

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

(АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

В сентябре 2007 года МГУ им. Н.Э. Баумана и ОАО ЦНИТИ "Техномаш" провели XIII Международную научно-техническую конференцию "Высокие технологии в промышленности России" и XX Международный симпозиум "Тонкие пленки в электронике", посвященные 50-летию освоения космического пространства.

К мероприятиям был выпущен сборник докладов [1], включавший следующие тематические разделы:

- нанотехнология и фотонные кристаллы (оборудование, технология производства, обработка и исследование наноматериалов, подготовка кадров);
- технология и оборудование для производства приборов нанoeлектроники и электронной техники, системы и устройства средств связи;
- методы контроля физико-технических свойств материалов электронной техники, моделирование и информационное обеспечение исследований;
- получение, свойства и применение тонких пленок и слоистых структур на их основе в электронике и машиностроении.

Наибольший интерес, по мнению автора, представляют доклады по следующим темам.

Углеродные наноструктуры и полупроводниковые материалы. Значительное место в опубликованных материалах было отведено вопросам получения и исследования алмазных и алмазоподобных пленок, что связано, в первую очередь, с их практическим применением в электронике, машиностроении, медицине и других отраслях.

Для создания устройств электронной техники с улучшенными эксплуатационными характеристиками используются слоистые структуры "иридий–поликластерная алмазная

пленка", поскольку иридий наиболее подходит в качестве химически пассивного материала и технически просто форми-

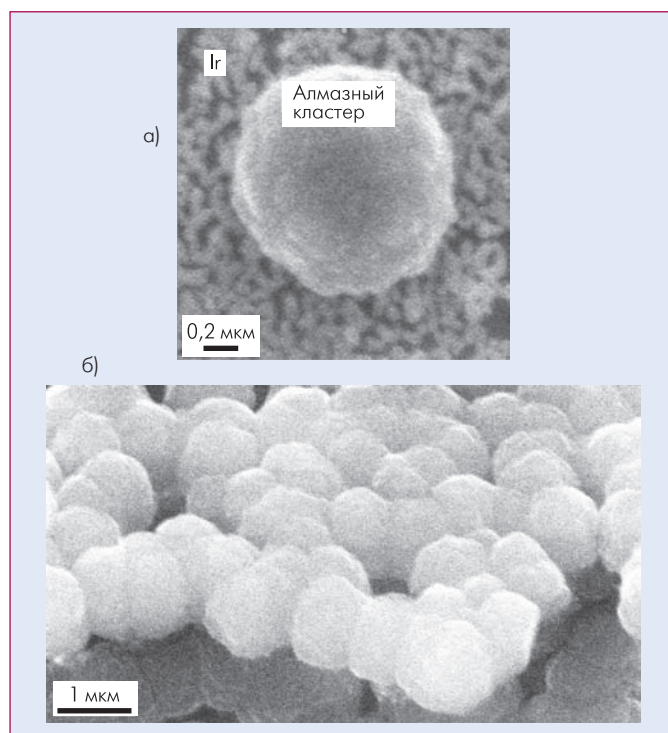


Рис. 1 Отдельная наночастица (а) и скопление частиц (б) на стадии глобулярного формирования поликластерных алмазных пленок (растровая электронная микроскопия)

