27.3.1. Амплитудная модуляция — полуконтактный режим АСМ .....	228
27.3.2. Режимы автовозбуждения .....	236
27.4. Контроль $Q$ .....	242
27.5. Процессы рассеивания, измеряемые динамическим АСМ .....	246
27.6. Заключение .....	252
<b>Литература</b> .....	253
<b>28. Силовая микроскопия молекулярного распознавания: от простых связей к сложным энергетическим ландшафтам</b> .....	258
28.1. Химия остриевого лиганда .....	259
28.2. Фиксирование реагентов на поверхностях зонда .....	262
28.3. Обнаружение сил взаимодействия при распознавании отдельных молекул .....	264
28.4. Основные принципы силовой спектроскопии молекулярного распознавания .....	267
28.5. Силовая спектроскопия распознавания .....	270
28.5.1. Силы, энергии и кинетические скорости .....	270
28.5.2. Сложные связи и энергетические барьеры .....	273
28.5.3. Живые клетки и мембраны .....	279
28.6. Визуализация распознавания .....	280
28.7. Некоторые выводы .....	283



Литература .....	283
<b>29. Нанотрибология, наномеханика и определение характеристик материалов .....</b>	<b>289</b>
29.1. Описание АСМ/ЛСМ и различных методов измерений .....	291
29.1.1. Шероховатость поверхности и измерение сил трения .....	292
29.1.2. Измерение адгезии .....	296
29.1.3. Царапание, износ, изготовление/обработка изделий .....	297
29.1.4. Измерение поверхностного потенциала .....	298
29.1.5. Определение характеристик локальной деформации in situ .....	299
29.1.6. Измерения нанопечатаков .....	300
29.1.7. Локальная упругость поверхности и картографирование вязкоупругих свойств .....	300
29.1.8. Измерение граничной смазки .....	305
29.2. Отображение поверхности, трение и адгезия .....	305
29.2.1. Изображение поверхности и трение на наноуровне .....	305
29.2.2. Микромасштабное трение .....	310
29.2.3. Анизотропия микротрения .....	314
29.2.4. Поверхность – шероховатость – независимое трение на микроуровне .....	317
29.2.5. Влияние скорости на трение на микро/наноуровне .....	321
29.2.6. Трение на наноуровне и картографирование износа .....	324
29.2.7. Адгезия и трение во влажной среде .....	326
29.2.8. Зависимость сил мениска и Ван-дер-Ваальса от расстояния .....	333
29.2.9. Влияние масштаба при трении .....	334
29.3. Износ, царапание, локальная деформация, изготовление/наводобработка .....	339
29.3.1. Наномасштабный износ .....	339
29.3.2. Микромасштабное царапание .....	340
29.3.3. Микромасштабный износ .....	342
29.3.4. Определение характеристик локальной деформации in situ .....	346
29.3.5. Нанозготовление/наводобработка .....	350
29.4. Идентификация .....	351
29.4.1. Пиктоидентификация .....	351
29.4.2. Наномасштабное идентификация .....	352
29.4.3. Локальная упругость поверхности и вязко-упругое картографирование .....	355
29.5. Граничная смазка .....	356
29.5.1. Перфорполиэфирные смазки .....	356
29.5.2. Самосборные монослои .....	363
29.5.3. Измерение толщины жидких пленок .....	367
29.6. Заключение .....	369
Литература .....	371
<b>30. Поверхностные силы и нанореология молекулярно-тонких пленок .....</b>	<b>379</b>
30.1. Введение: типы поверхностных сил .....	379
30.2. Методы изучения поверхностных сил .....	382

30.2.1. Законы действия сил .....	382
30.2.2. Силы адгезии .....	383
30.2.3. УНПС и АСМ .....	384
30.2.4. Некоторые другие методики измерения сил .....	387
30.3. Нормальные силы взаимодействия между сухими (без смазки) поверхностями .....	388
30.3.1. Силы Ван-дер-Ваальса в вакууме и инертных газах .....	388
30.3.2. Взаимодействие с обменом зарядами .....	391
30.3.3. Спекание и холодная сварка .....	392
30.4. Нормальные силы взаимодействия между поверхностями в жидкостях .....	393
30.4.1. Силы Ван-дер-Ваальса в жидкостях .....	395
30.4.2. Электростатические и ионно-корреляционные силы .....	398
30.4.3. Сольватация и структурные силы .....	401
30.4.4. Гидратация и гидрофобные силы .....	405
30.4.5. Силы взаимодействия с участием полимеров .....	408
30.4.6. Силы при тепловых колебаниях .....	409
30.5. Адгезионные и капиллярные силы .....	409
30.5.1. Капиллярные силы .....	410
30.5.2. Механика адгезии .....	412
30.5.3. Влияние структуры поверхности, шероховатости и рассогласований кристаллических решеток .....	414
30.5.4. Неравновесное и зависящее от скорости взаимодействие: адгезионный гистерезис .....	416
30.6. Введение: различные режимы трения и ограничения для моделей сплошной среды .....	417
30.7. Соотношение между адгезией и трением для сухих (без смазки и покрытых твердой смазкой) поверхностей .....	417
30.7.1. Закон Амонтона и отклонения от него вследствие адгезии: модель Коблтона .....	417
30.7.2. Вклад сил адгезии и нагрузки в межповерхностное трение .....	420
30.7.3. Примеры экспериментального изучения трения сухих поверхностей .....	426
30.7.4. Переход от межповерхностного трения в зоне взаимодействия к нормальному трению с износом .....	432
30.8. Смоченные смазывающей жидкостью поверхности .....	433
30.8.1. Вязкие силы и трение толстых пленок: режим сплошной среды .....	435
30.8.2. Трение в пленках промежуточной толщины .....	438
30.8.3. Граничная смазка молекулярно-тонких пленок: нанореология .....	449
30.9. Влияние наномасштабной текстуры на трение .....	449
30.9.1. Роль формы заключенных между поверхностями молекул .....	451
30.9.2. Влияние структуры поверхности .....	454
Литература .....	454
<b>31. Силы межповерхностного взаимодействия и спектроскопические исследования ограниченных поверхностями жидкостей .....</b>	<b>473</b>
31.1. Гидродинамическая сила в жидкостях, возникающая на микро- и наноуровнях: вопросы граничных условий с отсутствием скольжения .....	474
31.1.1. Как подсчитывается величина скольжения .....	476



31.1.2. Механизм управления скольжением в жидкостях с низкой вязкостью	476
31.1.3. Экспериментальные исследования	478
31.1.4. Скольжение может регулироваться растворенным газом	481
31.1.5. Скольжение по смазываемым поверхностям	482
31.1.6. Целенаправленное создание скольжения	483
31.1.7. Выводы	484
31.2. Гидрофобное взаимодействие и поведение воды на гидрофобной поверхности раздела	484
31.2.1. Экспериментальные исследования	485
31.2.2. Гидрофобное взаимодействие	486
31.2.3. Гидрофобность на поверхностях Януса	488
31.3. Сверхскоростное спектроскопическое исследование эффектов в жидкостях, находящихся между различными поверхностями: комбинирование сверхскоростной спектроскопии и измерения силы с помощью специального оборудования	492
31.3.1. Проблемы	494
31.3.2. Принципы ФКС измерений	495
31.3.3. Организация эксперимента	496
31.4. Сравнение процессов трения и диффузии в молекулярно-тонких пленках	498
31.5. Диффузия поверхностных молекул при сдвиге	503
31.6. Выводы	505
<b>Литература</b>	505

<b>32. Использование сканирующих устройств для исследования наномасштабной адгезии между твердыми телами в присутствии жидкостей и монослойных пленок</b>	512
32.1. Важность изучения адгезии в наномасштабах	512
32.2. Методы измерения адгезии	514
32.3. Калибровка сил, перемещений и наконечников	521
32.3.1. Калибровка силы	522
32.3.2. Определение параметров наконечника	523
32.3.3. Калибровка перемещений	524
32.3.4. Наклон кантилевера	524
32.4. Влияние капилляров жидкости на адгезию	525
32.4.1. Теоретическое обоснование и аппроксимации	525
32.4.2. Экспериментальные исследования образования капилляров с помощью сканирующих устройств	529
32.4.3. Пересмотр теоретических представлений	533
32.4.4. Перспективные направления	536
32.5. Самособранные монослои (SSM)	537
32.5.1. Адгезия при взаимодействии SSM	537
32.5.2. Микроскопия сил химического взаимодействия: общая методология	538
32.5.3. Адгезия на SSM-модифицированных поверхностях в жидкостях	540
32.5.4. Влияние на адгезию внутри- и межпленочных взаимодействий	542
32.5.5. Адгезия на уровне одной связи	543
32.5.6. Перспективные направления	545

32.6. Заключение	546
<b>Литература</b>	546
<b>33. Трение и износ на атомном уровне</b>	555
33.1. Микроскопия сил трения в сверхвысоком вакууме	556
33.1.1. Микроскопия сил трения	557
33.1.2. Калибровка силы	560
33.1.3. Исследования в сверхвысоком вакууме	561
33.1.4. Микроскоп для работы в сверхвысоком вакууме (SVBV)	562
33.2. Модель Томлинсона	562
33.2.1. Одномерная модель Томлинсона	563
33.2.2. Двумерная модель Томлинсона	564
33.2.3. Трение между атомно-плоскими поверхностями	565
33.3. Эксперименты по изучению трения на атомном уровне	569
33.3.1. Анизотропия трения	570
33.4. Тепловые эффекты при атомном трении	571
33.4.1. Модель Томлинсона при конечной температуре	573
33.4.2. Зависимость трения от скорости	574
33.4.3. Зависимость трения от температуры	575
33.5. Геометрические эффекты в наноконтактах	576
33.5.1. Механика сплошных сред для единичных неровностей	577
33.5.2. Зависимость трения от нагрузки	579
33.5.3. Оценка площади контакта	580
33.6. Износ на атомном уровне	580
33.6.1. Абразивный износ на атомном уровне	581
33.6.2. Выход износа в трение	583
33.7. Моделирование молекулярной динамики атомного трения и износа	583
33.7.1. Моделирование молекулярной динамики процессов трения	585
33.7.2. Моделирование молекулярной динамики абразивного износа	587
33.8. Диссипация энергии при бесконтактной микроскопии атомных сил	590
33.9. Выводы	591
<b>Литература</b>	591

<b>34. Зависимость трения, адгезии и износа в наномасштабе от скорости скольжения</b>	597
34.1. Взаимосвязь науки и техники при проведении нанотрибологических исследований	597
34.2. Инструментарий	600
34.2.1. Расширение возможностей АСМ для исследований при высоких скоростях скольжения	602
34.2.2. Измерения сил трения и адгезии	603
34.2.3. Износ	604
34.2.4. Материалы, покрытия и смазки для применения в нанотехнологиях	605
34.3. Зависимость трения и адгезии на наноуровне от скорости скольжения	609
34.4. Доминирующие режимы и механизмы трения на наноуровне	609
34.4.1. Комплексная модель трения для пластичных (вязкоупругих) самособранных монослоев (SSM)	619
34.4.2. Модель молекулярной пружины для пластичных (вязкоупругих) самособранных монослоев (SSM)	619



34.4.3. Модель гистерезиса адгезии и деформации для полимеров .....	622	36.3.3. Пример 1: изучение механических свойств тонкого слоя кости с использованием СН .....	744
34.4.4. Доминирующие режимы силы трения для различных образцов .....	624	36.3.4. Пример 2: нановдавливание в человеческий волос в сухом и влажном состоянии: проблемы глубины нановдавливания .....	752
34.5. Отображение трения на наноуровне .....	629	36.3.5. Выводы .....	758
34.6. Исследование износа при высоких скоростях скольжения .....	633	36.4. Общие выводы и перспективы .....	759
34.6.1. Влияние скорости скольжения на возникновение трения и износа ..	633	<b>Литература</b> .....	765
34.6.2. Влияние непрерывного скольжения на трение при высоких скоростях скольжения .....	634	<b>37. Наномеханические свойства поверхностей твердых тел и тонких пленок</b> .....	766
34.6.3. Отображение трения в наномасштабе .....	637	37.1. Инструментарий .....	766
34.7. Идентификация материалов с низким трением и адгезией для нанотехнологических применений .....	640	37.1.1. АСМ и сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) .....	767
34.8. Заключение .....	643	37.1.2. Нановдавливание .....	769
<b>Литература</b> .....	644	37.1.3. Применение нановдавливания .....	771
<b>35. Компьютерное моделирование вдавливания и трения на нанометровом уровне</b> .....	650	37.1.4. Дополнительные методики .....	771
35.1. Составляющие компьютерного моделирования .....	651	37.1.5. Исследования выпуклостей .....	772
35.1.1. Энергии и силы .....	652	37.1.6. Акустические методы исследования .....	774
35.1.2. Важнейшие аппроксимации .....	654	37.1.7. Методы визуализации .....	774
35.2. Вдавливание .....	658	37.2. Анализ данных .....	775
35.2.1. Поверхности .....	659	37.2.1. Упругие контакты .....	776
35.2.2. Тонкие пленки .....	671	37.2.2. Вдавливание в идеальные пластические материалы .....	777
35.3. Трение и смазка .....	677	37.2.3. Адгезионные контакты .....	777
35.3.1. Чистые поверхности .....	678	37.2.4. Геометрия индентора .....	778
35.3.2. Декорированные поверхности .....	686	37.2.5. Анализ кривых нагрузка/перемещение .....	782
35.3.3. Тонкие пленки .....	689	37.2.6. Модифицирование аналитических подходов .....	784
35.4. Выводы .....	707	37.2.7. Альтернативные методы анализа .....	785
<b>Литература</b> .....	708	37.2.8. Измерение контактной жесткости .....	786
<b>36. Наномасштабные механические свойства — технологии их измерения и применения</b> .....	722	37.2.9. Измерение вязкоупругости .....	787
36.1. Локальная механическая спектроскопия как альтернатива динамической контактной АСМ .....	724	37.3. Модели деформации .....	787
36.1.1. СМПУ (сканирующая микроскопия с локальным ускорением) с переменной температурой (Т-СМПУ) .....	725	37.3.1. Зарождение дефектов .....	789
36.1.2. Пример 1: локальная механическая спектроскопия полимеров .....	727	37.3.2. Варьирование глубины .....	790
36.1.3. Пример 2: локальная механическая спектроскопия NiTi .....	728	37.3.3. Анизотропные материалы .....	790
36.2. Статические методы — мезоскопические образцы, модули сдвига и упругости (Юнга) .....	730	37.3.4. Растрескивание и деляминация .....	791
36.2.1. Углеродные нанотрубки (УНТ) — введение в фундаментальные морфологии и методы производства .....	730	37.3.5. Фазовые переходы .....	793
36.2.2. Измерение механических свойств УНТ с помощью МСЗ (микроскопии со сканирующим зондом) .....	732	37.4. Тонкие пленки и мультислой .....	794
36.2.3. Микротрубочки и их упругие свойства .....	740	37.4.1. Тонкие пленки .....	798
36.3. Сканирующее нановдавливание как инструмент для определения наномеханических свойств биологической ткани в сухих и влажных условиях .....	742	37.4.2. Мультислой .....	800
36.3.1. Сканирующее нановдавливание (СН) .....	742	37.5. Развивающиеся области наномеханики .....	801
36.3.2. Применение СН .....	742	<b>Литература</b> .....	808
		<b>38. Влияние масштаба на механические свойства и трибологию</b> .....	808
		38.1. Обозначения .....	810
		38.2. Введение .....	813
		38.3. Влияние масштаба на механические свойства .....	814
		38.3.1. Предел текучести и твердость .....	816
		38.3.2. Сопротивление сдвигу в зоне взаимодействия .....	820
		38.4. Влияние масштаба на шероховатость поверхности и контактные параметры ..	820



