

Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных
работников высшей школы по направлению
«Планарные материалы (пленки и покрытия, интерфейсы,
молекулярные слои, гетероструктуры) и технологии их получения»
на базе учебного курса

«Наноматериалы в нанoeлектронике»

Цель: изучение физических принципов нанотехнологий и наноструктурированных материалов для нанoeлектроники

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 24 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

Целью данного курса является ознакомление с физическими основами нанотехнологий наноструктурированных материалов для электроники. Ознакомить слушателей с перспективами развития нанотехнологий, наноматериалов и нанoeлектроники. Раскрыть основные функциональные возможности наносистем. Сформировать необходимый опыт работы с техническими системами применяемыми в нанотехнологиях. Раскрыть основные принципы и подходы построения наносистемных объектов.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- Знать:
 - область применения технологии для электроники;
 - физико-химические основы физики твердого тела;
 - устройство технических систем для микроэлектроники.
- Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области нанотехнологий и наноматериалов;
 - включать приобретенные знания о технологии наноматериалов в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
 - переносить полученных знания о технологии наноматериалов на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
 - о теоретических моделях строения твердых тел;
 - о принципе саморегулируемости наносистем;
 - о возможных механизмах поверхностных реакций в твердых телах;

- о методах анализа структур в микроэлектронике.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
 - область применения нанотехнологий;
 - физико-химические основы физики твердого тела;
 - устройство технических систем для микроэлектроники;
 - теоретические основы электроники и область их применимости;
- 2.Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области нанотехнологий и наноматериалов;
 - планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием нанотехнологии;
 - генерировать новые плодотворные научно-технические и инновационные идеи с использованием нанотехнологий;
 - переносить полученные знания о наноструктурированных материалов на смежные предметные области и к использованию этих знаний для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности;
- 3.Иметь представление:
 - о строении твердого тела;
 - о возможных механизмах поверхностных реакций в твердых телах;
 - о методах анализа поверхности твердых тел.

Учебный курс «Наноматериалы в нанoeлектронике» состоит из дистанционной части.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические основы нанотехнологий, новейшие направления развития нанотехнологий и наноматериалов. Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций:

Лекция 1: Основные понятия и определения, используемые в нанотехнологиях

Основные понятия. Особенности материалов и их технологии получения.

Нанотехнология. Определения нанонауки и нанотехнологии. Квантоворазмерные эффекты. Нанодиагностика. Наноинженерия. Наноразмерные продукты, нанопродукты. Промежуточные полуфабрикаты (продукты) нанотехнологий. Нанослой, нанонить, наночастица, нанокompозит, кристалл из наночастиц. Размерность нанообъекта. Нанохимия, определения и термины. История развития нанотехнологий и нанообъектов.

Лекция 2: Основные принципы создания нанообъектов

Технологии получения нанообъектов. Наноразмерные элементы, нанообъекты – двумерные, одномерные, нульмерные нанообъекты. Квантоворазмерные эффекты токопереноса в наноразмерных элементах и структурах на их основе. Примеры наноразмерных объектов, применяемых в качестве наноматериалов. Наноструктуры. Современные тенденции развития нанотехнологий, нанообъектов и наноструктур. Свойства и области применения нанопродуктов. Нанoeлектроника. Конструкционные наноматериалы.

Лекция 3: Особенности технических систем, используемых в нанотехнологиях.

Нанотехнологические процессы формирования наноструктур. Эффект самоорганизации. Процессы самоорганизации наноструктур. Зондовые методы и приборы диагностики поверхности – сканирующей туннельной микроскопии и сканирующей атомно-силовой микроскопии. Стабильность продуктов нанотехнологий.

Лекция 4: Наноматериалы для нанoeлектроники

Наноматериал графен-пленка толщиной в атом. Методы получения фуллеренов и нанотрубок. Нанотрубки для топливных элементов. Конденсированные и композитные материалы на основе фуллеренов и нанотрубок. Компактные нанокристаллические объекты. Функциональные наноразмерные покрытия.

Лекция 5: Элементная база нанoeлектроники

Нанотрубки в роли транзистора. Гетероструктуры на основе АЗВ5. Фотонные транзисторы в кремниевом исполнении. Нанодиоды и нанотранзисторы. Гетероструктура РТД. ВАХ резонансно-туннельного диода. Технологический процесс изготовления резонансно-туннельного диода. Биполярные гетеротранзисторы (НВТ). Сверхконденсаторы из углеводородных нанотрубок.

Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 12 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте www.nanoobr.ru. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

Тестовые вопросы к курсу

«Наноматериалы в нанoeлектронике»

Лекция 1: Основные понятия и определения, используемые в нанотехнологиях

1. В требования ко всем методам изготовления наноструктур входят?