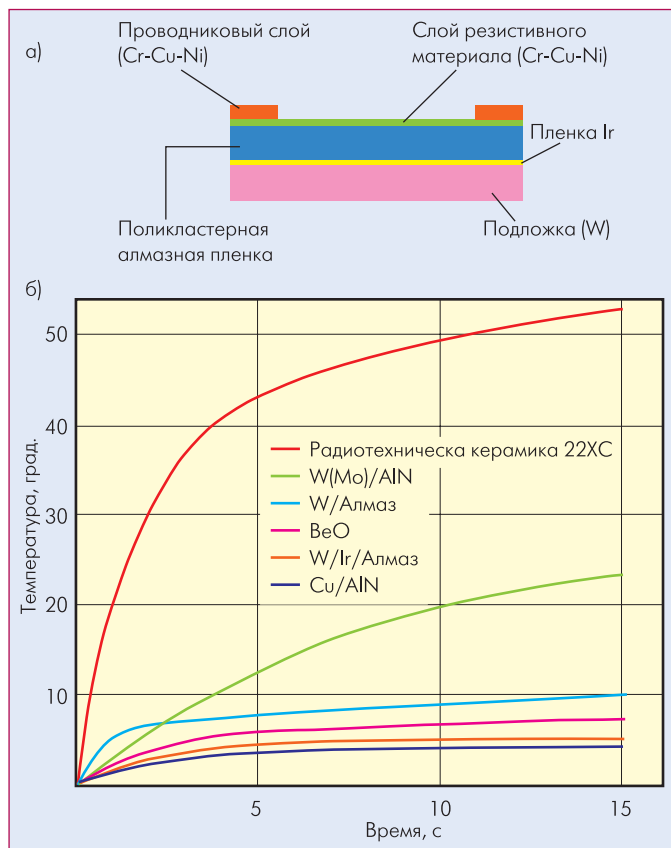


Рис.2 Схема резистивной матрицы (а). Зависимость температуры перегрева поверхности теплопроводящих подложек от времени (б). Толщина образцов и слоев многослойных структур: 22ХС–1 мм; W(Mo)/AlN–1 мм/8 мкм; W/Алмаз–1 мм/86 мкм; BeO–1 мм; Cu/AlN–1 мм/8 мкм; W/Ir/Алмаз–1 мм/0,3 мкм/30 мкм

руется методами ионно-плазменного распыления в виде текстурированных тонких пленок.

Исследовано формирование пленок Ir с контролируемым строением кристаллической фазы и определено ориентирующее влияние таких пленок на строение поликластерных пленок алмаза (рис.1), которые применяются для создания теплопроводов в гибридных интегральных схемах, управляющих сетках электронных приборов, устройств на поверхностных акустических волнах.

Поликластерные алмазные пленки, теплопроводность (λ_r) которых при 303К составляет 400–600 Вт/м·К, нанесенные на подложки из W ($\lambda_r = 160$ Вт/м·К и W с пленкой Ir толщиной 300 нм ($\lambda_r = 1,47$ Вт/м·К, были применены для отвода тепла от сформированных на них тонкопленочных резисторов (рис.2а).

Зависимость температуры перегрева ($T_{пл}$) резистора от материала теплопроводящей подложки представлена на рис.2б.

При изготовлении мощных электронных приборов (СВЧ электронные лампы с термокатодом, приборы с автоэмиссионным катодом) материал управляющей сетки не должен перегреваться и провисать. Использование сетки, изготов-

ленной методом термохимического травления из поликластерной алмазной пленки (рис.3) (твердость по Виккерсу 8400–12200 кг/мм²) и сформированной на слое Ir, за счет уменьшения шага ячеек сетки при сохранении механической прочности и теплопроводности позволило сократить расстояние катод – сетка до десятков микрометров и снизить управляющее напряжение. Это обеспечило высокую однородность эмиссии по поверхности катода и токовую прозрачность.

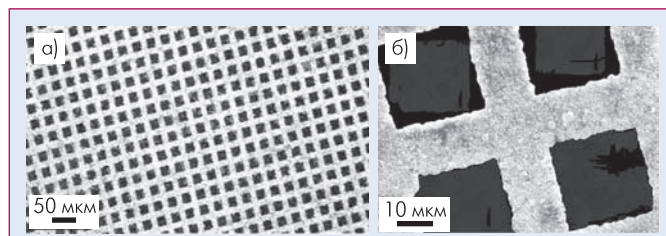


Рис.3 Сетка (РЭМ) с шагом 40 мкм из свободной поликластерной пленки алмаза толщиной 20 мкм (а), увеличенный фрагмент сетки (б)

Поверхностные акустические волны (ПАВ) – упругие волны, в которых деформация распространяется в очень тонком поверхностном слое материала толщиной порядка длины волны. Устройства на ПАВ могут иметь центральную рабочую частоту в УКВ- или СВЧ-диапазонах.

Как свидетельствуют выступления участников, перспективным материалом для слоистого звукопровода является алмаз (скорость ПАВ $V_R \approx 10$ км/с) (рис.4). Пара алмаз/AlN наиболее перспективна при создании устройств на ПАВ СВЧ-диапазона (>1 ГГц), так как AlN среди пьезоэлектриков наиболее близок к алмазу по скорости ПАВ (у AlN $V_R \approx 6$ км/с, у ZnO $V_R \approx 3$ км/с).

