

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ А.Л. Толстик

(подпись)

23.06.2016

_____ (дата утверждения)

Регистрационный № УД- 2357/уч.

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ НАНОСТРУКТУР И НАНОМАТЕРИАЛОВ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**

Минск 2016

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 № 88; учебных планов № G31-143/уч. и № G31H-179/уч.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.К. Ксенович — заведующий НИЛ физики электронных материалов кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С.В. Шпаковский — начальник бюро конструкторско-технологического отдела филиала НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл», кандидат физико-математических наук;

А.В. Мазаник — доцент кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета (протокол №12 от 25 мая 2016 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 6 от 31 мая 2016 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Методы создания наноструктур и наноматериалов» разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

Цель учебной дисциплины — формирование у студентов знаний о современных методах создания наноструктурированных материалов и приборных структур на их основе.

Основные задачи учебной дисциплины — дать представление об основных методах создания наноматериалов различной геометрии, состава и назначения, преимуществах и недостатках их применения при создании функциональных приборных структур.

Развитие современных технологических процессов привело к возможности создания материалов и структур с характерными размерами элементов в субмикронном и нанометровом диапазоне. Наноструктурированные материалы и системы уже сейчас используются в экологических, энергетических, электронных и других технологиях, а в будущем сфера их применения будет постоянно расширяться. К настоящему времени известны десятки методов создания наноструктурированных материалов. Рассматриваются основные методы получения наноструктур, которые возможно условно разделить на два больших класса – физические и химические методы, кроме того можно выделить подходы «снизу-вверх» и «сверху-вниз» получения наноматериалов. Представлен анализ различных нанотехнологических процессов, в основе которых лежит реализация локальных атомно-молекулярных взаимодействий, которые формируют наноразмерные системы путем самосборок или путем самоорганизации сложных структур. Изделия создаются на основе оптимальной сборки атомов и молекул или их групп, поэтому позволяют реализовывать предельно возможные характеристики, по сравнению с которыми выпускаемые в настоящее время изделия будут в будущем неконкурентоспособны. Рассмотрены возможные области применения структур, созданных на основе нанотехнологии, позволяющие реализовать многократное увеличение быстродействия, уровня интеграции и расширение функциональных возможностей в электронике, оптике, робототехнике, материаловедении, биологии, информатике и других областях науки и техники.

Учебная дисциплина относится к циклу специальных дисциплин (государственный компонент) и находится во взаимосвязи со следующими дисциплинами: «Введение в физику наноструктур» и «Фундаментальные принципы нанотехнологий».

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные технологии создания наносистем и наноматериалов;
- главные закономерности в зависимостях эксплуатационных параметров наносистем и наноматериалов от особенностей технологических процессов их формирования;

уметь:

- ориентироваться в аппаратно-техническом обеспечении технологических процессов;
- планировать технологические эксперименты;

владеть:

- информацией по аппаратно-техническому обеспечению технологических процессов создания наноструктур и наноматериалов.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Академические компетенции:

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
2. Владеть системным и сравнительным анализом.
3. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

Социально-личностные компетенции:

1. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
2. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики наноматериалов и нанотехнологий, методов исследования физических объектов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.

2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов и технологических процессов их получения.

3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

4. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

5. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.

6. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

7. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

8. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и

обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

9. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

10. Определять цели инноваций и способы их достижения.

11. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины, — 48, из них количество аудиторных часов — 34.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и управляемой самостоятельной работы. На проведение лекционных занятий отводится 28 часов, на управляемую самостоятельную работу — 6 часов.

Занятия проводятся на 4-м курсе в 8-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Наноструктуры. Основные термины и определения. Введение в физику наноструктурированных материалов.

Общие сведения о наноструктурированных материалах и наноразмерных объектах. Физико-химические особенности наноструктурированных материалов. Изменение свойств материалов при переходе к нанометровым размерам. Классификация методов создания наносистем и наноматериалов.

2. Методы синтеза наночастиц и компактирования наноматериалов.

Физическое диспергирование. Конденсация из жидкой и газовой фаз. Технологические процессы получения нанодисперсных систем оксидов и гидроксидов различных металлов. Формирование структур на основе коллоидных растворов. Золь-гель технология.