- | | |
|--|--|
| А) Сверхвысокий вакуум, охлаждение подложки до температур жидкого азота | Б) Нагрев подложки до температуры, сравнимой с температурой плавления |
| В) Особо тщательная очистка подложек от окислов, особо чистые исходные материалы | Г) Сверхвысокий вакуум, контроль за атомной структурой в реальном режиме времени |

Ответ:

2. В чем смысл коэффициента прилипания частицы?

- | | |
|---|---|
| А) Вероятность для частицы остаться на поверхности после попадания на нее | Б) Вероятность для частицы возвратиться на поверхность после ухода с нее |
| В) Вероятность для частицы покинуть поверхность после попадания на нее | Г) Вероятность для частицы остаться на поверхности при условии наличия других частиц на поверхности |

Ответ:

3. Что называют размерностью наноструктуры?

- | | |
|--|---|
| А) Число осей координат, вдоль которых размер наноструктуры меньше 10 нм | Б) Число осей координат, вдоль которых размер наноструктуры больше 1 мкм. |
| В) Число осей координат, вдоль которых размер наноструктуры меньше 1 мкм | Г) Число осей координат, вдоль которых размер наноструктуры больше 10 нм |

Ответ:

4. Как описывается перенос заряда, массы и энергии на расстояниях больше 1 мкм? Чем задается масштаб длины 1 мкм?

А) Дрейф и диффузия макроскопических распределений. Длина 1 мкм = длина дислокации и дебаевская длина экранирования.

В) Интерференция и дифракция волновых функций. Длина 1 мкм – характерная длина волны де Бройля электрона проводимости с типичной энергией 0,1 эВ

Б) Дрейф и диффузия макроскопических распределений. Длина 1 мкм – характерная длина волны де Бройля электрона проводимости с типичной энергией 0,1 эВ.

Г) Интерференция и дифракция волновых функций. Длина 1 мкм = длина дислокации и дебаевская длина экранирования

Ответ:

Лекция 2: Основные принципы создания нанобъектов

1. Каковы требования к размеру частиц в пучке для изготовления нанослоев?

А) Меньше 1 нм

Б) Меньше 10 нм

В) Меньше 0,1 нм

Г) Меньше 100 нм

Ответ:

2. Каковы общие недостатки методов изготовления наноструктур?

А) Необходимость охлаждения до температур жидкого азота, наличие неконтролируемых примесей в количестве 1 монослоя

Б) Отсутствие средств контроля монослоев в ходе процесса, отсутствие математических моделей процессов роста наноструктур

В) Необходимость охлаждения до температур жидкого азота, отсутствие математических моделей процессов роста наноструктур

Г) Отсутствие средств контроля монослоев в ходе процесса, наличие неконтролируемых примесей в количестве 1 монослоя

Ответ:

3. Следующие объекты относятся к двумерным (2D-) наноструктурам?

А) Пленка толщиной от 0,1 мкм до 10 мкм, реконструированная поверхность полупроводника, углеродная нанотрубка

Б) Пленка толщиной от 1 нм до 100 нм, релаксированная поверхность полупроводника, 2D-массив металлических и полупроводниковых наночастиц

В) Монослой атомов на поверхности подложки, 2D-массив наночастиц, кремниевая нанонить

Г) Нанокompозит, пленка толщиной от 1 нм до 1 мкм, кластер из изолированных наночастиц

Ответ:

4. Следующие объекты относятся к одномерным (1D-) наноструктурам?

А) Вирус, пленка толщиной от 1 нм до 100 нм, кремниевая нанонить

Б) ZnO – нанонить, нанокompозит, кластер из изолированных наночастиц

В) Молекула ДНК, металлическая нанонить, углеродная нанотрубка

Г) $MoSe_2$ – нанотрубка, пленка толщиной от 1 нм до 100 нм, релаксированная поверхность полупроводника

Ответ:

Лекция 3: Особенности технических систем, используемых в нанотехнологиях.

1. Что делают для повышения функциональности устройств наноэлектроники?

- А) Заменяют аналоговые схемы цифровыми
Б) Уменьшают размеры элементов интегральных схем
В) Повышают быстродействие и тактовую частоту
Г) Комбинируют в одном устройстве оптические, тепловые, механические явления

Ответ:

2. К методам изготовления нанослоев относятся?

- А) Зондовые методы, плазмохимическое осаждение и молекулярно – лучевая эпитаксия
Б) Ионно-плазменные методы, рентгеновская литография, химическая лучевая эпитаксия
В) Химическая газофазная эпитаксия, лазерная эпитаксия и молекулярно – лучевая эпитаксия
Г) Жидкофазная эпитаксия, ионная литография, лазерная эпитаксия

Ответ:

3. Какова концентрация частиц в плазме разрядов пониженного давления?

- А) $N \sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$
Б) $N \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$
В) $N \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$
Г) $N \sim 10^5 \text{ см}^{-3}$

Ответ:

4. Относительная флуктуация любой аддитивной функции состояния системы определяется величиной?