По результатам гомоэпитаксиального осаждения поликристаллических алмазных пленок (на алмазных подложках) и на основании численного моделирования изучены условия газофазного осаждения монокристаллических алмазных пленок в сверхвысокочастотном CVD-реакторе. На рис.5 приве-

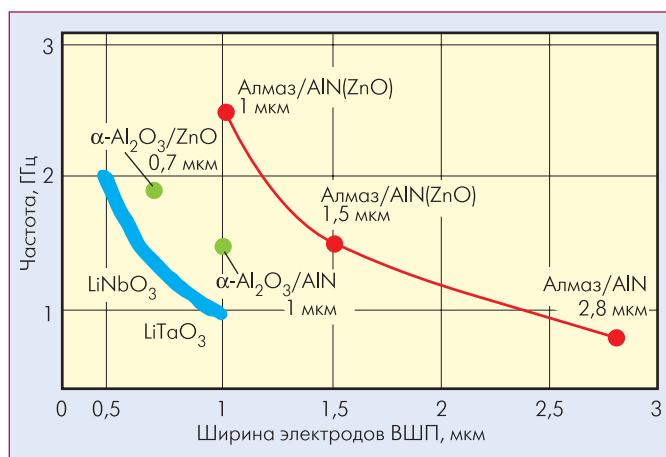


Рис.4 Зависимость рабочей частоты устройств на ПАВ от ширины (d) электродов ВШП для монокристаллических и слоистых звукопроводов

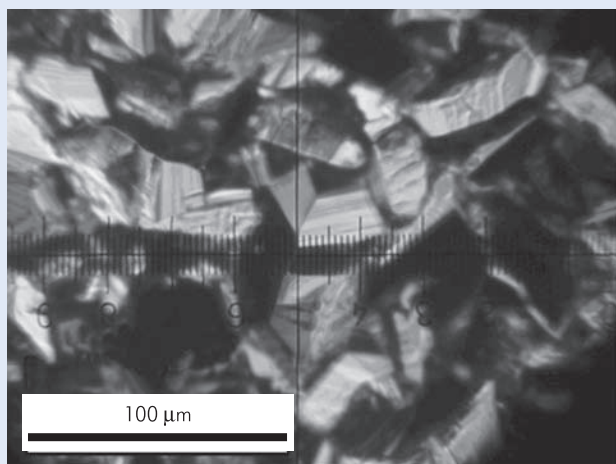


Рис.5 Алмазная пленка, осажденная при повышенном удельном энергетическом вкладе в плазму СВЧ-разряда

дена микрофотография алмазной пленки, осажденной при повышенном удельном энергетическом вкладе в плазму. Найдены условия, при которых форма отдельных кристаллов близка к октаэдру ($\alpha \approx 2,5$) со свободными от двойников гранями.

Исследования полупроводниковых пленок InP сложного состава, полученных методом импульсного ионного осаждения (осаждение из абляционной плазмы, сгенерированной из массивной мишени InP при воздействии на нее серии импульсов мощного ионного пучка наносекундной длительности), показали сохранение стехиометрического состава пленок относительно исходной мишени, что подтверждено спектроскопическими исследованиями. Толщина пленок равнялась ~ 80 нм. Остаточное давление в камере поддерживалось на уровне $2 \cdot 10^{-4}$ Па. Морфология поверхности пленок определялась методами оптической и атомно-силовой микроскопии. Фазовый состав исследовался методом малоуглового рентгеновского рассеяния. Установлено, что осажденная пленка является поликристаллической и состоит из двух фаз: первая InP-Cub (225) ее содержание – 36,65%, средний размер

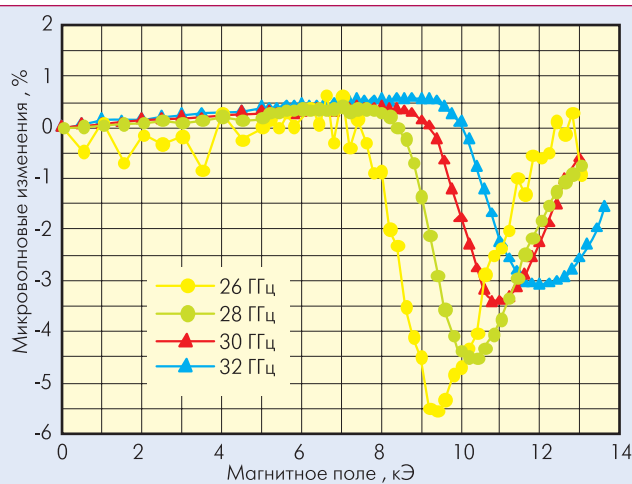


Рис.6 Магнитный резонанс, измеренный по прохождению микроволн через образец наноконкомпозита, содержащего никель-цинковый феррит

кристаллита 8,8 нм; вторая InP-Cub (216) – 63,35%, средний размер кристаллита 9,03 нм.