Консолидированные наноструктурные материалы. Особенности объемных наноструктурных материалов, роль границ зерен. Порошковые технологии компактирования материалов. Ультразвуковое компактирование. Керамика. Ситаллы.

3. Методы получения углеродных наноматериалов.

3.1. Синтез углеродных нанотрубок. Синтез углеродных нанотрубок методом электродугового распыления графита. Лазерная абляция графита. Химическое осаждение из газовой фазы. Формирование ориентированных массивов углеродных нанотрубок.

3.2. Методы получения графена. Формирование нанокомпозитов с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя.

4. Электрохимические методы синтеза наноматериалов.

Создание диэлектрических матриц с упорядоченной структурой. Процессы создания диэлектрических матриц с упорядоченной структурой на основе оксида алюминия и оксида кремния с помощью анодирования. Получение упорядоченных массивов нанопроволок посредством заполнения пористых диэлектрических матриц различными металлами.

5. Методы эпитаксиального роста наноструктур.

5.1. Общие сведения об эпитаксии. Термодинамика поверхности, процессы на поверхности и в приповерхностных слоях. Модели эпитаксиального роста пленок Фольмера-Вебера, Франка-ван дер Мерве и Странски-Крастанова. Основные методы эпитаксиального наращивания. Газофазная эпитаксия, жидкофазная эпитаксия. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок. Использование эпитаксии при изготовлении приборных структур, структуры активных приборов. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Особенности молекулярно-лучевой эпитаксии. Приборы и техника молекулярно-лучевой эпитаксии. Газофазная эпитаксия из металлорганических соединений.

5.2. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков. Гетероэпитаксия. Технология пленок Ленгмюра-Блоджетт.

6. Самоорганизация и самосборка наноструктур.

6.1. Процессы самоорганизации и самосборки в нанотехнологиях. Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Гетероструктуры как основа наноструктур. Синтез квантовых точек и квантовых проволок. Формирование полупроводниковых гетеротрубок. Полупроводниковые нанопленки и нанопроволоки, металлические нанопленки и нанопроволоки. Механизм синтеза нанопроволок и нановискеров. Формирование нановолокон и наноспиралей. Наногофрированные структуры. Самоорганизация гетероэпитаксиальных структур. Ионный синтез квантовых наноструктур.

6.2. Синтез двухмерных и трехмерных упорядоченных массивов нанокристаллов металлов, сплавов металлов, полупроводников. Формирование наноструктур на основе опаловых матриц. Формирование упорядоченных полимерных структур на основе явления самосборки и их использование в качестве масок и шаблонов для формирования углеродных и полупроводниковых наноразмерных структур.

7. Литографические методы формирования наноструктур.

7.1. Сущность процессов литографии. Фотолитография. Фоторезисты и их параметры. Химические процессы, протекающие в фоторезистах. Материалы для фоторезистов. Фотошаблоны и их свойства. Основные этапы процесса фотолитографии.

7.2. Ограничения фотолитографии. Литография глубокого УФ диапазона. Рентгеновская литография. Электронная литография. Резисты в электронно-лучевой литографии. Особенности экспонирования в электронно-лучевой литографии. Ионная литография. Профилирование резистов сканирующими зондами. Нанопечатная литография. Сравнение нанолитографических методов.

8. Формирование наноструктур зондовыми методами.

8.1. Атомная инженерия. Физические основы зондовых нанотехнологий. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и атомно-силовой микроскоп (АСМ). Пондеромоторные силы. Поляризация эффекты и модификация среды в зазоре. Локальное окисление металлов и полупроводников. Локальное химическое осаждение из газовой фазы. Локальная глубинная модификация поверхности. Межэлектродный массоперенос. Локальное анодное окисление. Лазерное наноманипулирование.

8.2. Методы сканирующей зондовой литографии. Зондовое формирование полимерных микропроводников. Углеродная наноэлектроника. Локальное анодное окисление пиролитического графита.

9. Перспективы развития нанотехнологий.