- А) $\delta \sim 1/N^{1/2}$
Б) $\delta \sim 1/N^2$
В) $\delta \sim 1/N$
Г) $\delta \sim N^{1/2}$

Ответ:

Лекция 4: Наноматериалы для нанoeлектроники.

1. Какова характерная длина свободного пробега частиц газа при нормальных условиях?

- А) 1 мкм
Б) 100 мкм
В) 10 мкм
Г) 0,1 мкм

Ответ:

2. Каковы требования к размеру частиц в пучке для изготовления нанослоев?

- А) Меньше 0,1 нм
Б) Меньше 10 нм
В) Меньше 1 нм
Г) Меньше 100 нм

Ответ:

3. Чему примерно равен квант сопротивления?

- А) 10 МОм
Б) 10 кОм
В) 1 ГОм
Г) 10 ГОм

Ответ:

4. Какие свойства характерны углеродным нанотрубкам?

- А) Химически и термически стабильны
Б) Подвергаются термическому разложению
В) Химически реактивны
Г) Химически реактивны и подвергаются термическому разложению

Ответ:

Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 18 вопросов

- 1) Расскажите об особенностях продуктов Нанотехнологий.
- 2) Каковы общие недостатки методов изготовления наноструктур?
- 3) В чем смысл коэффициента прилипания?
- 4) Что называют размерностью наноструктуры?
- 5) В чем суть поверхностного эффекта, наблюдаемого в наноструктурах?
- 6) В чем суть самоорганизации, наблюдаемой в наноструктурах?
- 7) Каковы характерные значения напряжения, тока и поверхностной плотности тока в зондовом методе нанотехнологии?
- 8) В чем суть иерархичности и фрактальности, наблюдаемых в наноструктурах?
- 9) В чем суть рассмотрения наноструктур как открытых систем?
- 10) Какие структуры разрабатывают для повышения быстродействия в нанoeлектронике?
- 11) Какие структуры разрабатывают для понижения энергопотребления в нанoeлектронике?
- 12) Что делают для повышения функциональности устройств нанoeлектроники?
- 13) Каковы требования к методам изготовления наноструктур?
- 14) В чем особенность наноматериала графен-пленки?

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

Темы контрольных рефератов по курсу «Наноматериалы в нанoeлектронике»

1. Методы получения фуллеренов и нанотрубок
2. Методы нанодиагностики.
3. Химические явления в нанотехнологиях.
4. Углеродные нанотрубки в электронике.
5. Теоретические модели процессов в нанотехнологиях.
6. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа
7. Принцип работы атомно-силового микроскопа.
8. Особенность технических систем в нанотехнологиях.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	«Нanomатериалы в нанoeлектронике»	24 ч.	10 ч.	2 ч.	12 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка) Реферат
1.	Лекция 1: Основные понятия и определения, используемые в нанотехнологиях		2,5 ч.	0,5 ч.		
2.	Лекция 2: Основные принципы создания нанобъектов		2,5 ч.	0,5 ч.		
3.	Лекция 3: Особенности технических систем, используемых в нанотехнологиях		2,5 ч.	0,5 ч.		
4.	Лекция 4: Nanomатериалы для нанoeлектроники		2,5 ч.	0,5 ч.		
5.	Лекция 5. Элементарная база нанoeлектроники		2,5 ч.	0,5 ч.		
Итоговый контроль				Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

Список литературы (основной и дополнительной), а также других видов учебно-методологических материалов и пособий, необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.).

Список литературы и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 9.

1. Развитие нанотехники. С.14-22.
2. П.Харрис. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.:Техносфера, 2003. – 336 с.
3. Нанотехнологии. Электронное учебное пособие./Под ред. проф. Нарайкина О.С. – МГТУ им. Н.Э.Баумана, каф.РЛ-6, 2007.
4. Нанотехнология и микромеханика: Учебное пособие / Ю.А.Иванов, К.В.Мальшев, В.А.Шалаев и др. - Ч. 1.: М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003 – 48 с.: ил.
5. Сергеев Г.Б. Нанохимия: учебное пособие/Г.Б.Сергеев. – 2-е изд.-М.: КДУ,2007. – 336 с.: ил.
6. Материалы VIII Межд. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов» ICHMS'2003, Крым, Судак 14-20 сент. 2003, с. 932

7. Водородная энергетика будущего и металлы платиновой группы. Межд. симпозиум. Москва, МИРЭА, 2 ноября 2004 г. Сб. материалов, с.69

8. Carbon 2002, 40, 791

9. Водородная энергетика будущего и металлы платиновой группы. Межд. симпозиум. Москва, МИРЭА, 2 ноября 2004 г. Сб. материалов, с.135

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части
учебного курса на сайте www.nanoobr.ru**