38.4.1. Зависимость шероховатости и контактных параметров от масштаба	820
38.4.2. Зависимость контактных параметров от нагрузки	823
38.5. Влияние масштаба на трение	824
38.5.1. Адгезионное трение	825
38.5.2. Деформация двух взаимодействующих тел	828
38.5.3. Трение при деформации трех взаимодействующих тел	829
38.5.4. Механизм прерывистого движения (храповой механизм)	831
38.5.5. Анализ мениска	832
38.5.6. Величина коэффициента трения и переход из упругого в пластическое состояние	833
38.5.7. Сравнение с экспериментальными данными	835
38.6. Влияние масштаба на износ	840
38.7. Влияние масштаба на температуру в зоне взаимодействия	841
38.8. Заключение	842
<b>38.А. Статистика распределения частиц по размерам</b>	844
38.А.1. Статистические модели распределения частиц по размерам	844
38.А.2. Данные по типичным распределениям частиц по размерам	847
<b>Литература</b>	848
<b>39. Механика в биологической нанотехнологии</b>	852
39.1. Взаимодействие и взаимосвязь биологии и нанотехнологии как отдельная наука	853
39.1.1. Биологическая нанотехнология	853
39.1.2. Самосборка как биологическая нанотехнология	853
39.1.3. Молекулярные двигатели как примеры биологической нанотехнологии	854
39.1.4. Молекулярные каналы и насосы как примеры биологической нанотехнологии	855
39.1.5. Влияние биологии на нанотехнологию	856
39.1.6. Нанотехнология в биологии и исследования с помощью единичных молекул	857
39.1.7. Проблемы моделирования зоны био-, нано- взаимодействия	860
39.2. Масштабы био-, нановзаимодействия	862
39.2.1. Пространственные масштабы и структуры	863
39.2.2. Временные масштабы и процессы	866
39.2.3. Масштабы силы и энергии: взаимодействие детерминированных и тепловых сил	868
39.3. Моделирование зоны нано-, биовзаимодействия	871
39.3.1. Противоречие между универсальностью и специфичностью	871
39.3.2. Исследование биологических систем на атомарном уровне	872
39.3.3. Исследование биологических систем как сплошной среды	873
39.4. Нанотехнологические процессы в природе: вирусы в качестве типичного примера	875
39.5. Заключение	883

<b>Литература</b>	884
<b>40. Использование АСМ и нановдавливания для исследования структурных, наномеханических и нанотрибологических характеристик человеческого волоса</b>	888
40.1. Человеческий волос, кожа и средства ухода за волосами	892
40.1.1. Человеческий волос и кожа	892
40.1.2. Уход за волосами: мытье, кондиционирование и процессы, приводящие к повреждению волос	898
40.2. Экспериментальные методики	904
40.2.1. Экспериментальные процедуры	907
40.2.2. Образцы волос и кожи	917
40.3. Определение структурных характеристик волос с использованием АСМ	920
40.3.1. Структура поперечных и продольных сечений волоса	921
40.3.2. Структуры различных слоев кутикулы	923
40.3.3. Выводы	926
40.4. Определение наномеханических характеристик с использованием нановдавливания и нанопропарывания	928
40.4.1. Твердость, модуль Юнга и ползучесть	928
40.4.2. Сопротивление пропарыванию	936
40.4.3. Выводы	943
40.5. Макромасштабные трибологические характеристики	946
40.5.1. Исследование трения и износа различных типов волос	946
40.5.2. Влияние температуры и влажности на трение волос	950
40.5.3. Выводы	951
40.6. Определение нанотрибологических характеристик с использованием АСМ	951
40.6.1. Шероховатость, трение и адгезия	951
40.6.2. Распределение слоя кондиционера и сдвигающее взаимодействие на поверхности волоса	977
40.6.3. Выводы	987
40.7. Заключение	990
<b>40.А. Аппроксимация толщины слоя кондиционера</b>	992
<b>Литература</b>	993
<b>41. Механические свойства наноструктур</b>	996
41.1. Экспериментальные методики измерения механических свойств наноструктур	999
41.1.1. Испытание на вдавливание и пропарывание с использованием микро/наноинденторов	999
41.1.2. Испытания наноструктур на изгиб с использованием АСМ	1001
41.1.3. Испытания микро/наноинденторов на изгиб с использованием наноиндентора	1006
41.2. Результаты экспериментов и их обсуждение	1007
41.2.1. Испытания керамических материалов и металлов на вдавливание и пропарывание с использованием микро/наноиндентора	1007
41.2.2. АСМ испытания керамических наноблоков на изгиб	1013



41.2.3. Испытание металлических микробалок на изгиб с использованием наноиндентера .....	1017
41.2.4. Испытания с использованием наноиндентера полимерных микробалок на вдавливание и процарапывание .....	1018
41.2.5. Испытания полимерных микробалок на изгиб с использованием наноиндентера .....	1021
41.3. Конечнo-элементный анализ наноструктур с впадинами шероховатости и парашинами .....	1025
41.3.1. Распределение напряжений в гладкой нанобалке .....	1027
41.3.2. Влияние шероховатости в продольном направлении .....	1028
41.3.3. Влияние шероховатости и царапин в поперечном направлении .....	1029
41.3.4. Влияние напряжений и перемещений в упругих, упругопластических или упруго-идеально-пластических материалах .....	1032
41.4. Заключение .....	1033
Литература .....	1034



## Содержание

### Часть Е. Молекулярно толстые пленки для смазки

<b>42. Нанотрибология ультратонких пленок и пленок из твердого аморфного углерода</b>	<b>1</b>
42.1. Обобщающие технологии нанесения покрытий	1
42.1.1. Фильтрованное напыление катодной дугой	1
42.1.2. Напыление пучком ионов	1
42.1.3. Химическое осаждение из паровой фазы с помощью электронно-циклотронного резонанса (ХОПФ-ЭЦР)	2
42.1.4. Нанесение покрытия распылением (НПР)	2
42.1.5. Плазменное химическое осаждение из паровой фазы	2
42.2. Химические и физические характеристики покрытий	2
42.2.1. Спектроскопия потерь энергии электронов и Рамановская спектроскопия	2
42.2.2. Концентрация водорода	2
42.2.3. Физические свойства	3
42.2.4. Выводы	3
42.3. Механические и трибологические характеристики покрытий	3
42.3.1. Определение механических характеристик	3
42.3.2. Исследование микроцарапин и микроизноса	4
42.3.3. Макромасштабные трибологические характеристики	5
42.3.4. Анализ непрерывности покрытий	6
42.4. Заключение	6
<b>Литература</b>	<b>6</b>
<b>43. Использование самосборных монослоев (ССМ) для контроля адгезии, трения и износа в микро/наноустройствах</b>	<b>7</b>
43.1. Краткий обзор основ органической химии	7
43.1.1. Электроотрицательность/полярность	7
43.1.2. Классификация и структуры органических соединений	7
43.1.3. Полярные и неполярные группы	8
43.2. ССМ: субстраты, промежуточные (спейсерные) цепочки; концевые группы и молекулярных цепочках	8
43.3. Трибологические свойства ССМ	8
43.3.1. Методики измерения	9
43.3.2. Гексдекан-тиоловые и бифенил-тиоловые ССМ на Au(111)	9
43.3.3. Алкилсилановые и перфторалкилсилановые ССМ на Si(100) и алкилфосфонатные ССМ на Al	10
43.3.4. Исследование процессов деградации ССМ и воздействия на них окружающей среды	11
43.4. Заключение	11
<b>Литература</b>	<b>12</b>
<b>44. Изучение граничной смазки в наномасштабе</b>	<b>12</b>
44.1. Детализация процесса смазки	12
44.2. Нанодетекция, молекулярные превращения и растекание смазки	12
44.3. Изучение граничной смазки	13

44.3.1. Трение и адгезия	133
44.3.2. Влияние времени покоя	138
44.3.3. Влияние скорости	141
44.3.4. Влияние относительной влажности и температуры	144
44.3.5. Влияние радиуса наконечника	147
44.3.6. Исследование износа	151
44.4. Заключение	152
<b>Литература</b>	154
<b>45. Кинетические и энергетические процессы при наносмазке</b>	157
45.1. Общая информация: от смазки в макроскопических объемах к смазке на молекулярном уровне	159
45.1.1. Гидродинамическая смазка и релаксация	159
45.1.2. Граничная смазка	160
45.1.3. Прилипание-скольжение и групповые явления скольжения	161
45.2. Модель термоактивации трения при смазке	163
45.3. Функциональное поведение трения при смазке	166
45.4. Термодинамические модели, основанные на малых и несогласованных контактах	168
45.5. Ограничение гауссовской статистики — фрактальное пространство	171
45.6. Фрактальная мобильность при реактивной смазке	172
45.7. Метастабильные системы смазки при больших согласованных контактах	175
45.8. Заключение	177
<b>Литература</b>	177
<b>Часть F. Промышленные применения</b>	
<b>46. «Многоножка» — система хранения данных на основе нанотехнологии с использованием АСМ (атомно-силовой микроскопии)</b>	181
46.1. Концепция «многоножки»	184
46.2. Устройства хранения данных с термомеханическим принципом записи на основе использования АСМ-технологии	186
46.3. Конструирование, технология и изготовление матрицы	189
46.4. Характеристики матрицы	192
46.5. Трехмерный (x/y/z) микросканер поверхности	195
46.6. Первые результаты записи/считывания кантилеверной матрицы 32×32	200
46.7. Полимерный носитель данных	202
46.7.1. Механизм записи	202
46.7.2. Механизм стирания	208
46.7.3. Механизм перезаписи	211
46.8. Модель канала считывания	212
46.9. Системные аспекты	218
46.9.1. Формирование сигнала ошибки позиционирования (PES) для сервоуправления	219
46.9.2. Восстановление синхронизации	223
46.9.3. Соображения относительно плотности размещения и скорости передачи данных	225
46.10. Выводы	228
<b>Литература</b>	228

<b>47. Применение нанотехнологии в устройствах хранения данных</b>	232
47.1. Современное состояние промышленных устройств хранения данных	235
47.1.1. Энергонезависимая оперативная память	241
47.2. Возможности, предлагаемые нанотехнологией в области хранения данных	245
47.2.1. Приводы	246
47.2.2. Датчики	250
47.2.3. Носители данных и экспериментальные результаты	256
47.3. Главный вывод	265
<b>Литература</b>	266
<b>48. Микроактюаторы для двухступенчатых сервосистем магнитных дисков</b>	269
48.1. Конструкция электростатического микроактюатора	272
48.1.1. Конструктивные требования дискового накопителя	272
48.1.2. Конфигурации двухступенчатых сервосистем	273
48.1.3. Электростатические микроактюаторы: сравнение гребенчатых и плоскопараллельных приводов	275
48.1.4. Детектирование местоположения	279
48.1.5. Пьезоэлектрическое детектирование	282
48.1.6. Конструкции электростатических микроактюаторов дисковых накопителей	283
48.2. Производство	289
48.2.1. Главные требования	289
48.2.2. Пример № 1 изготовления электростатического микроактюатора	290
48.2.3. Пример № 2 изготовления электростатического микроактюатора	292
48.2.4. Прочие процессы изготовления	296
48.2.5. Техпроцессы изготовления подвески	298
48.2.6. Изготовление активируемой головки	301
48.3. Проектирование двухступенчатых сервосистем управления на основе МЭМС микроактюаторов	302
48.3.1. Введение в сервоуправление дисковых накопителей	302
48.3.2. Обзор методик построения двухступенчатых сервосистем управления	304
48.3.3. Сервоуправление и снижение уровня вибрации МЭМС микроактюатора двухступенчатой сервосистемы с приборной подвеской	308
48.3.4. Многократное помехоустойчивое управление слежением за дорожкой: прямое решение	320
48.3.5. Схема управления поиском двухступенчатой системы	324
48.4. Выводы и перспективы на будущее	325
<b>Литература</b>	327
<b>49. Наноробототехника</b>	331
49.1. Обзор наноробототехники	332
49.2. Активация в нанометровом диапазоне	334
49.2.1. Электростатика	335
49.2.2. Электромагнетизм	336
49.2.3. Пьезоэлектричество	336
49.3. Наноробототехнические системы манипулирования	337
49.3.1. Обзор	337
49.3.2. Наноробототехнические системы манипулирования	342
49.4. Наноробототехническая сборка	346
49.4.1. Обзор	346



49.4.2. Углеродные нанотрубки	348
49.4.3. Нанокатушки	355
49.5. Применение	358
49.5.1. Роботехническое биоманипулирование	359
49.5.2. Нанороботехнические устройства	361
<b>Литература</b>	<b>363</b>
<b>50. Нанотрибология и описание свойств материалов МЭМС/НЭМС и БиоМЭМС/БиоНЭМС материалов и устройств</b>	<b>373</b>
50.1. Вступление	373
50.1.1. Введение в МЭМС	376
50.1.2. Введение в НЭМС	378
50.1.3. БиоМЭМС/БиоНЭМС	379
50.1.4. Трибологические вопросы МЭМС/НЭМС и БиоМЭМС/БиоНЭМС	380
50.2. Трибологические исследования кремния и связанных с ним материалов	401
50.2.1. Исходные и обработанные/покрытые кремниевые образцы	402
50.2.2. Трибологические свойства поликремниевых пленок и SiC-пленок	408
50.3. Исследование смазочных материалов, используемых в МЭМС/НЭМС	412
50.3.1. Перфторполиэфирные смазки	412
50.3.2. Самособирающиеся монослои (СМ)	417
50.3.3. Твердые покрытия из углерода со структурой алмаза (DLC)	421
50.4. Трибологические исследования биологических молекул на кремниевых поверхностях и поверхностях с полимерным покрытием	421
50.4.1. Адгезия, трение и износ биомолекул на кремниевых поверхностях	421
50.4.2. Адгезия поверхностей с нанесенным полимерным покрытием	427
50.5. Наноструктурированные поверхности	428
50.5.1. Аналитическая модель и оптимизация шероховатости	428
50.5.2. Экспериментальная проверка	431
50.6. Исследования на компонентном уровне	436
50.6.1. Исследование шероховатости поверхности компонентов микродвигателей	436
50.6.2. Измерение адгезии микроструктур	437
50.6.3. Микротрибонаппаратура, используемая для изучения процессов адгезии, трения и изнашивания микрокомпонентов	440
50.6.4. Измерения статической силы трения в МЭМС	446
50.6.5. Механизмы, связанные с наблюдаемыми явлениями статического трения в цифровых микрозеркальных устройствах (ЦМЗУ), и описание наномеханических свойств	450
50.7. Вывод	455
50.А. Приложение. Методы микро/нанозготовления	456
50.А.1. Нисходящие методы (Top — Down)	456
50.А.2. Восходящий метод изготовления (навохимия) (Bottom—Up)	461
<b>Литература</b>	<b>462</b>
<b>51. Экспериментальные методы получения характеристик микро/наногазмерных устройств</b>	<b>474</b>
51.1. Обоснование	474
51.2. Области применения динамических МЭМС/НЭМС	475
51.3. Методики тестирования и описания характеристик	476
51.3.1. Оптические методы динамической характеристики	476

51.3.2. Методы статического и квазистатического измерения при описании характеристик МЭМС/НЭМС	483
51.3.3. Тестирование с помощью СЭМ	493
51.3.4. Методы активации	495
51.4. Пример: описание свойств МЭМС актюатора в плоскости	500
51.4.1. Определение коэффициента добротности	500
51.4.2. Определение величины жесткости пружин	502
51.4.3. Анализ ошибок	505
51.5. Учет контролепригодности при проектировании	508
<b>Литература</b>	<b>508</b>
<b>52. Механизмы отказа в МЭМС/НЭМС устройствах</b>	<b>514</b>
52.1. Типы и механизмы отказа	515
52.2. Статическое трение и механизм отказа, обусловленный эффектом заряда	516
52.2.1. Статическое трение, обусловленное наличием поверхностных сил	516
52.2.2. Влияние электростатического притяжения на силу трения	522
52.3. Возникновение отказов, связанных с ползучестью, усталостью, износом и корпунсированием	527
52.3.1. Ползучесть	527
52.3.2. Усталость	534
52.3.3. Износ	537
52.3.4. Корпунсирование	539
52.4. Общие выводы	543
<b>Литература</b>	<b>544</b>
<b>53. Механические свойства структур, полученных с помощью микромеханической обработки</b>	<b>551</b>
53.1. Определение механических свойств наносимых на подложки пленок	551
53.1.1. Измерение величины остаточных напряжений	551
53.1.2. Механические измерения с помощью нановиндатора	553
53.2. Структуры, полученные с помощью микромеханической обработки, для определения механических свойств	553
53.2.1. Пассивные структуры	553
53.2.2. Активные структуры	558
53.3. Измерение механических свойств	569
53.3.1. Механические свойства поликремния	569
53.3.2. Механические свойства прочих материалов	573
<b>Литература</b>	<b>575</b>
<b>54. Термо- и электромеханическое поведение тонкопленочных микро- и наноструктур</b>	<b>579</b>
54.1. Термомеханика многослойных тонкопленочных структур	582
54.1.1. Основные явления	582
54.1.2. Общие принципы термомеханики многослойных пленок	591
54.1.3. Нелинейная геометрия	606
54.1.4. Поверхностное напряжение: переход от микро- к наногазмерности	614
54.1.5. Нелинейная характеристика материала	615
54.1.6. Прочие вопросы	620
54.2. Электромеханика тонкопленочных структур	621
54.2.1. Вопросы прикладной электромеханики	621
54.2.2. Анализ электромеханических систем	624



