

Белорусский государственный университет



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

А.Л.Толстик

(подпись)

(И.О.Фамилия)

25.02.2016

(дата утверждения)


Регистрационный № УД- 3479/уч.

МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 03 Физическая электроника

2016 г.



Белорусский государственный университет**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

_____ А.Л.Толстик
(подпись) (И.О.Фамилия)

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-_____/уч.

МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:****1-31 04 03 Физическая электроника**

2016 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 03-2013 и учебного плана УВО № G31-165/уч. 2013 г., №G31u-188/уч. 2013г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.Г. Новиков, старший преподаватель кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.П. Бондаренко, доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент;

К.В. Козадаев, заведующий кафедрой интеллектуальных систем Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета

(протокол № 2 от 10 сентября 2015 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 1 от 23.09. 2015 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Микро- и наноэлектроника» разработана для студентов специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника» (цикл специальных дисциплин, государственный компонент) в соответствии с требованиями Образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 04 03-2013 и учебных планов Белорусского государственного университета по специальности 1-31 04 03 Физическая электроника.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов систематизированных знаний и практических навыков в области физической электроники, посвященной технологиям создания объектов и устройств микро- и наноэлектроники, а также формирование у студентов фундаментальных физических знаний, необходимых специалистам, работающим в области нанотехнологий.

В задачи изучаемой дисциплины входит:

- формирование представлений об основных направлениях развития современных технологий создания интегральных микросхем, а также о материалах и методах нанотехнологий, квантовых приборах и устройствах;
- изучение основных технологических процессов, с помощью которых в настоящее время создаются наноразмерные элементы и структуры;
- освоение методов синтеза наноразмерных объектов и контроля их параметров, формирование навыков работы с инструментарием нанотехнологий.

Для изучения дисциплины «Микро- и наноэлектроника» достаточно знаний по общей физике и физике полупроводников и полупроводниковых приборов, а также по физике и химии твердого тела в объеме учебных программ названных дисциплин.

В результате изучения учебной дисциплины обучаемый должен:

знать:

- физические явления и процессы, определяющие электрофизические свойства и электрические характеристики микро- и наноструктур;
- физические и химические процессы, лежащие в основе микро- и нанотехнологий;
- принципы работы приборов и устройств микро- и наноэлектроники;

уметь:

- проводить анализ физических процессов, протекающих в структурах микро- и наноэлектроники;

владеть:

- методами экспериментального определения, теоретического расчёта и компьютерного моделирования параметров и характеристик приборов и структур микро- и наноэлектроники

Освоение программы по учебной дисциплине «Микро- и наноэлектроника» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- ПК-4. Проводить математическое моделирование физических процессов, приборов и устройств;
- ПК-15. Рассчитывать и анализировать режимы работы приборов, интегральных схем и электронных устройств и намечать пути улучшения их характеристик;

Программа дисциплины рассчитана на 130 часов; аудиторное количество часов – 62, из них: лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 28 часов.

Дисциплина «Микро- и наноэлектроника» изучается студентами дневной формы получения высшего образования на 4-ом курсе в 7-ом семестре.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