Нанобиотехнологии. Преимущества и риски нанотехнологий. Организационные и финансовые аспекты развития нанотехнологий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Наноструктуры. Основные термины и определения. Введение в физику наноструктурированных материалов.	2							
1.1	Общие сведения о наноструктурированных материалах и наноразмерных объектах. Физико-химические особенности наноструктурированных материалов. Изменение свойств материалов при переходе к нанометровым размерам. Классификация методов создания наносистем и наноматериалов.	2					[1], [9]		
2	Методы синтеза наночастиц и компактирования наноматериалов.	2							
2.1.	Физическое диспергирование. Конденсация из жидкой и газовой фаз. Технологические процессы получения нанодисперсных систем оксидов и гидроксидов различных металлов. Формирование структур на основе коллоидных растворов. Золь-гель технология. Консолидированные наноструктурные материалы. Особенности объемных наноструктурных материалов, роль границ зерен. Порошковые технологии компактирования материалов. Ультразвуковое компактирование. Керамика. Ситаллы.	2					[1]–[3]		
3	Методы получения углеродных наноматериалов.	4							
3.1	Синтез углеродных нанотрубок. Синтез углеродных нанотрубок методом электродугового распыления графита. Лазерная абляция графита. Химическое осаждение из газовой фазы. Формирование ориентированных массивов углеродных нанотрубок.	2					[14], [15]		
3.2	Методы получения графена. Формирование нанокомпозитов с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя.	2					[4], [5]		
4	Электрохимические методы синтеза наноматериалов	2							

4.1	Создание диэлектрических матриц с упорядоченной структурой. Процессы создания диэлектрических матриц с упорядоченной структурой на основе оксида алюминия и оксида кремния с помощью анодирования. Получение упорядоченных массивов нанопроволок посредством заполнения пористых диэлектрических матриц различными металлами.	2						[4], [5]	
4.2	Текущий контроль знаний студентов по разделам 2–4						2		Письменное тестирование
5	Методы эпитаксиального роста наноструктур.	4							
5.1	Общие сведения об эпитаксии. Термодинамика поверхности, процессы на поверхности и в приповерхностных слоях. Модели эпитаксиального роста пленок Фольмера-Вебера, Франка-ван дер Мерве и Странски-Крастанова. Основные методы эпитаксиального наращивания. Газофазная эпитаксия, жидкофазная эпитаксия. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок. Использование эпитаксии при изготовлении приборных структур, структуры активных приборов. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Особенности молекулярно-лучевой эпитаксии. Приборы и техника молекулярно-лучевой эпитаксии. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.	2						[4–6], [10–12]	
5.2	Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков. Гетероэпитаксия. Технология пленок Ленгмюра-Блоджетт.	2						[12]	
6	Самоорганизация и самосборка наноструктур.	4							
6.1	Процессы самоорганизации и самосборки в нанотехнологиях. Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Гетероструктуры как основа наноструктур. Синтез квантовых точек и квантовых проволок. Формирование полупроводниковых гетеротрубок. Полупроводниковые нанопленки и нанопроволоки, металлические нанопленки и нанопроволоки. Механизм синтеза нанопроволок и нановискеров. Формирование нановолокон и наноспиралей. Наногофрированные структуры. Самоорганизация гетероэпитаксиальных структур. Ионный синтез квантовых наноструктур.	2						[6], [13]	
6.2	Синтез двумерных и трехмерных упорядоченных массивов нанокристаллов металлов, сплавов металлов, полупроводников. Формирование наноструктур на основе опаловых матриц. Формирование упорядоченных полимерных структур на основе явления самосборки и их использование в качестве масок и шаблонов для формирования углеродных и полупроводниковых наноразмерных структур.	2						[4],[6]	
7	Литографические методы формирования наноструктур.	4							
7.1	Сущность процессов литографии. Фотолитография. Фоторезисты и их параметры. Химические процессы, протекающие в фоторезистах. Материалы для фоторезистов. Фотошаблоны и их свойства. Основные этапы процесса фотолитографии.	2						[5], [6]	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной и дополнительной литературы

Основная

1. Пул Ч., Оуэне Ф. Нанотехнологии. –М.: Техносфера, 2004. –328 с.
2. Материалы и методы нанотехнологии / В.В. Старостин; под общей редакцией Л.Н. Патрикеева. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 431 с.
3. Нанотехнология в полупроводниковой электронике /Отв. ред. А.Л. Асеев.» Новосибирск: Изд. СО РАН, 2004.–368 с.
4. Наноматериалы и нанотехнологии. / Под ред. В.Е. Борисенко. –Минск: «Издательский центр БГУ», 2008. –374 с.
5. Нанотехнологии в электронике / Под. ред Ю.А. Чаплыгина. –М.: Техносфера, 2005. –348 с.
6. Щука А.А. Наноэлектроника. –М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.
7. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. –М.: Техносфера, 2005, –348 с.
8. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.; Техносфера, 2004, 284 с.
9. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем.–СПб.: Наука, 2001.–160 с.