Опаловые матрицы и трехмерные наноструктуры. Фотонные кристаллы на основе опаловых матриц, пропитанных этиловым спиртом, имеют узкую полосу (менее 0,01%) пропускания в видимой области, и их предлагается использовать для создания узкополосных оптических фильтров и селективных зеркал в лазерных резонаторах. На основе представления о фотонной запрещенной зоне предложена модель, объясняющая наблюдаемые особенности в спектре пропускания.

Создание эффективных излучателей на основе фотонных кристаллов основывается на возможности выделять необходимые оптические моды и контролировать направление их распространения. Эти преимущества наиболее востребованы при разработке лазерных источников света. Двумерный УФ РОС-лазер (лазер с распределенной обратной связью) реализован на основе опаловой матрицы с активным слоем оксида цинка на ее поверхности. Пленки оксида цинка высокой чистоты получены методом магнетронного распыления поликристаллической мишени ZnO при 350°C и давлении 1 Па в плазме Ar.

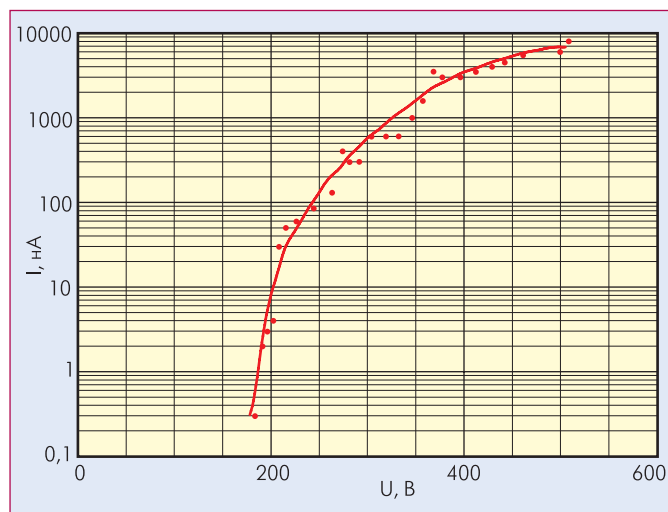


Рис.7 Вольт-амперные характеристики автоэмиссии из УНТ, выращенных на опаловой матрице

Исследование спектров спонтанной и стимулированной люминесценции при оптическом возбуждении активных слоев показали, что стимулированная эмиссия на длине волны 397 нм наблюдается при комнатной температуре при возбуждении азотным лазером. Порог возбуждения процесса рекомбинации электронно-дырочной плазмы составил около 300 кВт/см^2 , что благодаря резонансу в структуре с распределенной обратной связью ZnO-опаловая матрица на два порядка меньше, чем для планарной структуры ZnO-SiO₂.

Изучение и практическое применение нелинейных эффектов в фотонных кристаллах может сыграть важную роль в создании нового класса оптических устройств. В сборнике докладов приводятся результаты исследования недавно открытого эффекта фотонного пламени длительного (до не-

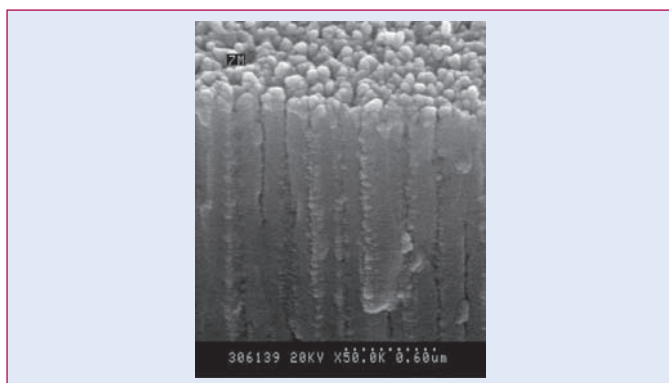


Рис.8 Скол подложки оксида алюминия с фрагментами слоев осажденного в нанопорах золота

скольких секунд) свечения в сине-зеленой области спектра, наблюдаемого в фотонных кристаллах или нанокompозитах на основе опаловых матрицах и возникающего под действием импульса рубинового лазера продолжительностью 20 нс с длиной волны 694,3 нм.