- 1. Введение в дисциплину.** Цель и задачи дисциплины. Основные понятия и определения. История и тенденции развития микро- и нанотехнологий. Закон Мура. Эффект размерного квантования (квантовые точки, проволоки, ямы).
- 2. Наноматериалы.** Классификация наноматериалов. Наночастицы и нанокластеры. Фуллерены. Нанотрубки и нанопроволоки. Пористые вещества. Дисперсии. Структурированные поверхности и пленки. Наноструктуры на основе полупроводниковых соединений.
- 3. Инструментарий для исследования наноструктур.** Электронная просвечивающая микроскопия. Электронная сканирующая микроскопия. Полевая ионная микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Близкопольная сканирующая оптическая микроскопия. Зондовая нанотехнология (наноитография).
- 4. Методы формирования наноструктур.** Технология «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Зародышеобразование в объеме и тонких пленках. Термодинамическая теория зародышеобразования. Молекулярно-кинетическая теория зародышеобразования. Распад пересыщенных твердых растворов. Методы формирования пересыщенных растворов. Гомо- и гетероэпитаксия. Механизмы гетероэпитаксиального роста: Франка-ван-дер-Верме, Фольмера-Вебера, Странски-Крастанова. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Осаждение из паровой фазы (CVD). Получение аморфных, поликристаллических и монокристаллических пленок.
- 5. Технология СБИС.** Планарная технология СБИС (общие сведения). Технологическая гигиена в технологии СБИС. Технологии получения современных подложек для СБИС. Методы осаждения диэлектрических и металлических пленок в технологии СБИС. Сегрегация легирующей примеси при окислении кремния, модель Дила и Гроува. Методы легирования кремния. Легирование методом ионной имплантации. Оборудование для ионной имплантации. Параметры пространственного распределения атомов и дефектов в кристаллах после ионной имплантации. Отжиг имплантированных слоев в технологии СБИС. Диффузия примеси. Модели диффузии. Уравнения Фика. Факторы, влияющие на диффузию примеси. Технология КМОП ИС.
- 6. Субмикронные ионно-лучевые технологии.** Ионный синтез наноструктур на поверхности и в объеме полупроводников. Формирование нанокристаллов кремния и германия в диэлектриках при ионной бомбардировке. Процессы самоорганизации наноструктур при ионном синтезе. Анизотропное распыление поверхности полупроводниковых материалов при воздействии ионных пучков.
- 7. Углеродные наноструктуры.** Структуры на основе углерода. Получение углеродных наноструктур. Физические свойства углеродных наноструктур. Химические свойства углеродных наноструктур. Электрические свойства углеродных наноструктур.
- 8. Нанoeлектроника.** Электронные приборы на основе нанообъектов.

Приборы на основе одноэлектронного туннелирования. Резонансно-туннельный диод. Нанокomпьютеры. Квантовая оптоэлектроника. Полупроводниковые светодиоды и лазеры на основе гетероструктур с квантовыми ямами и точками.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ (4 Ч)	4						
1.1.	История и тенденции развития микро- и нанотехнологий.	2				Компьютерная презентация	[1 - 3] [18 - 21]	
1.2.	Эффекты размерного квантования.	2				Компьютерная презентация	[1 - 3] [18 - 21]	
2.	НАНОМАТЕРИАЛЫ (4 Ч)	4						Тест № 1
2.1.	Классификация наноматериалов.	2				Компьютерная презентация	[4 - 7] [18 - 21]	
2.2.	Наноструктуры на основе полупроводниковых соединений.	2				Компьютерная презентация	[4, 6] [7 - 10]	

3.	ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР (12 Ч)	4		8				Тест № 2
3.1.	Электронная микроскопия.	2		8		Компьютерная презентация	[6, 7] [10 - 11] [15 - 17]	
3.2.	Зондовая микроскопия.	2						
3.3.	Получение nano-островков оксидов металлов при термической обработке в окисляющей среде при различных температурно-временных условиях.			4				
3.4.	Исследование структурно-фазового состояния образцов с нанокристаллами оксидов металла.			4				
4.	МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР (10 Ч)	4		6				
4.1.	Распад пересыщенных твердых растворов.	2				Компьютерная презентация	[1, 6, 8] [12] [14 - 17] [19 - 21]	
4.2.	Гомо- и гетероэпитаксия.	2				Компьютерная презентация	[6] [9, 10] [17 - 21]	
4.3.	Изучение параметров тонких слоев поликристаллического Ge для фотодиодов			6				
5.	ТЕХНОЛОГИЯ СБИС(14 Ч)	8		6				Тест № 3
5.1.	Технологии получения современных подложек для СБИС.	2				Компьютерная презентация	[1 - 3] [9]	

							[12 - 16]	
5.2.	Самоорганизованный рост квантовых точек по механизму Странского-Крастанова.	2				Компьютерная презентация	[6 - 9] [17 - 19]	
5.3.	Сегрегация легирующей примеси при окислении кремния, модель Дила и Гроува.	2				Компьютерная презентация	[3] [9] [12 - 16]	
5.4.	Отжиг имплантированных слоев в технологии СБИС.	2				Компьютерная презентация	[3] [9] [12 - 16]	
5.5.	Исследование характеристик мощных светодиодов белого света			6				
6.	СУБМИКРОННЫЕ ИОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (4 Ч)	4						Тест № 4
6.1.	Ионный синтез наноструктур на поверхности и в объёме полупроводников.	2				Компьютерная презентация	[7, 8] [15 - 17]	
6.2.	Процессы самоорганизации наноструктур при ионном синтезе.	2				Компьютерная презентация	[7, 8] [15 - 17]	
7.	УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ (2 Ч)	2						
7.1.	Наноструктуры на основе углерода.	2				Компьютерная презентация	[4, 8] [13] [15 - 16] [18 - 19]	
8.	НАНОЭЛЕКТРОНИКА (12 Ч)	4		8				Тест № 5
8.1.	Приборы на основе одноэлектронного туннелирования.	2				Компьютерная презентация	[4, 5, 8] [9, 10]	