54.2.3. Электромеханика — плоский конденсатор	627
54.2.4. Электромеханика базок и пластин	631
54.2.5. Электромеханика торсионных пластин	634
54.2.6. Рычажный изгиб	636
54.2.7. Электромеханика актюаторов	637
54.2.8. Электромеханика тестовых структур	641
54.2.9. Динамика электромеханики: время переключений (коммутации)	645
54.2.10. Вопросы электромеханики: заряд диэлектрика	647
54.2.11. Вопросы электромеханики: электрический разряд в газе	650
54.3. Итоги и вопросы, которые не были рассмотрены	654
<b>Литература</b>	654
<b>55. Массовое производство и стабильность сферы МЭМС изделий</b>	661
55.1. Стратегия производства	665
55.1.1. Объем	665
55.1.2. Стандартизация	666
55.1.3. Средства производства	666
55.1.4. Качество	667
55.1.5. Защита от воздействия окружающей среды	668
55.2. Устойчивое производство	668
55.2.1. Конструирование для устойчивого производства	668
55.2.2. Технологический процесс и его взаимосвязь с архитектурой изделия	669
55.2.3. Освобождение микроструктур	681
55.2.4. Соединение пластин	682
55.2.5. Разделение пластины	685
55.2.6. Частица	686
55.2.7. Электростатический разряд и статические заряды	687
55.2.8. Корпусирование и тестирование	687
55.2.9. Системы качества	693
55.3. Стабильные эксплуатационные характеристики	695
55.3.1. Пассивация поверхности	695
55.3.2. Системный интерфейс	700
<b>Литература</b>	700
<b>56. Проблемы надежности и корпусирования в микро/наносистемах</b>	707
56.1. Введение в корпусирование микро-/нано-электромеханических устройств (МЭМС)/(НЭМС)	707
56.1.1. Основы корпусирования МЭМС/НЭМС	708
56.1.2. Современные методы корпусирования МЭМС/НЭМС	711
56.1.3. Процессы присоединения при корпусировании МЭМС/НЭМС	712
56.2. Герметичное и вакуумное корпусирование и их применения	718
56.2.1. Интегрированные процессы микромеханической обработки	718
56.2.2. Процессы посткорпусирования	721
56.2.3. Локализованный нагрев и термокомпрессия	726
56.3. Тепловые проблемы и надежность корпусирования	730
56.3.1. Тепловые проблемы при корпусировании	730
56.3.2. Надежность корпусирования	734
56.3.3. Длительное и ускоренное тестирование МЭМС	736
56.4. Будущие тенденции и резюме	743

<b>Литература</b>	744
<b>57. Слияние технологий при переходе в нанометровый диапазон</b>	752
57.1. Синергетика в нанонауке	752
57.1.1. Организационный план	753
57.1.2. Улучшение функциональных возможностей человека	754
57.2. Динамика слияния в нанодиапазоне	757
57.3. Этические, юридические и социальные последствия	759
57.3.1. Принципы мотивации	759
57.3.2. Методы научных исследований	761
57.3.3. Задачи нормативно-правового регулирования	762
57.4. Синтез преобразований	763
57.4.1. Использование общих языков и средств коммуникации	764
57.4.2. Пример статистической изменчивости	765
57.4.3. Предлагаемые концепции более высокого уровня	766
57.5. Культурные последствия слияния технологий	768
57.5.1. Образование	768
57.5.2. Мировоззрение	769
57.5.3. Политические последствия	770
57.6. Заключение	773
<b>Литература</b>	773
<b>58. Регулирование нанотехнологии: социальные, этические и общечеловеческие вопросы</b>	779
58.1. Роль общественных наук	779
58.1.1. Границы исследований социальных последствий	779
58.1.2. Теории технологического детерминизма	782
58.1.3. Теории организаций	785
58.2. Влияние нанотехнологии на человека	787
58.2.1. Влияние на экономику	787
58.2.2. Здоровье и окружающая среда	788
58.2.3. Варианты развития событий общественного характера	790
58.3. Регулирование нанотехнологии	791
58.3.1. Этика	791
58.3.2. Власть и законы	792
58.4. Культурный контекст нанотехнологии	794
58.4.1. Научная фантастика	795
58.4.2. Общественное восприятие	798
58.4.3. Образование	800
58.5. Выводы	800
<b>Литература</b>	801
<b>Предметный указатель</b>	807



Микроэлектроника 271  
 Маллера индексы 136  
 Маллера-Бригге индексы 136  
 Моделирование 271  
 Модель 271  
 – гистерезиса Джилса-Атертона 272  
 – гистерезиса Преизаха 272  
 – гистерезиса Юинга 273  
 – магнетика кулоновская 183  
 – случайной магнитной анизотропии 272  
 Модуль упругости 274  
 –  $\text{Co}$  275  
 – сплава Fe-Si 275  
 – температурный коэффициент 444  
 Модуль  
 – сдвига 275  
 – Юнга 275  
 Модулятор 276  
 – магнитный 222  
 Модуляция 276  
 – импульсная 130  
 – радиосигналов 276  
 Молекула 276  
 Молекулярное поле  
 – локальное 190  
 – Вейсса 276  
 Моль 277  
 Момент  
 – импульса 278  
 – магнитный 223  
 – магнитный тока 223  
 – силы 278  
 – электрический 530  
 Монель 278  
 Монокристалл 278  
 Монополь 278  
 Моноферриты 279  
 Мощность  
 – активная 16  
 – коэффициент 168  
 – мгновенная 263  
 – полная 341  
 – реактивная 341  
 – трансформатора 279  
 – электрической цепи 280  
 Мультиполи электрические 527  
 Муметалл 281  
 Муметалл 282  
 Муфта электромагнитная 537

**Н**  
 Нагавака-Хонда эффект 560  
 Нагартонка 283  
 Надежность 283  
 Наклеп 283  
 Намагниченность 284  
 – насыщения 284  
 – остаточная 318  
 – самопроизвольная 391  
 – спонтанная 425  
 – удельная 481  
 Намагничивание 284

– безгистерезисное 42  
 – гистерезисное 75  
 – домениная теория 106  
 – импульсное 130  
 – истинное 145  
 – квазистатическое 151  
 – коэффициент 169  
 – монокристалла 285  
 – необратимое 298  
 – обратимое 308  
 – однополярное 312  
 – пакета полос 286  
 – поликристаллической полосы 287  
 – работа 374  
 – смещением доменных границ 288  
 – теория Вебера 449  
 – теория Вейсса 450  
 – теория Пуассона 450  
 – техническое 457  
 Нанокристалл 288  
 Нанокристаллизация 288  
 Нанокристаллические материалы 289  
 – прочностные свойства 369  
 – температурная зависимость магнитных свойств 443  
 Наноматериалы 292  
 Наноперм 292  
 Наносистема 292  
 Нанотехника 292  
 Нанотехнология 292  
 Наночастица 293  
 Нанопол температурный 444  
 Напряжение  
 – механическое 270  
 – электрическое 532  
 Напряжения  
 – внутренние 58  
 – доменная структура 103  
 – концентрация 165  
 – остаточные 318  
 – тензор 445  
 – теория 450  
 – упругие 484  
 Напряженность  
 – магнитного поля 294  
 – электрического поля 294  
 Нароботка 295  
 Насыщение  
 – магнитное 206  
 – магнитоотрицания 254  
 – намагниченность 284  
 – техническое магнитное 463  
 Натяжение поверхностное 335  
 Науки технические 463  
 Научно-технический 295  
 Начало термодинамики  
 – второе 64  
 – нулевое 305  
 – первое 324  
 – третье 476  
 Нева  
 – доменная граница 100

– температура 440  
 Неймана  
 – принцип 360  
 – формула 512  
 Нейтронграфия магнитная 197  
 Непер 298  
 Неупругость 300  
 Никель 301  
 Никкалой 303  
 Никоси 303  
 Нималлой 304  
 Нормализация 305  
 Носитель заряда 305  
 Нуль абсолютный 15  
 Ньютона-Лейбница формула 512

**О**  
 Обезуглероживание 306  
 Область Рэлея 306  
 Обменное взаимодействие 306  
 – постоянная 349  
 – прямое 369  
 – энергия 555  
 Обмотка  
 – бифиларная 44  
 – левая 184  
 – правая 353  
 Обработка  
 – давлением 306  
 – локальная термомагнитная 190  
 – пермаллоидная термическая 326  
 – резанием 307  
 – термическая 456  
 – термомагнитная 458  
 – термомеханическая 460  
 Объем удельный 482  
 Оксифер 314  
 Оксуполь 314  
 Ом 314  
 Ома закон 116  
 Оператор  
 – Гамильтона 314  
 – Лапласа 315  
 – скалярный 406  
 Опыт Араго 315  
 Опыты  
 – Сикстуса и Тонкса 315  
 – Эрстед 316  
 Ордината 316  
 Ориенткор 316  
 Ортоферриты 317  
 Ось  
 – легкого намагничивания 318  
 – легчайшего намагничивания 318  
 – магнитная 197  
 – магнитокристаллическая 234  
 – трудного намагничивания 318  
 Отдых 318  
 Отжиг 318  
 – выпрямляющий 65  
 – высокотемпературный 69  
 Отпуск 320

**П**  
 Падение магнитного напряжения 321  
 Парамагнетизм 322  
 Парамагнетик 323  
 Параметр физический 511  
 Параметры  
 – внешние 57  
 – внутренние 58  
 – макроскопические 260  
 Парообразование 323  
 Пассивация 323  
 Паули принцип 360  
 Пауэркор 324  
 Пельтье эффект 560  
 Перекристаллизация 325  
 Перемагничивание 325  
 Переохлаждение 325  
 Переход фазовый 496  
 Перенос конвективный 160  
 Перлит 326  
 Пермаллой 326  
 – зеренная структура 122  
 – молибденовый 277  
 – хромистый 517  
 Пермендюр 326  
 Перминвар 327  
 Петля магнитного гистерезиса 328  
 – асимметричная 37  
 – динамическая 91  
 – коэффициент квадратности 168  
 – коэффициент прямоугольности 169  
 – несимметричная 299  
 – перетянутая 325  
 – по магнитной индукции 329  
 – предельная 356  
 – прямоугольная 370  
 – семейство динамических петель 397  
 – семейство статических петель 397  
 – симметричная 404  
 – статическая 430  
 – частная 519  
 – эллиптическая 550  
 Петля магнитоотрицательного гистерезиса 331  
 Пик-трансформатор 331  
 Пластификатор 332  
 Пластичность 332  
 Пленка  
 – защитная 122  
 – окисная 314  
 – тонкая магнитная 468  
 Плоскость легкого намагничивания 333  
 Плотность  
 – зарядов объемная 310  
 – магнитного потока 333  
 – магнитной энергии 333  
 – магнитных зарядов объемная 310  
 – магнитных зарядов поверхностная 335  
 – магнитоупругой энергии предельная 356  
 – потока массы 333  
 – сил 333  
 – теплового потока 334

## Оглавление

### Предисловие

1. Предмет изучения.....	11
1.1. Понятие о нанотехнологии.....	13
1.2. Классификация нанобъектов.....	13
1.3. Размерные эффекты и свойства нанобъектов.....	14
1.4. Определение наночастицы.....	16
1.5. Характерные особенности нанобъектов.....	19
1.5.1. Кристаллическая решетка и магические числа . .	19
1.5.2. Геометрическая структура.....	20
1.5.3. Химическая активность и пассивация наночастиц. .	20
1.5.4. Электронная структура.....	21
1.5.5. Оптические свойства полупроводниковых наночастиц.....	22
1.5.6. Размерные эффекты и особенности наноструктур . .	23
1.5.7. Размерность объекта и электроны проводимости .	26
1.5.8. Ферми-газ и плотность состояний.....	27
1.5.9. Свойства, зависящие от плотности состояний ...	30
1.6. Что сулит нам развитие нанотехнологии?.....	31
2. Функциональные и конструкционные наноматериалы неорганической и органической природы.....	46
2.1. Углеродные наноструктуры.....	46
2.1.1. Фуллерены — новые перспективные материалы широкого применения в нанoeлектронике.....	46
2.1.1.1. Методы получения и разделения фуллеренов ....	49
2.1.1.2. Применение фуллеренов.....	50
2.1.2. Углеродные нанотрубки.....	57
2.1.2.1. Общие сведения.....	57
2.1.2.2. Методы получения нанотрубок.....	61
2.1.2.3. Электрические свойства.....	69
2.1.2.4. Механические свойства.....	72
2.1.2.5. Применение углеродных нанотрубок.....	74
2.2. Ленгмюровские молекулярные пленки.....	83
2.2.1. Общие сведения.....	83
2.2.2. Перенос монослоев на твердые тела. Наращивание мультислоев.....	86
2.2.3. Вещества, используемые для нанесения мультислоев .....	92
2.2.4. Некоторые свойства ленгмюровских пленок ....	93
3. Гетерогенные процессы формирования наноструктур и наноматериалов.....	95
3.1. Методы получения наночастиц из паровой фазы.....	95
3.2. Получение наночастиц в жидких средах.....	99
3.2.1. Поверхностно активные вещества (ПАВ).....	99
3.2.2. Методы восстановления и разложения в растворах.....	104
3.2.3. Восстановление в микроэмульсиях.....	109
3.2.4. Образование твердых частиц в микроэмульсиях.	110
3.3. Получение упорядоченных структур наночастиц ...	113
3.3.1. Самособранные монослои и мультислои.....	113
3.3.2. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях.....	117
3.3.3. Самоорганизованные коллоидные структуры ...	120
3.4. Получение гибридных полимер-неорганических нанокмполитов.....	125
3.4.1.Получение гибридных нанокмполитов золь-гель-методом.....	126
3.4.2. Получение наногибридных материалов мультиметаллического типа золь-гель-методом .	128
3.4.3. Интеркаляция полимеров в пористые и слоистые наноструктуры.....	129
3.4.4. Металлополимерные пленки Ленгмюра- Блуджетт — самоорганизованные гибридные	

наноккомпозиты.....	134
3.4.5. Электропроводящие свойства гибридных наноккомпозитов.....	136
3.4.6. Оптические и полупроводниковые свойства гибридных наноккомпозитов.....	138
3.4.7. Основные области применения гибридных наноккомпозитов.....	139
3.5. Наноструктурированные материалы.....	140
3.5.1. Разупорядоченные твердотельные наноструктуры. .	140
3.5.2. Методы наноструктурирования с использованием компактирования.....	143
3.5.3. Другие методы наноструктурирования.....	150
3.5.4. Осаждение наноструктурированных слоев на подложку.....	152
3.5.5. Причины разрушения и упрочнение поликристаллических материалов.....	155
3.5.6. Проблемы обработки наноматериалов.....	157
3.5.7. Влияние наноструктурирования объемного материала на магнитные свойства.....	158
3.5.8. Наноструктурированные многослойные материалы.....	165
4. Методы получения упорядоченных наноструктур . . .	171
4.1. Эпитаксия металлоорганических соединений из газовой фазы.....	172
4.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ).....	176
4.3. Самоорганизация при эпитаксиальном росте.....	187
4.4. МЛЭ и реализация идей сверхрешетки для устройств наноэлектроники.....	191
4.5. Возможности методов МЛЭ и ГФЭ МОС в наноэлектронике.....	197
4.6. Создание упорядоченных квантовых наноструктур. .	213
4.6.1. Концепция «сверху-вниз».....	213
4.6.2. Получение квантовых точек самосборкой атомов	