Изучено взаимодействие электромагнитных волн с нанокompозитными материалами, полученными введением в межсферическое пространство опаловых матриц наночастиц никель-цинкового или марганец-цинкового феррита. Измерения выполнены в интервале частот 26–38 ГГц в магнитных полях напряженностью до 30 кЭ. В результате взаимодействия электромагнитной волны с образцом величина микроволнового сигнала может изменяться до 60% (рис.6), что создает предпосылки для использования магнитных нанокompозитов на основе опаловых матриц в управляемых электронных приборах мм-диапазона.

В докладах представлены результаты исследования и создания эффективных автоэммиттеров на основе углеродных нанотрубок (УНТ), выращенных CVD-методом на опаловой матрице (рис.7).

Трехмерные наноструктурированные материалы сформированы периодическими металлизированными наноканалами в пористом оксиде алюминия с покрытием стенок нанопор золотом (рис.8). Пленка золота, располагаясь по поверхности

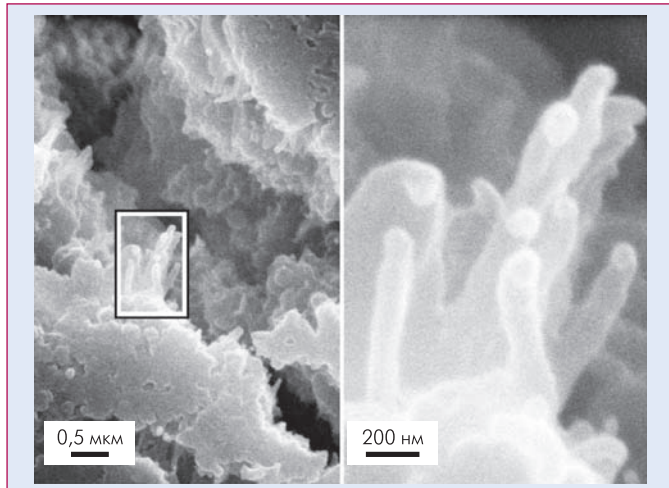


Рис.9 Взаимодействие клеточной системы с фрагментами опаловой матрицы

пор, образует трубки с толщиной стенок порядка нескольких нанометров. Сформированные в результате нанопроволочные среды образуют периодическую систему нанотрубок с уникальными оптическими свойствами.

Материалы для биологии и медицины представлены тонкими пленками наноструктурированных синтетических (полиэтилентерефталата – ПЭТФ) и природных (хитозана) полимеров, сформированных методами ионно-плазменной технологии. Показана возможность управления поверхностными свойствами полимеров и их антимикробной активностью путем создания материалов с наноструктурированными поверхностями (НСП).

Структуры пленок формировались:

- а) обработкой с помощью автономного источника ионов поверхности материала потоками частиц химически активных и инертных газов (воздушная смесь);
- б) обработкой в ВЧ-диодной системе поверхности частицами химически активных и инертных газов (воздушная смесь);
- в) модифицированием с помощью автономного источника ионов сформированного рельефа путем нанесения алмазоподобной углеродной пленки (α -C:H) толщиной от 10 до 100 нм.

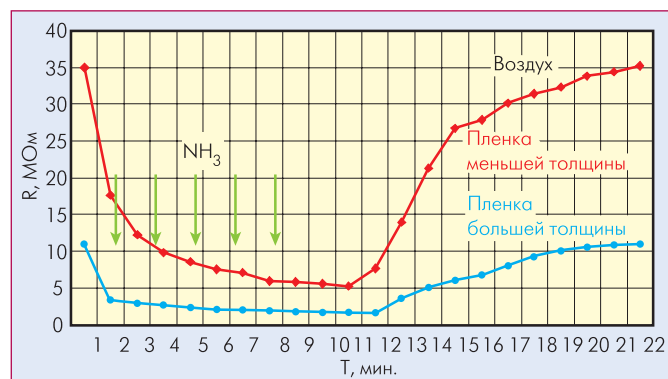


Рис.10 Кинетика отклика поверхностного сопротивления тонких пленок (олова на поверхности опаловой матрицы)

Прогресс в реконструктивно-пластической хирургии в значительной мере зависит от внедрения современных наноматериалов в качестве трехмерных матриц для клеточных и тканевых культур. Метод формирования наноструктур (с учетом результатов моделирования свойств живых биологических тканей) должен обеспечить получение на их основе биоматериалов нового поколения, имеющих высокую биологическую безопасность и способных при необходимости замещать структурные и (по возможности) функциональные дефекты, возникающие при оперативных вмешательствах.