							[12]	
8.2	Полупроводниковые светодиоды и лазеры на основе гетероструктур с квантовыми ямами и точками.	2				Компьютерная презентация	[4, 9, 10] [11, 12] [17]	
8.3.	Моделирование плазменного резонанса на наночастицах металла.			4			[11, 12] [17]	
8.4.	Моделирование ВАХ гетероструктур с квантовыми точками.			4			[11, 12] [17]	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Пул Ч., Оуенс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2005. 328 с.
2. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. М.: Техносфера, 2008. С. 352.
3. 3. Пирс, К. Технология СБИС. В 2-х т. / Под ред. С. Зи. М.: Мир, 1986. 832 с.
4. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. Учебное пособие. М.: Лань, 2011. С. 544.
5. Борисенко В.Е., Воробьева А.И. Учебное пособие по курсу «Нанотехнология». – Мн.: БГУИР, 2003.
6. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / Под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. – М.: Физматлит, 2006. 552.
7. И. П. Суздаев. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Изд-во: "Либроком", 2009, 592 стр.
8. Самоорганизованные наноразмерные структуры на поверхности и в объеме полупроводников // Н.Н.Герасименко, К.К.Джаманбалин, Н.А.Медетов, Изд-во «ЛЕМ», 2002.
9. Бурмаков, А. П. Физические основы технологии микроэлектроники. Учеб. пособие / А. П. Бурмаков, П. И. Гайдук, Ф. Ф. Комаров, А. В. Леонтьев. Мн.: БГУ, 2002. 195 с.
10. Дьяконов В.П., Афонский А.А. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике. Изд-во: ДМК, 2011. С. 688.

Дополнительная литература

- 11.Х.Кейси, М.Паниш. Лазеры на гетероструктурах, т. 1 и 2. М., Сов. радио, 1981.
- 12.Ж.И. Алферов. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // ФТП. 1998. Т. 32, № 1. С. 3 - 18.
- 13.Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера, 2003.336 с.
- 14.Марк Ратнер, Даниэль Ратнер Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи — М.: «Вильямс», 2006. — С. 240.
- 15.Бурмаков, А.П. Физические основы технологии микроэлектроники. Учеб. пособие. / А.П. Бурмаков, П.И. Гайдук, Ф.Ф. Комаров, А.В. Леонтьев. Мн.: БГУ, 2002.
- 16.Гайдук, П.И. Материалы микро- и наноэлектроники. П.И. Гайдук, Ф.Ф. Комаров, О.Р. Людчик, А.В. Леонтьев. Мн.: БГУ, 2007. 154 с.
- 17.Л.Ченг, К.Плог. Молекулярно-лучевая эпитаксия. М.: Мир, 1989.
- 18.<http://popular.rusnano.com/Home.aspx>
- 19.<http://edu.ulsu.ru/w/index.php>

Средства диагностики компетенций

Основным средством диагностики усвоения знаний и овладения необходимыми умениями и навыками по дисциплине «Микро- и наноэлектроника» является письменная работа в виде аудиторного тестирования, подготовка отчетов по лабораторным работам с последующим индивидуальным собеседованием и тестированием по ним, подготовка рефератов и презентаций, контрольные опросы на лекциях, консультации.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка по дисциплине формируется на основании Правил проведения аттестации (пост. МО №53 от 29.05.2012г.), положения о рейтинговой системе БГУ (ред. 2015 г.) и критериев оценки студентов (10 баллов).

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
Общая физика	Кафедра физики и аэрокосмических технологий	Без изменений	Протокол № 2 от 10 сентября 2015 г. Без изменений
Физика полупроводников и полупроводниковых приборов	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	Без изменений	Протокол № 2 от 10 сентября 2015 г. Без изменений
Физика твердого тела	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	Без изменений	Протокол № 2 от 10 сентября 2015 г. Без изменений
Химия твердого тела	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	Без изменений	Протокол № 2 от 10 сентября 2015 г. Без изменений

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
физической электроники и нанотехнологий
(протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)