(концепция «снизу-вверх»).....	215
4.6.3. Происхождение и величина напряжения решетки с рассогласованными параметрами ...	217
4.6.4. Механизмы аккомодации и ослабления напряжения.....	218
4.6.5. Получение квантовых точек Ge самосборкой атомов («германиевая пирамида»).....	222
4.7. Формирование квантовых точек и проволок при ионном синтезе.....	227
4.7.1. Ионный синтез квантовых CoSi <sub>2</sub> проволок.....	228
4.7.2. Самоорганизованные квантовые точки SiO <sub>2</sub> /GeO <sub>2</sub> , полученные методом ионного синтеза.....	231
4.8. Примеры приборов на квантовых точках.....	236
4.9. Сборка наноструктур под влиянием механического напряжения.....	244
4.10. Автоматическая сборка наноструктур.....	245
4.11. Управляемая ДНК сборка наноструктур.....	246
5. Искусственное наноморфообразование.....	248
5.1. Напряженные полупроводниковые гетероструктуры и приготовление из них нанотрубок.....	248
5.1.1. Метод изготовления нанотрубок сворачиванием полупроводниковых гетерослоев.....	250
5.1.2. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей.....	254
5.1.3. Периодические квантовые твердотельные наноструктуры, сверхрешетки из квантовых точек. .	257
5.1.4. Свойства микро- и наноболочек.....	260
5.2. Репликация наноструктур «формированием» полимеров.....	261
6. Методы зондовой нанотехнологии.....	263
6.1. Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур .	263
6.1.1. Общие принципы работы сканирующих	



зондовых микроскопов.....	264
6.1.2. Нанотехнологический комплекс.....	267
6.1.3. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) . .	278
6.1.4. Атомно-силовой микроскоп (АСМ).....	284
6.1.5. Другие сканирующие микроскопы.....	294
6.2. Методы создания наноструктур с помощью СЗМ....	303
6.2.1. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии.....	303
6.2.2. Методы зондовой нанотехнологии.....	306
6.3. Методы записи информации.....	309
6.3.1. Методы записи, основанные на изменении геометрического рельефа поверхности.....	310
6.3.1.1. Прямая модификация рельефа поверхности (механический метод).....	310
6.3.1.2. Электронно-стимулированное осаждение или травление.....	311
6.3.1.3. Массоперенос с помощью острия.....	312
6.3.1.4. Термополевой способ записи.....	316
6.3.1.5. Атомная сборка.....	317
6.3.1.6. Квантовый «загон».....	322
6.3.2. Методы записи, основанные на изменении магнитной структуры поверхности.....	323
6.3.3. Оценка методов записи и считывания информации с использованием СТМ.....	324
6.3.4. Наностёкла — новая запоминающая среда ....	327
6.4. Электрохимический массоперенос.....	328
7. Пучковые и другие методы нанолитографии.....	333
7.1. Общие сведения.....	333
7.2. Рентгеновская литография.....	338
7.3. Электронная литография.....	352

7.4. Ионная литография.....	373
7.5. Возможности пучковых методов литографии.....	374
7.6. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография).....	382
7.6.1. Силовая СЗМ-литография.....	383
7.6.2. Токовая СЗМ-литография.....	384
7.6.3. Прямое нанесение рисунка с помощью СТМ (автоэмиссионный метод).....	386
7.6.4. Формирование рисунка в слое металла, полученного разложением металлоорганического соединения.....	387
7.6.5. Литография с использованием резиста.....	388
7.6.6. Совместное использование лазера и СТМ в нанолитографии.....	389
7.6.7. Ленгмюровские пленки — перспективный резистивный материал для нанолитографии . . .	390
7.6.8. Термомеханическая нанолитография.....	391
7.6.9. Перьевая нанолитография.....	393
7.6.10. Локальное анодное окисление зондом АСМ как метод нанолитографии.....	394
7.7. Литография наносферами.....	404
7.8. Нанопечатная литография (НПЛ).....	405
7.9. Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).....	419
Заключение.....	421
Литература.....	424

## Оглавление

Предисловие (К читателю). Ю. Д. Третьяков . . . . .	8
Предисловие . . . . .	9
<b>Глава 1. Классификация и методы получения нанокластеров и наноструктур . . . . .</b>	<b>16</b>
1.1. Молекулярные кластеры . . . . .	16
1.2. Газовые безлигандные кластеры . . . . .	17
1.2.1. Источники получения кластеров . . . . .	18
1.2.2. Масс-спектрометры и детектирование кластеров . . . . .	23
1.3. Коллоидные кластеры . . . . .	26
1.4. Твердотельные нанокластеры и наноструктуры . . . . .	28
1.5. Матричные нанокластеры и супрамолекулярные наноструктуры . . . . .	30
1.6. Кластерные кристаллы и фуллериты . . . . .	32
1.7. Компактированные наносистемы и наноконкомпозиты . . . . .	32
1.8. Тонкие наноструктурированные пленки . . . . .	34
1.9. Углеродные нанотрубки . . . . .	37
<b>Глава 2. Методы исследования . . . . .</b>	<b>40</b>
2.1. Дифракция электронов . . . . .	40
2.1.1. Дифракция медленных электронов . . . . .	41
2.1.2. Дифракция отраженных быстрых электронов . . . . .	46
2.2. Полевые методы . . . . .	47
2.2.1. Полевой электронный микроскоп . . . . .	47
2.2.2. Полевой ионный микроскоп . . . . .	50
2.3. Сканирующая зондовая микроскопия . . . . .	54
2.3.1. Сканирующая туннельная микроскопия . . . . .	54
2.3.2. Атомно-силовая и магнитно-силовая микроскопия . . . . .	57
2.4. Рентгеновская спектроскопия и дифракция . . . . .	60
2.4.1. Рассеяние на аморфных и частично упорядоченных объектах. Малоугловое рентгеновское рассеяние . . . . .	65
2.4.2. Рентгеновская спектроскопия поглощения: EXAFS, XANS, NEXAFS . . . . .	66
2.5. Электронная спектроскопия . . . . .	69
2.5.1. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия . . . . .	69
2.5.2. Ультрафиолетовая электронная спектроскопия . . . . .	73
2.5.3. Электронная Оже-спектроскопия . . . . .	78
2.6. Оптическая и колебательная спектроскопия . . . . .	83

2.6.1. Оптическая спектроскопия . . . . .	83
2.6.2. Колебательная спектроскопия . . . . .	87
2.7. Мессбауэровская (гамма-резонансная) спектроскопия . . . . .	93
2.7.1. Адсорбционная и эмиссионная МС . . . . .	95
2.7.2. Рэлееское рассеяние мессбауэровского излучения . . . . .	100
2.7.3. Мессбауэровская спектроскопия конверсионных электронов . . . . .	102
2.7.4. Временная МС резонансного рассеяния вперед . . . . .	103
2.7.5. Неупругое ядерное резонансное рассеяние . . . . .	106
2.8. Методы радиоспектроскопии . . . . .	108
2.8.1. Ядерный магнитный резонанс . . . . .	109
2.8.2. Электронный парамагнитный резонанс . . . . .	111
<b>Глава 3. Поверхность твердых тел. Микроскопические аспекты . . . . .</b>	<b>115</b>
3.1. Атомные и молекулярные орбитали . . . . .	115
3.2. Поверхность монокристаллов, нанокластеров и пористых сорбентов . . . . .	119
3.3. Примесные атомы на поверхности . . . . .	122
3.4. Поверхность металлов и оксидов металлов (электронные свойства) . . . . .	127
3.5. Поверхность металлов и оксидов металла (магнитные свойства) . . . . .	130
3.6. Поверхностные центры кислотного и основного типа . . . . .	134
3.7. Адсорбция . . . . .	135
3.8. Примеры адсорбции . . . . .	138
3.9. Катализ. Примеры каталитических превращений с участием поверхности твердого тела и нанокластеров . . . . .	145
<b>Глава 4. Термодинамические аспекты поверхности . . . . .</b>	<b>154</b>
4.1. Химический потенциал . . . . .	154
4.2. Свободная энергия Гиббса и свободная энергия Гельмгольца . . . . .	155
4.3. Термодинамика поверхности и поверхностей раздела . . . . .	158
4.4. Термодинамика криволинейной поверхности . . . . .	162
4.5. Структура поверхности и межфазных границ . . . . .	167
4.6. Нуклеация и рост нанокластеров в нанопорах вещества . . . . .	170
4.7. Нуклеация и рост кластеров гидроксида железа в нанопорах (экспериментальное приложение термодинамических параметров) . . . . .	174
4.8. Нуклеация и рост кластеров на основе твердотельных реакций . . . . .	178
4.9. Твердотельная нуклеация и рост кластеров. Пример термического разложения оксалата железа . . . . .	180
<b>Глава 5. Кластерные модели . . . . .</b>	<b>186</b>
5.1. Микроскопическая модель внутрикластерной атомной динамики . . . . .	186
5.2. Термодинамическая модель кластера . . . . .	189



5.3. Квантово-статистическая модель . . . . .	192
5.4. Компьютерные модели кластеров . . . . .	197
5.5. Фрактальные модели кластеров . . . . .	204
5.6. Оболочечные модели кластера . . . . .	208
5.7. Структурная модель кластеров . . . . .	217
<b>Глава 6. Молекулярные лигандные кластеры . . . . .</b>	<b>220</b>
6.1. Молекулярные кластеры металлов . . . . .	220
6.2. Свойства металлических молекулярных кластеров . . . . .	226
6.3. Кластеры на основе оксидов металлов . . . . .	230
6.4. Свойства оксометаллических молекулярных кластеров . . . . .	236
<b>Глава 7. Безлигандные металлические кластеры . . . . .</b>	<b>241</b>
7.1. Кластеры щелочных металлов и серебра . . . . .	242
7.1.1. Ионизация $s^1$ кластеров . . . . .	242
7.1.2. Сродство к электрону . . . . .	245
7.1.3. Стабильность $s^1$ кластеров . . . . .	248
7.1.4. Оптические свойства $s^1$ кластеров . . . . .	254
7.2. Кластеры алюминия . . . . .	259
7.2.1. Энергия ионизации кластеров алюминия . . . . .	259
7.2.2. Поляризуемость кластеров алюминия . . . . .	262
7.2.3. Диссоциация кластеров алюминия . . . . .	263
7.2.4. Реакционная способность кластеров алюминия . . . . .	265
7.3. Кластеры ртути . . . . .	266
7.4. Кластеры переходных металлов . . . . .	270
7.4.1. Энергия ионизации . . . . .	270
7.4.2. Сродство к электрону . . . . .	271
7.4.3. Магнитные свойства кластеров . . . . .	274
7.4.4. Стабильность и диссоциация кластеров . . . . .	277
<b>Глава 8. Углеродные кластеры . . . . .</b>	<b>282</b>
8.1. Малые углеродные кластеры . . . . .	282
8.2. Фуллерены . . . . .	286
8.2.1. Формирование фуллеренов . . . . .	287
8.2.2. Фрагментация фуллеренов . . . . .	289
8.2.3. Энергии ионизации и энергия сродства к электрону . . . . .	290
8.2.4. Эндоздральные фуллерены . . . . .	292
8.2.5. Экзоздральные фуллерены . . . . .	294
8.2.6. Фуллерены замещения . . . . .	299
<b>Глава 9. Кластеры инертных газов и малых молекул . . . . .</b>	<b>305</b>
9.1. Кластеры инертных газов . . . . .	305
9.1.1. Нейтральные кластеры инертных газов . . . . .	307
9.1.2. Положительно заряженные кластеры инертных газов . . . . .	312
9.2. Кластеры малых молекул . . . . .	313
9.2.1. Структура кластеров . . . . .	314
9.2.2. Электронно-колебательная структура и спектроскопия . . . . .	316

9.2.3. Фотодиссоциация кластеров . . . . .	320
9.2.4. Кластеры воды . . . . .	322
<b>Глава 10. Кластерные реакции . . . . .</b>	<b>325</b>
10.1. Модель РРК . . . . .	326
10.2. Модель РРКМ и переходное состояние . . . . .	326
10.3. Модель фазового пространства . . . . .	329
10.4. Определение энергий диссоциации с помощью моделей кластерных реакций . . . . .	332
10.5. Реакции рекомбинации . . . . .	333
10.6. Реакции обмена . . . . .	334
10.7. Реакции присоединения . . . . .	335
10.7.1. Реакции присоединения водорода . . . . .	336
10.7.2. Реакции кластеров молибдена с молекулярным азотом . . . . .	341
<b>Глава 11. Коллоидные кластеры и наноструктуры . . . . .</b>	<b>346</b>
11.1. Формирование коллоидных наносистем . . . . .	346
11.1.1. Золи и их формирование . . . . .	346
11.1.2. Мицеллы . . . . .	348
11.1.3. Микроэмульсии . . . . .	350
11.1.4. Формирование кластеров в микроэмульсиях . . . . .	350
11.1.5. Организация и самоорганизация коллоидных структур . . . . .	352
11.2. Оптические и электронные свойства коллоидных кластеров . . . . .	356
11.2.1. Оптические свойства кластеров металлов и плазмонные колебания . . . . .	357
11.2.2. Оптические свойства полупроводниковых кластеров . . . . .	361
11.2.3. Электронная релаксация в коллоидных кластерах . . . . .	363
11.2.4. Одноэлектронный перенос в кластерах . . . . .	365
<b>Глава 12. Фуллериты и углеродные нанотрубки . . . . .</b>	<b>367</b>
12.1. Фуллериты . . . . .	367
12.2. Углеродные нанотрубки . . . . .	371
12.2.1. Структура нанотрубок . . . . .	373
12.2.2. Электронные свойства нанотрубок . . . . .	382
12.2.3. Нанопустройства на основе УНТ . . . . .	389
<b>Глава 13. Твердотельные нанокластеры и наноструктуры. Тонкие пленки. Механические и тепловые свойства . . . . .</b>	<b>396</b>
13.1. Формирование твердотельных нанокластеров . . . . .	396
13.1.1. Твердотельные химические реакции . . . . .	397
13.1.2. Механохимические превращения . . . . .	406
13.1.3. Ударно-волновой синтез . . . . .	410
13.1.4. Наноструктурирование под действием давления со сдвигом . . . . .	411
13.1.5. Наноструктурирование путем кристаллизации аморфных структур . . . . .	412
13.1.6. Компактирование (консолидация) нанокластеров . . . . .	414
13.2. Структурные особенности твердотельных наноструктур . . . . .	415

13.2.1. Дефекты и напряжения в наноструктурах . . . . .	415
13.2.2. Структурные фазовые переходы в наноструктурах . . . . .	421
13.3. Механические свойства нанокластеров и наноструктур . . . . .	423
13.4. Тепловые свойства . . . . .	428
13.4.1. Плавление нанокластеров . . . . .	428
13.4.2. Теплоемкость нанокластеров . . . . .	431
13.4.3. Термическое расширение . . . . .	434
13.5. Тонкие пленки . . . . .	435
<b>Глава 14. Матричные и супрамолекулярные нанокластеры и наноструктуры . . . . .</b>	<b>445</b>
14.1. Нанокластеры металлов и оксидов металлов в матрице органических веществ . . . . .	445
14.2. Макромолекулярные и супрамолекулярные наноструктуры . . .	454
14.3. Белки, полинуклеатиды и биологические объекты . . . . .	462
14.4. Внутримолекулярная динамика биополимеров . . . . .	468
<b>Глава 15. Оптические и электронные свойства наносистем и наноматериалов. Оптические наноустройства . . . . .</b>	<b>485</b>
15.1. Оптические свойства наносистем . . . . .	485
15.1.1. Наносистемы на основе металлических нанокластеров . . . . .	486
15.1.2. Наносистемы на основе полупроводниковых кластеров . . . . .	490
15.1.3. Фоонные нанокристаллы и пористый кремний . . . . .	494
15.1.4. Полупроводниковые наноструктуры и наноустройства . . . . .	496
15.2. Электропроводимость наноструктур . . . . .	506
15.2.1. Электропроводимость трехмерных, двумерных и одномерных наноструктур . . . . .	507
15.2.2. Электропроводящие устройства . . . . .	513
15.2.3. Интеграции наноструктур в электронные устройства . . . . .	518
<b>Глава 16. Магнитные свойства наноструктур . . . . .</b>	<b>522</b>
16.1. Суперпарамагнетизм . . . . .	523
16.2. Намагниченность и квантовое магнитное туннелирование . . . .	534
16.2.1. Намагниченность нанокластеров и наноструктур . . . . .	535
16.2.2. Квантовое магнитное туннелирование . . . . .	542
16.3. Гигантское магнетосопротивление . . . . .	545
16.4. Магнитные фазовые переходы . . . . .	550
16.4.1. Наносистемы с изолированными кластерами . . . . .	552
16.4.2. Наноструктуры . . . . .	566
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>585</b>