В докладах продемонстрирована возможность формирования и применения биосовместимых 3D-опаловых матриц для культивирования мезенхимальных стволовых клеток. Твердая фаза (фрагменты опаловой матрицы) армирует мягкую фазу (биологическая масса), обеспечивая возможность объемного роста последней. В результате формируется двухфазная структура сферической формы, состоящая из биоло-

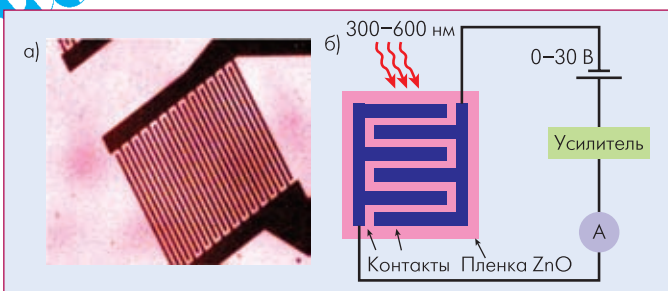


Рис. 11 Сформированные на пленке ZnO электроды (а), схема детектора УФ-излучения (б)

гической массы, армированной каркасом из частиц опаловой матрицы, причем при взаимодействии клеток с фрагментами матрицы наблюдается появление характерных нитевидных отростков (рис.9).

Датчики на основе наноструктурированных материалов. В опубликованных материалах приводятся результаты исследования топографии поверхности и газовой чувствительности тонких пленок олова со сверхразвитой поверхностью, сформированных на подложках из синтетического опала. На рис.10 представлены графики, демонстрирующие высокую чувствительность таких пленок к парам аммиака (NH_3) и их способность к восстановлению.

Пленки ZnO, предназначенные для создания чувствительных элементов датчиков УФ-излучения (рис.11), получены методом магнетронного ВЧ-распыления с применением дополнительной магнитной системы, помещенной за подложкодержателем.

Разработка технологического оборудования. В докладах участников конференции и симпозиума подчеркивалась следующая мысль: если аналитическое оборудование – зондовые (тоннельные и атомно-силовые) микроскопы, просвечивающие электронные микроскопы и т.п. можно приобрести



Рис. 12 Лабораторная вакуумная установка модульного типа

в России и за рубежом, технологическое оборудование для изготовления наноструктурированных материалов и изделий на их основе нужно создавать.

Примером такого недавно разработанного оборудования может служить вакуумная установка модульного типа (рис.12), предназначенная для формирования наноструктурированных тонких пленок методами термического и дугового испарения, магнетронного распыления и стимулированного плазмой газозафазного осаждения.



Рис. 13 Промышленная установка ионно-плазменного травления "Наноплазма"

НИИ точного машиностроения представил вакуумные установки нового поколения для нанесения тонких пленок, вакуумно-плазменного травления (рис.13), формирования углеродных алмазоподобных пленок и нанотрубок.

ЛИТЕРАТУРА

Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства функциональной электроники и нанофотоники) / Материалы XIII Международной научно-технической конференции; Тонкие пленки в электронике / Материалы XX Международного симпозиума. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, 460 с.

НОВЫЕ КНИГИ

Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н.
Кремний – материал наноэлектроники

Монография посвящена рассмотрению проблем и возможностей использования кремния для создания приборов и устройств наноэлектроники и нанофотоники. Даны представления о квантоворазмерных эффектах, возможности их проявления в кремниевых элементах и структурах, а также физических ограничениях.

Рассмотрены наиболее перспективные технологические возможности формирования наноразмерных кремниевых структур.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319 Москва, а/я 594
По тел./факсу: (495) 956-3346, 234-0110
E-mail: knigi@technosphaera.ru;
sales@technosphaera.ru