Дополнительная

10. Гохштейн А.Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция. М.: Высшая школа, 1976.
11. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники: Учеб. Пособие, 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
12. Ежовский И.К. Поверхностные наноструктуры – перспективы синтеза и использования // Соросовский образовательный журнал.–2004. Т.6, №1.
13. Н.Н. Леденцов, В.М. Устинов, В.А. Щукин, П.С. Копьев, Ж.И. Алферов, Д. Бимберг. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры // ФТП.– 1998.– т.32, №4.– с. 385.
14. В.К. Неволин. Основы туннельно-зондовой нанотехнологии. М.: МИЭТ, 1996, –90 с. (Переработанное и дополненное пособие размещено на сайте: www.nanotube.ru).
15. А.В. Елецкий. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // УФН.– 2002.– Т. 172, №4.– с. 401–438.
16. А.В. Елецкий. Транспортные свойства углеродных нанотрубок // УФН.– 2009.– Т. 179, №3.– с. 225–242.

Примерные перечни заданий управляемой самостоятельной работы

Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий

1. Методы синтеза наночастиц и компактирования наноматериалов.
2. Методы получения углеродных наноматериалов.
3. Электрохимические методы синтеза наноматериалов.
4. Методы эпитаксиального роста наноструктур.
5. Самоорганизация и самосборка наноструктур.
6. Литографические методы формирования наноструктур.
7. Формирование наноструктур зондовыми методами.

Примерная тематика реферативных работ

1. Физическая сущность процессов адсорбции, абсорбции и десорбции.
2. Гетерогенные системы и их классификация.
3. Физико-химические особенности наноструктурированных материалов.
4. Процессы самоорганизации гетероэпитаксиальных структур.
5. Технологические особенности молекулярно-лучевой эпитаксии полупроводниковых соединений.
6. Методы получения наногофрированных структур.
7. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии.
8. Формирование и применение квантовых точек.
9. Основные параметры литографических процессов.
10. Преимущества и недостатки рентгеновской литографии.
11. Процессы контактного формирования нанорельефа.
12. Физические основы электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии.
13. Физические и технологические ограничения литографических процессов.
14. Физические и химические методы синтеза наночастиц.
15. Порошковые технологии получения наноматериалов.
16. Золь-гель технология.
17. Методы получения углеродных наноматериалов и нанокompозитов.
18. Методы создания нанопроволок и нановискеров.
19. Электрохимические процессы формирования упорядоченных пористых наноразмерных структур.
20. Получение и применение пористого кремния.
21. Физико-химические основы технологии пленок Ленгмюра-Блоджетт.
22. Физические основы зондовых нанотехнологий.
23. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия в нанотехнологиях.
24. Процессы самосборки биологических объектов.
25. Перспективы развития нанотехнологий в Республике Беларусь.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Тестовые задания по разделам дисциплины.
2. Защита реферативных работ.
3. Устные опросы.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Контрольные работы проводятся в письменной форме. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждой контрольной работы проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое из письменных тестирований и оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

Оценка текущей успеваемости служит для определения допуска студентов к зачету. В случае получения неудовлетворительной (ниже 4 баллов) оценки при текущем контроле качества усвоения знаний по дисциплине обучающийся не допускается к зачету.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Введение в физику наноструктур	Кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению в представленном варианте: протокол заседания кафедры физики полупроводников и нанoeлектроники № 12 от 25.05.2016 года
Фундаментальные принципы нанотехнологий	Кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению в представленном варианте протокол заседания кафедры физики полупроводников и нанoeлектроники № 12 от 25.05.2016 года № 12 от 25.05.2016 года