<b>Глава 5. Глобальные проблемы и международные экономические отношения .....</b>	<b>159</b>
5.1. Понятие глобальных проблем .....	159
5.2. Эволюция восприятия экологических проблем .....	160
5.3. Становление и развитие экологии как науки .....	162
5.4. Экология и экономика: особенности современных подходов к международному сотрудничеству .....	164
5.5. Экономические и технические возможности разрешения экологических противоречий .....	171
5.6. Концепция экологически устойчивого развития .....	185
5.7. Нужно ли пересматривать ценности .....	195
5.8. Глобальные экоизменения и человек .....	200
5.9. Китай, Индия и глобальные проблемы .....	204
5.10. Животноводство в глобальной перспективе .....	209
5.11. Охрана экосистем пресной воды .....	211
5.12. Альтернативные источники энергии .....	213
5.13. Развитие нанотехнологий .....	215
5.14. Химическое загрязнение .....	217
5.15. Природные катастрофы и локальные конфликты .....	218
5.16. Роль корпораций в обеспечении устойчивого развития .....	218
Контрольные вопросы .....	221



<b>Глава 9. ХИМИЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ</b>	189
9.1. Вопреки законам Мерфи	189
9.2. Твердотельные технологии и закон Мура	190
9.3. Чудеса остроумия и изящества	192
9.4. Реальные технологии	196
9.4.1. Изменчивость	196
9.4.1.1. Качели	196
9.4.1.2. Чистота	197
9.4.1.3. Инверсия	198
9.4.1.4. Возрастные изменения	199
9.4.1.5. Дисбаланс	199
9.4.1.6. Погоня за тенью	200
9.4.2. Химики изобретают	201
9.4.2.1. Буфер	201
9.4.2.2. Крауны	203
9.4.2.3. Микрокапсулирование	205
9.4.2.4. Вечный двигатель	206
9.4.2.5. Методом Карла Фишера	206
9.5. Нанотехнологии	208
9.5.1. Алхимикам на зависть	208
9.5.2. Нанотрубки	209
9.6. Химия — это самая сложная физика	211
Литература	212
<b>Глава 10. ВЗГЛЯД СО СТОРОНЫ</b>	214
10.1. ТРИЗ в радиотехнике	214
10.1.1. Об универсальности	214
10.1.2. Термостат	216
10.1.3. Net	217
10.1.3.1. Размышления о физическом смысле	217
10.1.3.2. Размышления об идеальности	218
10.1.4. Загадочное слово	220
10.2. ТРИЗ в программировании	221
Литература	224
<b>Глава 11. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХИРОМАНТИЯ</b>	225
11.1. Куда катится колесо?	225
11.2. Печатные платы — линии развития	226
11.2.1. Историческая справка	226
11.2.2. Точка—линия—плоскость—объем—...?	228
11.2.3. Динамизация	231
11.2.4. Преодоление противоречий	234
11.2.5. Переход на микроуровень	239

4.1. Кинетическая теория разрушения твердых тел.....	177
4.2. Мезомеханика разрушения твердых тел.....	184
4.3. Синергетика в преддверии РГП.....	189
4.4. Нанонаука и нанотехнология.....	192
Список литературы.....	197
Заключение.....	199



# Оглавление

<b>Предисловие</b> . . . . .	v
<b>ГЛАВА 1. Введение</b> . . . . .	1
<b>ГЛАВА 2. Элементарные частицы, ядра и атомы</b> . . . . .	4
2.1. Фундаментальные элементарные частицы . . . . .	4
2.2. Взаимодействия между частицами . . . . .	6
2.3. Составные элементарные частицы . . . . .	9
2.4. Превращения элементарных частиц . . . . .	11
2.5. Ускорители элементарных частиц . . . . .	14
2.6. Ядра . . . . .	16
2.7. Ядерные реакции . . . . .	18
2.8. Атомы — основные единицы вещества . . . . .	21
2.9. Квантовое движение и состояния типа «шредингеровского кота» . . . . .	23
<b>ГЛАВА 3. Применения физики</b> . . . . .	26
3.1. Магнитный резонанс . . . . .	26
3.2. Нанотехнология . . . . .	31
3.3. Сверхпроводники . . . . .	32
3.4. Цунами . . . . .	36
3.5. Квантовые вычисления . . . . .	37
3.6. Квантовая телепортация . . . . .	38

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие сенаторов Джозефа Либермана и Джорджа Аллена	14
----------------------------------------------------------	----

Предисловие редактора	15
-----------------------	----

Сведения о редакторе и составителе сборника	20
---------------------------------------------	----

## РАЗДЕЛ I. РУКОВОДСТВО И ОРГАНИЗАЦИЯ

Глава 1. Уроки инновационной политики и коммерциализации, связанные с биотехнологической революцией	21
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

1.1. История биотехнологии	22
1.2. Концепция 1. Уроки S-образной кривой	25
1.3. Концепция 2. Уроки коммерциализации технических новшеств	28
1.4. Общие выводы из анализа S-образных кривых развития любых технологий	29
1.5. Общие выводы из анализа коммерческих инноваций в области биотехнологий	30
1.6. Будущее нанотехнологии	30
Литература	33

Глава 2. Нанотехнология и глобальная энергетика	34
-------------------------------------------------	----

2.1. Транспортировка и хранение энергии	37
2.2. Энергия для всех	39

Глава 3. Причудливые, странные и туманные перспективы нанотехнологии.	
-----------------------------------------------------------------------	--

Корабль в Саргассовом море с опасными капризами моды и агрессивными требованиями рекламы	40
------------------------------------------------------------------------------------------	----

3.1. Как не ошибиться в поисках успеха?	41
3.2. Агрессивная реклама	43
3.3. Факторы, затрудняющие прогнозирование	46
3.4. Добродетельный круг	48
3.5. Превращение науки в технологию и бизнес	51
3.6. Возвращение к реальности	52
Литература	53

## РАЗДЕЛ II. УЧАСТНИКИ ГОНКИ

Глава 4. Коммерциализация нанотехнологии.	
-------------------------------------------	--

Работает ли закон Мура в микро- и нанoeлектронике?	54
----------------------------------------------------	----

4.1. Экспоненты технологического роста	55
4.2. Закон Мура	57
4.2.1. Важность закона Мура	58
4.2.2. Проблемы современной парадигмы	61
4.3. Молекулярная электроника	62

4.4. Коммерциализация нанотехнологии	65
4.4.1. Инновации происходят на границе познания	66
4.4.2. Хронология событий на рынке нанотехнологий	68
4.4.3. Проблема вертикальной интеграции стандартов и технических условий	70
4.4.4. Проблемы взаимодействия	71
4.4.5. Как выглядит масштабная иерархия в молекулярной нанотехнологии?	72
4.4.5.1. Построение структур методом «сверху вниз». «Путь чипа»	72
4.4.5.2. Биологический подход, или развитие технологии «снизу вверх»	74
4.4.5.3. Поучительный пример — гибридная молекулярная электроника	76
4.4.6. Проблемы интеллектуальной собственности в разных моделях бизнеса	77
4.5. Системы, программное обеспечение и другие абстракции	78
4.5.1. Биологическая муза нанотехнологий	79
4.5.2. Ускорители нанотехнологии. Квантовое моделирование и масштабные эксперименты	82
4.6. Попытки прогнозирования	84
4.6.1. Краткосрочная перспектива, быстрое получение прибыли	85
4.6.2. Среднесрочная перспектива	85
4.6.3. Далекая перспектива	85
4.7. Этические проблемы. Гены, мемы и оцифровывание	86
4.8. Заключение	87
Глава 5. Инвестиции в нанотехнологию	88
5.1. Инвестирование венчурного капитала	88
5.1.1. Вложение венчурных капиталов в нанотехнологии	89
5.1.2. Нанотехнологические инновационные фирмы	90
5.2. Нанотехнологические компании и открытые рынки	92
Глава 6. Государственная политика США в области наноауки и нанотехнологии	96
6.1. Национальная нанотехнологическая инициатива (ННИ) и Акт о развитии нанотехнологии в XXI веке	98
6.2. Научные исследования и развитие	100
6.2.1. Участие федерального правительства в развитии нанотехнологий. Проблема разделения фундаментальных и прикладных исследований	102
6.3. Образование и подготовка научных и технических кадров	103
6.4. Оборудование и аппаратура	104
6.5. Передача технологии	105
6.6. Проблема ответственности за развитие нанотехнологий	107
6.6.1. Существующее законодательство и ответственное развитие нанотехнологий	108

6.6.2. Юридические проблемы организации исследований	108
6.6.3. Проблемы контроля	109
Литература	111
<b>Глава 7. Обзор академических исследований США в области нанотехнологий</b>	<b>112</b>
7.1. Механизмы финансирования исследований Национальным научным фондом США (NSF)	113
7.1.1. Центры по нанонауке и наноинженерии (Nanoscale Science and Engineering Centers, NSEC)	113
7.1.2. Гранты на поисковые работы в области нанотехнологий	116
7.1.3. Национальная сеть нанотехнологической инфраструктуры (National Nanotechnology Infrastructure Network, NNIN)	116
7.1.4. Сеть вычислительной нанотехнологии (Network for Computational Nanotechnology, NCN)	116
7.1.5. Программы образования и подготовки технических кадров	117
7.2. Главные направления исследований, финансируемых ННИ и ННФ	117
7.3. Направления исследований в будущем	123
7.4. Поддержка специальных направлений академических исследований со стороны некоторых ведомств, связанных с ННИ	124
7.5. Заключение	126
Литература	127
<b>Глава 8. Механизмы передачи и использования результатов академических исследований в области нанотехнологий</b>	<b>128</b>
8.1. Не существует стандартных методов передачи технологий!	131
8.2. Почему университеты занимаются передачей технологий?	132
8.3. Как происходит передача технологии?	132
8.3.1. Источники технологии	133
8.3.2. Какими мотивами руководствуется администрация, раскрывая информацию?	134
8.3.3. Необходимость создания атмосферы доверия	134
8.3.4. Особенности академической деятельности и культуры	135
8.3.4.1. Проблема публикации результатов	136
8.3.4.2. Отделы передачи технологий и администрация университетов	137
8.3.5. Варианты деловых отношений	138
8.3.5.1. Лицензирование	138
8.3.5.2. Сотрудничество с профессорско-преподавательским составом и самими исследователями	139
8.3.5.3. Стратегическое партнерство со стартовыми компаниями, связанными с университетами	139
8.3.5.4. Специальные виды финансирования научно-исследовательских работ	140
8.3.5.5. Основные и побочные исследования	140

8.3.6. Риски	140
8.3.6.1. Судебные риски, связанные с лицензированием	141
8.3.6.2. Риски, связанные с научными консультациями	141
8.3.6.3. Другие риски возникновения судебных разбирательств	142
8.4. Заключение	143
8.5. Примечания	143
<b>Глава 9. Проблемы охраны интеллектуальной собственности</b>	<b>145</b>
9.1. Методы защиты прав на интеллектуальную собственность	146
9.1.1. Патенты	146
9.1.2. Коммерческие секреты	148
9.1.3. Торговые марки и фабричные знаки	148
9.1.4. Авторские права (копирайт)	149
9.2. Законодательные (статутные) требования	149
9.2.1. Реализация патентных прав	152
9.2.2. Временное и постоянное использование патентов	153
9.2.3. Вызовы и проблемы, связанные с интеллектуальной собственностью. Ограничения на инновации	154
9.2.4. Судебные разбирательства	155
9.2.5. Проблемы, связанные с финансированием исследований	156
9.3. Заключение	156
<b>Глава 10. Предпринимательство в технологической экосистеме</b>	<b>157</b>
10.1. Биологические аналогии. Львы, тигры и медведи: какую роль играют предприниматели в технической экосистеме?	158
10.2. Сила идеи. Какую идею можно назвать действительно хорошей?	162
10.3. Один человек способен изменить судьбы мира: кем является предприниматель?	164
10.4. Думать о будущем, анализируя прошлое. Что делают предприниматели?	166
10.5. Хорошие, плохие или ужасные. Чего следует ждать каждому предпринимателю?	168
10.6. Стоит ли вообще заниматься предпринимательством и инновациями?	171
<b>Глава 11. Большие корпорации. Технология, бизнес и культура «удачи»</b>	<b>173</b>
11.1. Культура использования возможностей: модели и циклы	174
11.2. Поиски чаши святого Грааля	176
<b>Глава 12. Развитие нанотехнологий в федеральных лабораториях США</b>	<b>179</b>
12.1. Роль и значение федеральных лабораторий	180
12.2. Передача технологий	182
12.3. Заключение	183
<b>РАЗДЕЛ III. МАТЕРИАЛЫ И ПРОИЗВОДСТВО</b>	
<b>Глава 13. Наноматериалы</b>	<b>184</b>
13.1. Общее введение и содержание	184



13.2. Наночастицы	186
13.2.1. Применение наночастиц	187
13.2.2. Производство наночастиц	190
13.2.3. Общий обзор состояния производства наночастиц	191
Литература	192
13.3. Углеродные нанотрубки	193
13.3.1. Необычные свойства нанотрубок	195
13.3.2. Проблемы получения и промышленного производства нанотрубок	196
13.3.3. Возможности применения	198
Литература	201
13.4. Нанопроволоки	201
13.4.1. Применение нанопроволок	204
13.4.1.1. Биологические датчики на основе нанопроволок	204
13.4.1.2. Светоизлучающие диоды с пересечением р-п-переходов	204
13.4.1.3. Логические устройства на основе нанопроволок	205
13.4.2. Наноструктуры с полярными поверхностями	206
13.5. Мягкая нанотехнология	208
<b>Глава 14. Нанодатчики: разработки, перспективы и разнообразие применения</b>	<b>213</b>
14.1. Возможности	215
14.1.1. Неотвратимое объединение	216
14.1.2. Методы обработки материалов	218
14.1.3. Разнообразие наноматериалов	218
14.1.4. Новые типы инструментов и приборов	220
14.2. Реальное состояние исследований в настоящее время	220
14.2.1. Реальные проблемы проектирования нанодатчиков	221
14.2.2. Риски коммерциализации	221
14.3. Разнообразие возможностей	222
14.3.1. Физические датчики	222
14.3.2. Химические датчики	223
14.3.3. Биодатчики	224
14.3.4. Датчики массового и военного применения	225
Литература	227
<b>Глава 15. Микроэлектроника</b>	<b>229</b>
15.1. Стратегия производства нанотехнологических продуктов	230
15.1.1. Возможные перспективы	232
15.1.2. Определение синергетических связей	233
15.2. Современное состояние микроэлектронных технологий	235
15.2.1. Перспективные нанoeлектронные технологии	240
Литература	249
15.3. Фотоника	249
Общие выводы	253
<b>Глава 16. Адресная доставка лекарств</b>	<b>254</b>
16.1. Использование нанотехнологий для направленной доставки препаратов	256

16.1.1. Наночастицы и направленная доставка препаратов	257
16.1.1.1. Полимерные конъюгаты	258
16.1.1.2. Полимерные мицеллы (самоорганизация структур из полимеров и препарата)	259
16.1.1.3. Полимерные наночастицы (дисперсия или инкапсуляция лекарственных препаратов в полимерных структурах)	260
16.1.1.4. Полиплексы (комплексы полимеров и нуклеиновых кислот, образуемые при взаимодействии с обменом зарядов)	261
16.1.1.5. Липосомы	262
16.1.1.6. Неорганические и металлические наночастицы	263
16.1.2. Имплантируемые устройства доставки лекарственных препаратов	263
16.1.2.1. Нанопористые мембраны	264
16.1.2.2. Биочипы	264
16.1.3. Трансдермальное введение лекарственных препаратов	266
16.2. Тенденции развития методов доставки препаратов	267
Литература	268

<b>Глава 17. Слияние био-нано-информационных технологий</b>	<b>269</b>
17.1. Наблюдение нанообъектов	272
17.2. Возможности манипуляции атомами и молекулами	273
17.2.1. Исследование и описание свойств ДНК/РНК	274
17.3. Другие возможности описания	276
17.4. Интеграция на атомарно-молекулярном уровне	277
17.5. Возникающие и самоорганизующиеся структуры	278
Выводы	281
Благодарности	283
Литература	283

#### РАЗДЕЛ IV. КОНВЕРГЕНЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ

<b>Глава 18. Конвергенция и интеграция</b>	<b>285</b>
18.1. Рамки научно-технического развития	286
18.1.1. Возможности	288
18.1.2. Критерии прогресса	290
18.2. Обзор состояния и перспектив промышленности	291
Заключение	294
Литература	295
<b>Глава 19. Этические проблемы, связанные с развитием нанотехнологий</b>	<b>296</b>
19.1. Сущность этических проблем	297
19.2. Этика индивидуального поведения	300
19.3. Некоторые замечания, специфичные для нанотехнологий	301
19.4. Конвергенция технологий	303
19.5. Практические рекомендации	304
Литература	305

**ЭПИЛОГ**

<b>Глава 20. Инфинитезимальные машины</b>	<b>310</b>
20.1. Мысли о лекции «Внизу полным-полно места»	311
20.2. Какими возможностями мы обладаем сегодня?	312
20.3. Как можно изготавливать крошечные машины?	315
20.4. Какое применение могут иметь эти малые машины?	317
20.5. Электростатические приводы	320
20.6. Подвижные микророботы	321
20.7. Изготовление точных изделий грубыми инструментами	323
20.8. Трение и прилипание	325
20.9. Вычисления с использованием атомов	326
20.10. Обратимость вычислительных и управляющих процессов	327
20.11. Электрон как вычислительная машина	330
20.12. Тепловыделение в квантовых компьютерах	331
<b>Акронимы и аббревиатуры</b>	<b>335</b>
<b>Дополнение. Оборудование для исследований в nano- и микроэлектронике</b>	<b>337</b>

17.4.4	Потенциометрические датчики .....	518
17.4.5	Кондуктометрические датчики .....	519
17.4.6	Амперометрические датчики .....	520
17.4.7	Каталитические детекторы газов .....	522
17.4.8	Эластомерные химические резисторы .....	523
17.5	Составные датчики .....	524
17.5.1	Тепловые датчики .....	524
17.5.2	Каталитические датчики Пелистера .....	525
17.5.3	Оптические химические датчики .....	526
17.5.4	Гравиметрические детекторы .....	528
17.5.5	Биохимические датчики .....	531
17.5.6	Энзимные датчики .....	532
17.6	Химические детекторы в составе аналитических приборов .....	532
17.6.1	Хеометрия .....	535
17.6.2	Измерения при помощи нескольких датчиков .....	536
17.6.3	Датчики обоняния .....	537
17.6.4	Нейронные сети для обработки информации датчиков обоняния ....	540
17.6.5	Интеллектуальные химические датчики .....	542
	Литература .....	543

## Глава 18

МАТЕРИАЛЫ ДАТЧИКОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ .....		545
18.1	Материалы .....	545
18.1.1	Применение кремния для изготовления датчиков .....	545
18.1.2	Пластмассы .....	549
18.1.3	Металлы и сплавы .....	553
18.1.4	Керамические материалы .....	555
18.1.5	Стекла .....	556
18.2	Поверхностные технологии .....	557
18.2.1	Нанесение тонких и толстых пленок .....	557
18.2.2	Литье при вращении .....	557
18.2.3	Термовакuumное напыление .....	557
18.2.4	Ионное распыление .....	558
18.2.5	Химическое осаждение из газовой фазы .....	559
18.3	Нано-технологии .....	560
18.3.1	Фотолитография .....	560
18.3.2	Методы обработки кремния .....	561
18.3.2.1	Основные методы .....	562
18.3.2.1.1	Нанесение тонких пленок .....	562
18.3.2.1.2	Жидкостное травление .....	562
18.3.2.1.3	Травление с барьерным слоем .....	564
18.3.2.1.4	Сухое травление .....	565
18.3.2.1.5	Метод обратной литографии .....	565
18.3.2.2	Соединение подложек .....	566
	Литература .....	566

Приложение. Единицы физических величин.

Справочные данные по физическим характеристикам материалов .....	567
------------------------------------------------------------------	-----



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	11
<b>Глава 1. Открытие фуллеренов и их место среди углеродных материалов</b> .....	16
1.1. История открытия Бакминстерфуллера.....	16
1.2. Фуллерены среди других углеродных материалов.....	24
1.2.1. Графит .....	25
1.2.2. Алмаз .....	27
1.2.3. Другие углеродные материалы .....	28
1.3. Фуллерит как метастабильная фаза .....	32
<b>Литература</b> .....	41
<b>Глава 2. Синтез фуллеренов и нанотрубок</b> .....	42
2.1. Установки для синтеза .....	42
2.1.1. Методы синтеза фуллеренов .....	42
2.1.1.1. Лазерное испарение графита .....	42
2.1.1.2. Электродуговой синтез .....	43
2.1.1.3. Установка SOLAR-1 .....	47
2.1.2. Методы синтеза эндоэдральных производных фуллеренов .....	47
2.1.3. Установки для синтеза нанотрубок .....	50
2.1.3.1. Открытие углеродных нанотрубок .....	50
2.1.3.2. Синтез многостенных нанотрубок .....	51
2.1.3.3. Синтез одностенных нанотрубок .....	53
2.2. Выделение и очистка.....	54
2.2.1. Выделение и очистка фуллеренов.....	54

2.2.2. Выделение и разделение эндоэдральных фуллеренов .....	61
2.2.3. Методы выделения углеродных нанотрубок, их очистка и физико-химические свойства.....	64
2.2.3.1. Выделение и очистка нанотрубок .....	64
2.2.3.2. Некоторые химические и физико-химические свойства углеродных нанотрубок .....	65
2.3. Механизм образования фуллеренов.....	67
2.3.1. Вводные замечания .....	67
2.3.2. Ранние модели.....	70
2.3.3. Ионная хроматография .....	73
2.3.4. Бимолекулярные реакции .....	81
2.3.5. Термодинамические аспекты.....	85
<b>Литература</b> .....	93
<b>Глава 3. Структура фуллеренов и нанотрубок</b> .....	95
3.1. Топология и стабильность фуллеренов .....	95
3.2. Геометрическая, электронная и колебательная структура фуллеренов .....	104
3.3. Углеродные нанотрубки.....	111
<b>Литература</b> .....	114
<b>Глава 4. Эндоэдральные фуллерены</b> .....	116
4.1. Введение .....	116
4.2. Особенности синтеза эндоэдральных фуллеренов .....	117
4.3. Доказательства эндоэдральной природы металлофуллеренов .....	118
4.4. Эндоэдральные частицы в металлофуллеренах.....	120
4.5. Особенности взаимодействия атома металла с углеродным каркасом .....	122
4.6. Особенности изомерии эндоэдральных соединений.....	127
4.7. Ионизационные характеристики эндоэдральных молекул .....	130
4.8. Химические свойства металлофуллеренов.....	132
4.9. Возможные применения эндоэдральных фуллеренов.....	134
<b>Литература</b> .....	135



## Оглавление

Предисловие. . . . .	3
Рецензия. . . . .	4
Введение. . . . .	6
1. Проблемы рационального нефтеизвлечения. . . . .	10
2. Формирование нанонауки. . . . .	14
3. Объекты нанонауки и нанотехнологий. . . . .	16
4. Наноявления в геологии и геофизике. . . . .	20
Пример 4.1. Начальная нефтенасыщенность в газовых шапках. . . . .	25
Пример 4.2. Изменения геофизических характеристик прискважинной зоны. . . . .	26
5. Нанотехнологии для добычи нефти и газа. . . . .	31
Пример 5.1. Гидрофобная наножидкость для скважинных операций. . . . .	35
Пример 5.2. Микробиологическое поражение эксплуатационных скважин. . . . .	35
Пример 5.3. Обработка цементных растворов магнитным полем. . . . .	36
Пример 5.4. Разрушение бронирующих оболочек водонефтяной эмульсии. . . . .	38
Пример 5.5. Регулирование образования АСПО в скважинах. . . . .	40
Пример 5.6. Извлечение ценных элементов из продукции скважин. . . . .	44
Пример 5.7. Утилизация низконапорного газа. . . . .	47
6. Наноявления в нефтегазовых пластах. . . . .	48
Пример 6.1. Изменения упругоэластичности пласта. . . . .	49
Пример 6.2. Особенности компонентообмена при вытеснении нефти. . . . .	55
Пример 6.3. Влияние пористой среды на фазовые равновесия. . . . .	58
7. Классификация нанотехнологий в добыче нефти и газа. . . . .	60
8. Особенности гидратообразования. . . . .	64
Пример 8.1. Регулирование гидратообразования на основе иона метония. . . . .	67

9. Влияние углеводородных ассоциатов в нефти на характер закона фильтрации. . . . .	68
Пример 9.1. Термополимерные технологии. . . . .	69
Пример 9.2. Реагентное снижение вязкости нефти. . . . .	71
10. Механизм вытеснения нефти в пористых средах. . . . .	73
Пример 10.1. Влияние макродисперсности нефти на КИН. . . . .	76
Пример 10.2. Особенности фильтрации низкоконцентрированных растворов. . . . .	79
11. Особенности гистерезисных эффектов в нефтегазовых пластах. . . . .	81
12. Влияние пластовых электрических зарядов на динамику добычи нефти. . . . .	82
13. Особенности регулирования ионнообмена в глинистых минералах. . . . .	84
Пример 13.1. Глиностабилизация. . . . .	88
Пример 13.2. Магнитнохимическое воздействие. . . . .	89
Пример 13.3. Виброхимическое воздействие. . . . .	91
Пример 13.4. Применение термонеустойчивых агентов. . . . .	92
Пример 13.5. Электровоздействие. . . . .	95
Пример 13.6. Барьерное заводнение. . . . .	95
14. Влияние ионнообмена на вытеснение нефти полимерными растворами. . . . .	96
15. Особенности обводнения нефтяных и газовых скважин. . . . .	97
Пример 15.1. Применение пенных барьеров на нефтяных месторождениях. . . . .	104
Пример 15.2. Применение пенных барьеров на газовых месторождениях. . . . .	113
16. Учет влияния наноявлений на разработку нефтяных залежей. . . . .	116
Пример 16.1. Влияние глинистости коллектора на КИН. . . . .	119
Пример 16.2. Влияния плотности сетки скважин на КИН. . . . .	120
Пример 16.3. Эффективность доразработки залежей. . . . .	120
Пример 16.4. Влияния наноразмерных частиц в закачиваемой воде на КИН. . . . .	121
17. Будущие нефтегазовые нанотехнологии. . . . .	124
Заключение. . . . .	126
Список литературы. . . . .	132

# Оглавление

Предисловие редактора перевода . . . . .	7
Предисловие . . . . .	9
<b>Часть I. Терминология и классификация . . . . .</b>	<b>12</b>
1. Введение . . . . .	12
2. Основы НТ . . . . .	15
2.1. Что такое нанотехнология? . . . . .	15
2.2. История развития НТ . . . . .	19
2.3. Современное состояние рынка нанотехнологий. . . . .	22
<b>Часть II. Научно-технологические основы НТ . . . . .</b>	<b>25</b>
3. Миниатюризация . . . . .	25
3.1. Мотивация проведения исследований в области НТ . . . . .	25
3.2. Планы и стратегия развития . . . . .	29
3.3. Границы изменения масштабов . . . . .	30
4. Связь размеров структур с их функциональностью. . . . .	33
4.1. Распределение атомов и связанные с этим свойства . . . . .	33
4.2. Отношения величина – свойства. . . . .	39
4.3. Измерение новых свойств . . . . .	41
5. Нанобиотехнология. . . . .	51
5.1. Проблемы определения используемых понятий . . . . .	51
5.2. Технологии типа <i>от нано к био</i> . . . . .	55
5.3. Технологии типа <i>от био к нано</i> . . . . .	60
6. Стандартные методы НТ . . . . .	65
6.1. Аналитические методы . . . . .	66
6.2. Методы изготовления наноструктур . . . . .	91
6.3. Проблемы организации промышленного производства. . . . .	93
<b>Часть III. Перспективы экономического развития НТ . . . . .</b>	<b>99</b>
7. Применение НТ . . . . .	99
7.1. Электроника и информационные технологии . . . . .	100
7.2. Химические методы в разработке наноматериалов. . . . .	104
7.3. Медицина и фармакология. . . . .	114
7.4. Точная механика и оптика. . . . .	118
7.5. Автомобильная промышленность . . . . .	123
7.6. Энергетика и защита окружающей среды. . . . .	126
8. Рынки сбыта и социальные последствия внедрения НТ . . . . .	132
8.1. Потенциал развития рынка НТ. . . . .	132

8.2. Социально-экономические последствия развития НТ . . . . .	134
9. Перспективы, потенциальная опасность и этические аспекты развития НТ . . . . .	137
9.1. Перспективы . . . . .	137
9.2. Потенциальные опасности . . . . .	139
9.3. Этические аспекты . . . . .	141
Наночастицы . . . . .	143
Справедливость распределения получаемых преимуществ . . . . .	144
Право на защищенность частной жизни . . . . .	145
Медицинские сферы применения . . . . .	146
Преодоление границы между техникой и человеком. . . . .	147
Техническое совершенствование человека . . . . .	148
<b>Литература . . . . .</b>	<b>150</b>
Дополнительная специальная литература . . . . .	152
Дополнительная научно-популярная литература. . . . .	152
Дополнительная литература по экономическим перспективам. . . . .	153
Дополнительные интернет-сайты . . . . .	153
<b>Приложения. . . . .</b>	<b>157</b>
А. Нанотехнологические фирмы в немецкоязычных странах . . . . .	157
Б. Информация об исследованиях и дальнейшем образовании. . . . .	162
<b>Предметный указатель. . . . .</b>	<b>166</b>

§ 7.4. Фуллерены и сверхпроводимость в углеродных нанотрубках . . . . .	136
§ 7.5. Современные теоретические модели для описания ВТСП . . . . .	139
Глава 8. Применения сверхпроводимости . . . . .	149
Послесловие . . . . .	153
Цитированная литература . . . . .	154
Библиография . . . . .	155
Предметный указатель . . . . .	156



## Оглавление

Предисловие	3
Введение. Атом углерода: строение, свойства. Аллотропия..	4
1. Фуллерены: история открытия.....	7
2. Методы получения.....	10
3. Методы анализа.....	14
4. Особенности образования структур фуллеренов.....	15
5. Углеродные нанотрубки, наноспирали, нанокубики.....	20
6. Физические свойства.....	24
7. Химические свойства.....	28
8. Физиологическая активность фуллеренов.....	43
Заключение.....	45
Контрольные вопросы.....	49
Список используемой литературы.....	50

5.8. Плотнейшие упаковки шаров двух сортов. Полиэдрический метод описания кристаллических структур . . . . .	348
5.9. Понятие о структурном типе. Структурные типы кристаллов химических элементов . . . . .	352
5.10. Структурные типы соединений с общей формулой $AX$ . .	356
5.11. Структурные типы соединений типа $A_2X$ и $AX_2$ . . . . .	366
5.12. Некоторые структурные типы соединений $A_mB_nC_k$ . . .	375
5.13. Полиморфизм . . . . .	380
5.14. Кристаллические структуры аллотропных модификаций углерода . . . . .	384
5.15. Фуллерены, фуллериты, фуллериды. Углеродные нанотрубки . . . . .	388
5.16. Изоморфизм. Морфотропия . . . . .	398
5.17. Твердые растворы . . . . .	401
5.18. Основные положения кристаллохимии органических соединений . . . . .	405
5.19. Кристаллические структуры комплексных и металлоорганических соединений . . . . .	410
5.20. Псевдосимметрия кристаллических структур . . . . .	416
5.21. Квазикристаллы . . . . .	422



9.1. Оптические сигналы.....	430
9.2. Голография.....	430
9.2.1. Принципы голографической обработки информации.....	432
9.2.2. Голографическая элементная база.....	432
9.2.3. Голографические запоминающие устройства.....	435
9.3. Интерферометрические методы.....	435
9.4. Когерентные оптические системы аналоговой обработки информации.....	437
9.5. Структуры с пониженной размерностью.....	438
9.5.1. Лазерные наноструктуры.....	443
9.5.2. Фотоприемники на квантовых точках.....	445
Контрольные вопросы.....	447
Рекомендуемая литература.....	448
Заключение.....	449
Заклучение.....	450
<b>ЧАСТЬ V. ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>451</b>
<b>Введение.....</b>	<b>453</b>
<b>1. Технологические процессы изготовления ИС.....</b>	<b>454</b>
1.1. Процессы первичной обработки материалов.....	454
1.2. Процессы литографии.....	457
1.2.1. Фотолитография.....	457
1.2.2. Электронолитография.....	458
1.2.3. Рентгенолитография.....	462
1.2.4. Ионная литография.....	467
1.2.5. Лазерная литография.....	469
1.3. Процессы локального изменения свойств полупроводников.....	471
1.3.1. Эпитаксия.....	471
1.3.2. Легирование полупроводников.....	471
1.4. Процессы обработки поверхности.....	475
1.4.1. Окисление кремния.....	484
1.4.2. Травление.....	484
1.4.3. Металлизация поверхности.....	484
1.5. Сборка интегральных схем.....	490
1.6. Типовые технологические маршруты производства ИС.....	493
Задачи и упражнения.....	495
Контрольные вопросы.....	499
Рекомендуемая литература.....	507
<b>2. Процессы нанотехнологий.....</b>	<b>508</b>
2.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия.....	508
2.2. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.....	511
2.3. Формирование структур на основе коллоидных растворов.....	515
2.4. Золь-гель технология.....	515
2.5. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии.....	517
2.6. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков.....	518
2.7. Самоорганизация гетероэпитаксиальных структур.....	520
2.8. Ионный синтез квантовых наноструктур.....	520
2.9. Методы зондовой нанотехнологии.....	522
	524

Контрольные вопросы.....	533
Рекомендуемая литература.....	533
<b>3. Организационно-технологические основы производства.....</b>	<b>534</b>
3.1. Базовые субмикронные технологии.....	534
3.2. Контроль качества интегральных схем.....	536
3.3. Физико-технологические и экономические ограничения интеграции ИС.....	547
3.4. Барьеры на пути от микро- к нанoeлектронике.....	550
Контрольные вопросы.....	552
Рекомендуемая литература.....	552
<b>Заклучение.....</b>	<b>553</b>
<b>ЧАСТЬ VI. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР ЭЛЕКТРОНИКИ.....</b>	<b>555</b>
<b>Введение.....</b>	<b>557</b>
<b>1. Методы измерения параметров полупроводников.....</b>	<b>558</b>
1.1. Исследование кристаллической структуры.....	558
1.2. Диагностика параметров полупроводников.....	560
1.2.1. Удельное сопротивление.....	560
1.2.2. Диагностика поверхностных состояний.....	563
1.2.3. Определение концентрации примесей.....	565
1.2.4. Кинетические параметры.....	567
Контрольные вопросы.....	569
Рекомендуемая литература.....	569
<b>2. Исследования химического состава поверхности.....</b>	<b>570</b>
2.1. Масс-спектроскопия.....	570
2.2. Оже-электронная спектроскопия.....	575
2.3. Ионная масс-спектроскопия.....	578
2.4. Фотоэлектронная спектроскопия.....	581
2.5. Радиоспектроскопия.....	583
Контрольные вопросы.....	584
Рекомендуемая литература.....	585
<b>3. Исследования физической структуры поверхности.....</b>	<b>586</b>
3.1. Рентгеноструктурный анализ.....	586
3.1.1. Общие положения.....	586
3.1.2. Метод Лауэ.....	587
3.1.3. Метод Дебая — Шеррера.....	588
3.1.4. Прецизионный рентгеноструктурный анализ.....	589
3.2. Анализ поверхности электронным пучком.....	591
3.2.1. Метод дифракции медленных электронов.....	593
3.2.2. Метод дифракции отраженных быстрых электронов.....	594
3.3. Полевая эмиссионная микроскопия.....	595
3.4. Сканирующая зондовая микроскопия.....	598
3.4.1. Сканирующая туннельная микроскопия.....	598
3.4.2. Атомно-силовая микроскопия.....	601



нённую теорию слабого и электромагнитного взаимодействия между элементарными частицами.

**1980 г.** Кронин (Cronin) Джеймс Уотсон (родился в 1931 г.), Фитч (Fitch) Вал Логсен (родился в 1923 г.), США. За открытие нарушений фундаментальных принципов симметрии при распаде нейтральных  $K^0$ -мезонов.

**1981 г.** Бломберген (Bloembergen) Николаас (родился в 1920 г.), Шавлов (Schawlow) Артур Леонард (родился в 1921 г.), США. За вклад в развитие лазерной спектроскопии.

Сигбан (Siegbahn) Кай Манне Берье (родился в 1918 г.), Швеция. За вклад в развитие электронной спектроскопии.

**1982 г.** Вильсон (Wilson) Кеннет Геддес (родился в 1936 г.), США. За теорию критических явлений в связи с фазовыми переходами.

**1983 г.** Чандрасекар (Chandrasekhar) Субрахманьян (1910—1995), США. За теоретическое изучение процессов, играющих важную роль в строении и эволюции звезд.

Фаулер (Fowler) Уильям Альфред (1911—1995), США. За исследования ядерных реакций, имеющих важное значение для образования элементов во Вселенной.

**1984 г.** Руббия (Rubbia) Карло (родился в 1934 г.), Италия; Мер (Meer) Симон ван дер (родился в 1925 г.), Нидерланды. За их определяющий вклад в открытие частиц  $W$  и  $Z$ , переносчиков слабого взаимодействия.

**1985 г.** Клитцинг (Klitzing) Клаус Олаф фон (родился в 1943 г.), Германия. За открытие квантового эффекта Холла.

**1986 г.** Руска (Ruska) Эрнст Август (1907—1988), Германия. За создание первого электронного микроскопа.

Биннинг (Binnig) Герд Карл (родился в 1947 г.), Германия; Рорер (Rohrer) Генрих (родился в 1933 г.), Швейцария. За изобретение сканирующего туннельного микроскопа.

**1987 г.** Мюллер (Müller) Карл Александер (родился в 1927 г.), Швейцария; Беднорц (Bednorz) Йоханнес Георг (родился в 1950 г.), Германия. За экспериментальное обнаружение высокотемпературной сверхпроводимости.

**1988 г.** Ледерман (Lederman) Леон Макс (родился в 1922 г.), Шварц (Schwarz) Мельвин (родился в 1932 г.), Стейнбергер (Steinberger) Джек (родился в 1921 г.), США. За открытие мюонного нейтрино.

**1989 г.** Рамзей (Ramsay) Норман Фостер (родился в 1915 г.), США. За создание цезиевых атомных часов и водородного лазера.

Демельт (Dehmelt) Ханс Джордж (родился в 1922 г.), США; Пауль (Paul) Вольфганг (1913—1993), Германия. За разработку метода удержания одиночных ионов, позволяющего осуществлять спектроскопию высокого разрешения.

**1990 г.** Фридман (Friedman) Джером Айзек (родился в 1930 г.), Кендалл (Kendall) Генри (родился в 1929 г.), США; Тейлор (Taylor) Ричард Эдуард (родился в 1926 г.), Канада. За исследования рассеяния электронов на протонах и связанных нейтронах и развитие кварковой модели.

**1991 г.** Женн (de Gennes) Пьер Жиль де (родился в 1932 г.), Франция. За открытие метода описания молекулярного упорядочения в жидких кристаллах и полимерах.

**1992 г.** Шарпак (Charpak) Жорж (родился в 1924 г.), Франция. За изобретение новых типов детекторов частиц.

**1993 г.** Халс (Hulse) Расселл Алан (родился в 1950 г.), Тейлор-младший (Taylor Jr.) Джозеф Хутон (родился в 1941 г.), США. За открытие нового типа пульсара, которое проложило новые пути для изучения гравитации.

**1994 г.** Брокхаус (Brockhouse) Бертрам Невилл (родился в 1918 г.), Канада; Шалл (Shull) Клиффорд Гленвилл (родился в 1915 г.), США. За развитие метода рассеяния нейтронов для исследования конденсированного состояния вещества.

**1995 г.** Перл (Perl) Мартин Льюис (родился в 1927 г.), Райнес (Reines) Фредерик (родился в 1918 г.), США. Перлу за открытие  $\tau$ -лептона и Райнесу за обнаружение нейтрино.

**1996 г.** Ли (Lee) Давид Моррис (родился в 1931 г.), Ошерофф (Osheroff) Дуэлас Дин (родился в 1945 г.), Ричардсон (Richardson) Роберт Колеман (родился в 1937 г.), США. За открытие сверхтекучести в гелии-3.

**1997 г.** Козин-Таннуджи (Cohen-Tannoudji) Клод (родился в 1933 г.), Франция; Филиппс (Phillips) Уильям (родился в 1948 г.), Чу (Chu) Стивен (родился в 1948 г.), США. За развитие методов пленения атомов лазерным светом.

**1998 г.** Лафлин (Laughlin) Роберт (родился в 1950 г.), Штёрмер (Störmer) Хорст (родился в 1948 г.), Цун (Tsui) Даниэл (родился в 1939 г.), США. За открытие нового типа квантовой жидкости, в которой возбуждённые состояния имеют дробный электрический заряд.

**1999 г.** Хоофт (Hooft) Герард (родился в 1946 г.), Велтман (Veltman) Мартинус (родился в 1931 г.), Нидерланды. За прояснение квантовой структуры электрослабых взаимодействий в физике.

## УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

Аберрация 126  
Абсолютно твёрдое тело 383  
Авогадро закон 224, постоянная 226  
Агрегатные состояния вещества 229, 230—232  
Адроны 258, 261—263  
Аморфы 235  
Анализа размерностей метод 276  
Анизотропия 233—234, 306, 389  
Античастица 259  
Апории 30—31, 34, 178, 303—305  
Априорные представления, суждения 87, 205  
Аристотеля: динамика 334, 335, механика 337, физика 63  
Архимеда закон 67, 371, 408, 409  
Атмосферное давление 118  
Атом 17, 37—40, 66, 120, 164, 166, 213,

217, 218, 221, 222, 225, 227; модель 247—248, строение 163, 165, 222  
Атомно-молекулярная теория (атомизм) 37, 74, 120, 217, 220, 221, 230  
Атомная единица массы 224  
Атомная масса относительная 223  
Атомное ядро: барионный заряд 253, дефект массы 256, массовое число 253, строение 253  
Аэродинамическая труба 432, 433  
Аэромеханика 406  
Барионы 258  
Бернулли уравнение 412, 414—415  
Большого взрыва теория 214  
Брауновское движение 148, 154, 155, 226, 227  
Буравчика правило 367

Вакуум 270  
Вариационные принципы 293  
Вектор 174, 329, 330  
Великого объединения теория 178, 268, 269  
Вероятностей теория 119  
Вероятности выборка 283, дисперсия 284, исход (событие) 283, математическое ожидание 283, плотность 283, стандартное отклонение 284  
Вероятность 283  
Вес тела 380  
Вечный двигатель 370—371  
Виртуальные частицы 270  
Водозмещения центр 410  
Волновая теория света 368  
Волновая функция 175  
Вращения ось 384

Время 13, 344, абсолютное 311, относительное 309, 346  
Времени измерение 279  
Вселенная 22, возраст 214, пространственно-временная структура 216  
Выборочное среднее 285, стандартное отклонение 285  
Вязкость (внутреннее трение) 395, 417; кинематическая 396; динамической вязкости коэффициент 417

Газов кинетическая теория 143  
Газовая динамика 406  
Газообразное состояние вещества 232  
Галилеи принцип относительности 9, 98, 323—324, 292  
Гамильтона уравнение 174  
Гаусса распределение 284  
Гидравлический удар 419—420  
Гидроаэромеханика 406  
Гидродинамика 406  
Гидромеханика 406  
Гидростатика 407  
Гидростатическая формула 407—409  
Глюоны 262, 263  
Гравитационные: постоянная 356; теория 158; взаимодействие 264, 265; поле 58—59; заряд 356  
Гравитация 159, 264, 353  
Гравитон 265

Давление 407  
Д'Аламбера — 425—426  
Движение: 31, 5 абсолютное 384; механическое 346, 349; пл 338, 341; поступательное 332; равномерное 332; равноускоренное 332  
Движения закон 332  
Дедукция метода 293  
Декарта: вихрь 114—115  
Детерминизм 333  
Динамические 333  
Динамическая 333  
Дискретность 333  
Дисперсия оп 284  
Дисперсия 284  
Дифракция 11  
Длина волны 11  
Длина свобод 11  
Доверительны 11  
Доплера эффе 11

Евклидовы: пространство 308  
Единицы изм 308  
Производные 308  
Естественного 308  
Жидкость 236  
Жуковского т 308  
Жуковского - 308  
431

Идеальная жидкость 412; теория 417  
Идеального газа уравнение 407  
Идеальный газ 232  
Излучение инфракрасное 244  
Излучение рентгеновское 245  
Измерений погрешность 286; абсолютная 280; вычислений 281; грубые ошибки (промахи) 281; методическая 281; округления 281; относительная 280; приборная 281; субъективная 281  
Измерения 272; косвенные 281; прямые 281; квантовые ограничения 287  
Изотоп 255  
Изотропия 370  
Изотропность 235  
Изохронность 101, 109  
Иезуиты 116  
Импульс 16, 75, 336, 337  
Импульс (количество движения) 287, 341, 344, 362  
Инвариант 311  
Индекс цитируемости 172  
Индуктивно-дедуктивный метод 111  
Индукции метод 111  
Инерции: принцип 321, 341, 347; сила 348, 378—379  
Интерференция 117  
Информация 144  
Ионы 240

Кавитация 415  
Картезианство 113

Навые — Стокса: гидродинамика 418; уравнение 417

Наноматериалы 235  
Нанотехнология 228  
Нанотрубка 235

Напряжённость поля 379  
Натурфилософия 54, 79, 121, 130, 309  
Натяжения сила 356  
Научные знания 6, 14, 16  
Научный метод 6, 106  
Невесомости состояния 379, 380  
Нейтрино 266—267  
Нейтрон 214, 216, 238, 252  
Нелинейные: физика 291; динамика 291  
Нелинейность 178, 294  
Неоплатонизм 44  
Неопределённости соотношение 270, 287  
Неразрывности уравнение 412, 414  
Нётер теорема 293, 370  
Нормальной реакции силы 356  
Нутация 391  
Ньютона: законы 8, 58, 135, 136, 173, 298, 347—349, 356; закон вязкого трения 417; механика 292, 294, 311; концепция пространства-времени 311  
Ньютоновские жидкости 417

Обтекание безотрывное 426, 427, ламинарное 427, сверхзвуковое 436, турбулентное 427

Логос 28—29  
Лоренца группа 145

Магнуса сила 428  
Максвелла: уравнения 140, 145, 146, 289, распределение 144, электродинамика 163  
Масса 344  
Масса молекулярная 224—225  
Математическое ожидание 283—285; оценка 286  
Материальная точка 317, 346, 357  
Маха конус 435, число 434  
Маятник физический 390  
Межмолекулярное взаимодействие 230, 232  
Мезон 258, 288  
Метафизика 205, 210  
Метациентр 410  
Механика 7, 8, 69—71, 73, 106; волновая 175; классическая 298; материальной точки 407; матричная 166; сплошных сред 407; статистическая 144  
Механики основные понятия 344, законы 8  
Механической системы состояние 361  
Мещерского уравнение (уравнение движения ракеты) 377  
Модель математическая 290, физическая 317  
Модуль скорости линейной 329  
Молекула 220—222, 227, 403  
Молекулярная гипотеза 241  
Момент: импульса 362, 367, 386; инерции 385, 386; сил 399  
Монополь 178  
Муон 254

Навые — Стокса: гидродинамика 418; уравнение 417  
Наноматериалы 235  
Нанотехнология 228  
Нанотрубка 235  
Напряжённость поля 379  
Натурфилософия 54, 79, 121, 130, 309  
Натяжения сила 356  
Научные знания 6, 14, 16  
Научный метод 6, 106  
Невесомости состояние 379, 380  
Нейтрино 266—267  
Нейтрон 214, 216, 238, 252  
Нелинейные: физика 291; динамика 291  
Нелинейность 178, 294  
Неоплатонизм 44  
Неопределённости соотношение 270, 287  
Неразрывности уравнение 412, 414  
Нётер теорема 293, 370  
Нормальной реакции силы 356  
Нутация 391  
Ньютона: законы 8, 58, 135, 136, 173, 298, 347—349, 356; закон вязкого трения 417; механика 292, 294, 311; концепция пространства-времени 311  
Ньютоновские жидкости 417

Обтекание безотрывное 426, 427, ламинарное 427, сверхзвуковое 436, турбулентное 427



## ПРИЛОЖЕНИЕ

## УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

## А

$\alpha$ -распад 285  
Аберрация 85  
Абсолютно чёрное тело 55, 180, 198, 215  
Абсолютность пространства и времени 96  
Абсолютный нуль температуры 164  
Адроны 321  
Аккомодация 61, 87  
Аксиома 178  
Амплитуда  
— вероятности 232  
— колебаний 364  
Антипротон 245  
Античастицы 244, 313  
Аромат 328  
Асимптотическая свобода 332, 333  
Атом 241  
Атомные спектры 219

## Б

$\beta$ -распад 285, 337  
Барьонная асимметрия Вселенной 321  
Барьоны 314  
Барьер деления 304  
Близкодействие 12  
Бозе-эйнштейновская конденсация 212, 247, 248  
Бозоны 212, 312  
Большой Взрыв 333

## В

Вакуум 10  
Вакуумное состояние 348  
Вектор состояния 237  
Вектор Умова — Пойнтинга 56  
Великое объединение взаимодействий 355  
Вероятность 232  
Вероятность процесса 315  
Вечный двигатель 160, 161  
Внутренняя (динамическая) симмет-

рия 321  
Внутренняя энергия идеального газа 204  
Волна  
— поперечная 63, 78, 373  
— продольная 78, 373  
Волна де Бройля 228  
Волновая функция 228  
Волны  
— материи 229  
— электромагнитные 11, 53, 55  
— гравитационные 135  
Вольтов столб 31, 32  
«Восьмеричный путь» 323  
Время удержания плазмы 264  
Второй закон Ньютона в релятивистском случае 108  
Вынужденное излучение 248  
Вырожденный газ 210  
Высокотемпературные сверхпроводники 253

## Г

Гальванометр 36  
Гелий 252  
Геодезические линии 134  
Гильбертово пространство 237  
Гиперон 335  
Глюоны 331  
Гравитационный  
— коллапс 138  
— парадокс 140  
— радиус 137  
Гравитино 314  
Гравитон 149, 314  
Группа 324, 325  
— Лоренца 325

## Д

Давление 160, 162  
— света 54  
Дальнодействие 116  
Движение перигелия Меркурия 142  
Двойное лучепреломление 76  
Дефтерий 262  
Деление

— амплитуды 71  
— волнового фронта 71  
«Демон Ломмита» 213  
Дефект масс 276, 278  
Диаграммы Фейнмана 315  
Диаманетик 43  
Дивергенция 50  
Динамическая симметрия 321  
Динамический хаос 383  
Диоптрика 83  
Диоптрия 87  
Диполь 22  
Дипольный момент электрический 22  
Дисперсия света 67, 68, 69  
Дифракционная решётка 74  
Дифракция 59, 73, 377  
— Френеля (в ближней зоне) 73  
— Фраунгофера (в дальней зоне) 74  
Диэлектрик 17, 22, 41  
Дублет 314, 322  
Дырка 212, 218

## З

Закон  
— Авогадро 165  
— Ампера 49  
— Био — Савара — Лапласа 37  
— Бойля — Мариотта 162  
— Брюстера 77  
— Галилея свободного падения тел 119  
— Гей-Люссака 163  
— Дебая для теплоёмкости 204  
— Джоуля — Ленца 28  
— Дюлонга — Пти 204  
— инерции Галилея 98  
— Кирхгофа для равновесного излучения 197  
— Клапейрона 164  
— контактных напряжений 32  
— Кулона 8, 20  
— Кюри 291  
— Малюса 77  
— независимости световых лучей 83  
— Ома 26, 28, 46  
— отражения и преломления света 65, 83  
— прямолинейного распространения света 83

— сложения скоростей 91, 100, 102  
— смещения Вина 198  
— сохранения  
— барионного числа 320  
— лептонного числа 319  
— странности 323  
— чётности 325  
— энергии 160, 178, 184, 190  
— Шарля 164  
— электромагнитной индукции 9, 40, 44, 46  
Законы Кирхгофа для цепи тока  
— первый 26  
— второй 28  
Законы электролиза 41  
Замедление хода движущихся часов 101  
Заряд  
— магнитный 19, 30  
— цветовой 331  
— электрический 19, 24  
Заселённость уровней энергии 212  
«Зелёный луч» 69  
Зеркало 85

## И

Идеальная тепловая машина 175  
Идеальный газ 161, 162, 204, 209  
— квантовый 209  
Излучение Хокинга 148  
Излучение чёрного тела 215  
Измерительный прибор 234  
Изотопы ядер 281  
Изотопическая симметрия 322  
Изотопический спин 322  
Изотопическое пространство 322  
Изотопы 278, 284, 285  
Изотропность Все  
Импульс  
— релятивистский  
— Ферми 212  
Индукция  
— магнитная 36, 4  
— электростатическая  
Инерциальная система отсчёта  
Инерциальное ускорение 265  
Инерционность 3  
Интеграл Стокса  
Интервал между событиями  
Интерференция  
— света 61, 62, 6  
— волн 376, 377  
Интерферометр  
Ион 302  
Искривление световых лучей  
Истинность 329

## Н

Наблюдаемая величина 237  
Нанотехнология 267  
Направление поляризации 87  
Напряжение 21  
Напряжённость  
— гравитационного поля 130  
— электрического поля 9, 21, 48  
Насыщение ядерных сил 277  
Начала термодинамики  
— Нулевого 178  
— Первое 178, 184, 190  
— Второе 172, 178, 194, 195  
— Третье 194  
Невырожденный газ 210

## К

Калибровочная  
Калибровочная  
Калория 178, 18  
Катоотрица 83  
Квазары 144

Квазинейтральность 261  
Квазичастица 246  
Квант  
— действия 200, 310  
— энергии 214, 216  
Квантованные вихри 317  
Квантовая  
— жидкость 257  
— система 234  
— химия 245  
— хромодинамика 329, 331, 352  
— электродинамика 245  
Квантовое число 238  
Квантово-статистическая картина мира 12  
Квантовые генераторы 247  
Квантовые диполи, проволоки и точки 269  
Квантовый объём 210  
Кварковая модель адронов 328  
Кинетическое уравнение 207, 208  
Классическая сумма состояний 207  
Клетка Фарадея 23  
Когерентность 71  
Колебания 79  
— линейные 363  
— нелинейные 379  
Количество теплоты 169, 174  
Коллапс звезды 309  
Колма Ньютона 59  
Кома 85  
Комбинаторный принцип Ридберга — Ритца 220  
Комбинированная чётность 327  
Конденсатор 17, 18  
Константа взаимодействия 318  
Копенгагенская интерпретация квантовой механики 232  
Корпускулярно-волновые свойства света 64

## М

Магические числа 278, 285  
Магнетизм 8  
Магнит 13, 14  
Магнитная анизотропия кристаллов 43  
Магнитная индукция 36, 48  
Магнитные моменты протона и нейтрона 335  
Магнитный диполь 266  
Магнитогидродинамические (МГД) генераторы 266  
Магнитосфера 266  
Мазер 248  
Майкельсона — Морли эксперимент 92  
Масса 106, 118, 119  
Масс-спектрометр 278  
Матрица рассеяния 132  
Матричная механика 235  
Мезон 279, 314  
«Местное» время 96  
Метрика 129  
Метрические коэффициенты 129  
Метрический тензор 131  
Метрология 99  
Механический эквивалент теплоты 184  
Микролинизирование 145  
Микроскопическая модель 202  
Микроскопическая теория 256, 257  
Мираж 67  
«Море Дирака» 244, 245  
Мировая линия 104  
Модели тяготения  
— механические 117  
— электродинамические 118  
Модель Резерфорда — Бора 222  
Модель ядра  
— гидродинамическая 280  
— капельная 280  
Модуль Юнга 61  
Молекулярные спектры 243  
Молния 18  
Монополь 50, 51  
Монохроматический свет 72  
Мультиплет 322  
Мюон 279

## Н

Наблюдаемая величина 237  
Нанотехнология 267  
Направление поляризации 87  
Напряжение 21  
Напряжённость  
— гравитационного поля 130  
— электрического поля 9, 21, 48  
Насыщение ядерных сил 277  
Начала термодинамики  
— Нулевого 178  
— Первое 178, 184, 190  
— Второе 172, 178, 194, 195  
— Третье 194  
Невырожденный газ 210

— обыкновенный 76



## ПРИЛОЖЕНИЕ

## УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

## А

$\alpha$ -распад 285  
Аберрация 85  
Абсолютно чёрное тело 55, 180, 198, 215  
Абсолютность пространства и времени 96  
Абсолютный нуль температуры 164  
Адроны 321  
Аккомодация 61, 87  
Аксиома 178  
Амплитуда  
— вероятности 232  
— колебаний 364  
Антипротон 245  
Античастицы 244, 313  
Аромат 328  
Асимптотическая свобода 332, 333  
Атом 241  
Атомные спектры 219

## Б

$\beta$ -распад 285, 337  
Барьонная асимметрия Вселенной 321  
Барьоны 314  
Барьер деления 304  
Близкодействие 12  
Бозе-эйнштейновская конденсация 212, 247, 248  
Бозоны 212, 312  
Большой Взрыв 333

## В

Вакуум 10  
Вакуумное состояние 348  
Вектор состояния 237  
Вектор Умова — Пойнтинга 56  
Великое объединение взаимодействий 355  
Вероятность 232  
Вероятность процесса 315  
Вечный двигатель 160, 161  
Внутренняя (динамическая) симмет-

рия 321  
Внутренняя энергия идеального газа 204  
Волна  
— поперечная 63, 78, 373  
— продольная 78, 373  
Волна де Бройля 228  
Волновая функция 228  
Волны  
— материи 229  
— электромагнитные 11, 53, 55  
— гравитационные 135  
Вольтов столб 31, 32  
«Восьмеричный путь» 323  
Время удержания плазмы 264  
Второй закон Ньютона в релятивистском случае 108  
Вынужденное излучение 248  
Вырожденный газ 210  
Высокотемпературные сверхпроводники 253

## Г

Гальванометр 36  
Гелий 252  
Геодезические линии 134  
Гильбертово пространство 237  
Гиперон 335  
Глюоны 331  
Гравитационный  
— коллапс 138  
— парадокс 140  
— радиус 137  
Гравитино 314  
Гравитон 149, 314  
Группа 324, 325  
— Лоренца 325

## Д

Давление 160, 162  
— света 54  
Дальнодействие 116  
Движение перигелия Меркурия 142  
Двойное лучепреломление 76  
Дефтерий 262  
Деление

— амплитуды 71  
— волнового фронта 71  
«Демон Ломмита» 213  
Дефект масс 276, 278  
Диаграммы Фейнмана 315  
Диаманетик 43  
Дивергенция 50  
Динамическая симметрия 321  
Динамический хаос 383  
Диоптрика 83  
Диоптрия 87  
Диполь 22  
Дипольный момент электрический 22  
Дисперсия света 67, 68, 69  
Дифракционная решётка 74  
Дифракция 59, 73, 377  
— Френеля (в ближней зоне) 73  
— Фраунгофера (в дальней зоне) 74  
Диэлектрик 17, 22, 41  
Дублет 314, 322  
Дырка 212, 218

## З

Закон  
— Авогадро 165  
— Ампера 49  
— Био — Савара — Лапласа 37  
— Бойля — Мариотта 162  
— Брюстера 77  
— Галилея свободного падения тел 119  
— Гей-Люссака 163  
— Дебая для теплоёмкости 204  
— Джоуля — Ленца 28  
— Дюлонга — Пти 204  
— инерции Галилея 98  
— Кирхгофа для равновесного излучения 197  
— Клапейрона 164  
— контактных напряжений 32  
— Кулона 8, 20  
— Кюри 291  
— Малюса 77  
— независимости световых лучей 83  
— Ома 26, 28, 46  
— отражения и преломления света 65, 83  
— прямолинейного распространения света 83

— сложения скоростей 91, 100, 102  
— смещения Вина 198  
— сохранения  
— барионного числа 320  
— лептонного числа 319  
— странности 323  
— чётности 325  
— энергии 160, 178, 184, 190  
— Шарля 164  
— электромагнитной индукции 9, 40, 44, 46  
Законы Кирхгофа для цепи тока  
— первый 26  
— второй 28  
Законы электролиза 41  
Замедление хода движущихся часов 101  
Заряд  
— магнитный 19, 30  
— цветовой 331  
— электрический 19, 24  
Заселённость уровней энергии 212  
«Зелёный луч» 69  
Зеркало 85

## И

Идеальная тепловая машина 175  
Идеальный газ 161, 162, 204, 209  
— квантовый 209  
Излучение Хокинга 148  
Излучение чёрного тела 215  
Измерительный прибор 234  
Изотопы ядер 281  
Изотопическая симметрия 322  
Изотопический спин 322  
Изотопическое пространство 322  
Изотопы 278, 284, 285  
Изотропность Все  
Импульс  
— релятивистский  
— Ферми 212  
Индукция  
— магнитная 36, 4  
— электростатическая  
Инерциальная система отсчёта  
Инерциальное ускорение 265  
Инерционность 3  
Интеграл Стокса  
Интервал между событиями  
Интерференция  
— света 61, 62, 6  
— волн 376, 377  
Интерферометр  
Ион 302  
Искривление световых лучей  
Истинность 329

## Н

Наблюдаемая величина 237  
Нанотехнология 267  
Направление поляризации 87  
Напряжение 21  
Напряжённость  
— гравитационного поля 130  
— электрического поля 9, 21, 48  
Насыщение ядерных сил 277  
Начала термодинамики  
— Нулевого 178  
— Первое 178, 184, 190  
— Второе 172, 178, 194, 195  
— Третье 194  
Невырожденный газ 210

## К

Калибровочная  
Калибровочная  
Калория 178, 18  
Катоотрица 83  
Квазары 144

Квазинейтральность 261  
Квазичастица 246  
Квант  
— действия 200, 310  
— энергии 214, 216  
Квантованные вихри 317  
Квантовая  
— жидкость 257  
— система 234  
— химия 245  
— хромодинамика 329, 331, 352  
— электродинамика 245  
Квантовое число 238  
Квантово-статистическая картина мира 12  
Квантовые генераторы 247  
Квантовые диполи, проволоки и точки 269  
Квантовый объём 210  
Кварковая модель адронов 328  
Кинетическое уравнение 207, 208  
Классическая сумма состояний 207  
Клетка Фарадея 23  
Когерентность 71  
Колебания 79  
— линейные 363  
— нелинейные 379  
Количество теплоты 169, 174  
Коллапс звезды 309  
Кольца Ньютона 59  
Кома 85  
Комбинаторный принцип Ридберга — Ритца 220  
Комбинированная чётность 327  
Конденсатор 17, 18  
Константа взаимодействия 318  
Копенгагенская интерпретация квантовой механики 232  
Корпускулярно-волновые свойства света 64

## М

Магические числа 278, 285  
Магнетизм 8  
Магнит 13, 14  
Магнитная анизотропия кристаллов 43  
Магнитная индукция 36, 48  
Магнитные моменты протона и нейтрона 335  
Магнитный диполь 266  
Магнитогидродинамические (МГД) генераторы 266  
Магнитосфера 266  
Мазер 248  
Майкельсона — Морли эксперимент 92  
Масса 106, 118, 119  
Масс-спектрометр 278  
Матрица рассеяния 132  
Матричная механика 235  
Мезон 279, 314  
«Местное» время 96  
Метрика 129  
Метрические коэффициенты 129  
Метрический тензор 131  
Метрология 99  
Механический эквивалент теплоты 184  
Микролинизирование 145  
Микроскопическая модель 202  
Микроскопическая теория 256, 257  
Мираж 67  
«Море Дирака» 244, 245  
Мировая линия 104  
Модели тяготения  
— механические 117  
— электродинамические 118  
Модель Резерфорда — Бора 222  
Модель ядра  
— гидродинамическая 280  
— капельная 280  
Модуль Юнга 61  
Молекулярные спектры 243  
Молния 18  
Монополь 50, 51  
Монохроматический свет 72  
Мультиплет 322  
Мюон 279

## Н

Наблюдаемая величина 237  
Нанотехнология 267  
Направление поляризации 87  
Напряжение 21  
Напряжённость  
— гравитационного поля 130  
— электрического поля 9, 21, 48  
Насыщение ядерных сил 277  
Начала термодинамики  
— Нулевого 178  
— Первое 178, 184, 190  
— Второе 172, 178, 194, 195  
— Третье 194  
Невырожденный газ 210

— обыкновенный 76