

# Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе



\_\_\_\_\_ А.Л. Толстик

25.05.2017  
\_\_\_\_\_ (дата утверждения)

Регистрационный № УД- 3944 /уч.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

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

Минск 2017

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 №G31и-179/уч.

### **СОСТАВИТЕЛЬ:**

**В. Б. Оджаев** – заведующий кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**В. С. Просолович** – доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 24 мая 2017 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 25 мая 2017 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины "Нанотехнологии в электронике" разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

*Цель учебной дисциплины* – ознакомление студентов с современными достижениями физики и технологии полупроводников и наноэлектроники. *Основные задачи учебной дисциплины* – дать представление об особенностях применения нанотехнологий в электронике (в том числе и молекулярной), об основных направлениях развития наноэлектроники и сферах ее использования.

Нанотехнология – это сумма технологических процессов и методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами с целью получения новых материалов, элементов и приборов. Основой нанотехнологических процессов является проведение локальных атомно-молекулярных взаимодействий, которые формируют наноэлектронные системы путем самоборок или путем самоорганизации сложных структур. В настоящее время наиболее распространены групповые технологии создания объектов нанометровых размеров с помощью осаждения и литографии. Применение методов эпитаксии позволяет преодолеть присущие групповым методам недостатки, такие как формирование зерен, дислокаций, пор и других дефектов. На основе техники сканирующей зондовой микроскопии созданы методы нанотехнологии, использующие частицы с величинами энергий, определяемых не энергией, необходимой для их фокусировки, а оптимальной энергией стимуляции нанотехнологических процессов. Наноэлектроника является логическим развитием субмикронной электроники.

В курсе рассматриваются также вопросы применения полимеров в электронике (молекулярная электроника), вопросы получения электропроводящих полимеров, а также их основные физико-химические свойства, включая механизмы проводимости, контактные явления. Полимеры применяются в электронике для формирования резисторов, светодиодов, транзисторов, солнечных элементов, дисплеев и т.п. Важность развития данного научного направления была подтверждена присуждением Нобелевской премии по химии 2000 года за открытие и создание проводящих полимеров. Данный курс обобщает, систематизирует и развивает имеющиеся представления об электронных материалах и необходим для последующей учебно-научно-производственной деятельности.

В курсе применяются активные методы обучения. Основу составляют технологии проблемного и контекстного обучения, предполагающие наряду с приобщением студентов к объективным противоречиям научного знания и способам их решения также последовательное моделирование условий профессиональной деятельности специалистов.

*Материал курса основан* на знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах по электричеству, оптике, атомной физике, ядерной физике, квантовой механике, спецкурсах по зонной теории полупроводников и статистической физике полупроводников.

*В результате изучения дисциплины студент должен:*

***знать:***

- основные понятия физики конденсированного состояния;
- особенности нанотехнологических процессов;
- влияние квантоворазмерных эффектов на характер протекания физических процессов;
- основы физики современных технологий полупроводниковой электроники;
- свойства полимеров, основные электронные устройства на их основе;
- новейшие достижения в области полимерной электроники;

***уметь:***

- проводить анализ возможности использования в конкретных случаях тех или иных приборов в зависимости от их основных эксплуатационных параметров;
- анализировать перспективы создания устройств электроники на базе полимеров;
- анализировать рынки электронных компонентов наноэлектроники;
- прогнозировать свойства электронных устройств на основе полимеров;

***владеть:***

- базовыми принципами работы устройств наноэлектроники;
- основами теории физики полимерных материалов.

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. Владеть исследовательскими навыками.
4. Уметь работать самостоятельно.
5. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

*Социально-личностные компетенции:*

1. Обладать качествами гражданственности.
2. Быть способным к социальному взаимодействию.
3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
4. Владеть навыками здорового образа жизни.

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

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

4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

5. 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.

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

7. Определять цели инноваций и способы их достижения.

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

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 120, из них количество аудиторных часов – 48.

Форма получения высшего образования – очная, дневная.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и управляемой самостоятельной работы. На проведение лекционных занятий отводится 40 часов, управляемую самостоятельную работу – 8 часов.

Занятия проводятся на 5-м курсе в 9-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **1. Введение в нанотехнологию в электронике.**

1.1 Объекты нанонауки и нанотехнологии. Основные задачи нанотехнологии. Объекты элементной базы нанoeлектроники. Гетероструктура, сверхрешетка, «искусственный атом». Квантовые ямы, нити, точки.

### **2. Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях.**

2.1 Понятие поверхности, атомно-чистая поверхность, покрытая поверхность, контактная поверхность. Размерные эффекты. Атомная структура поверхностного слоя. Массоперенос на поверхности. Межфазные характеристики.

2.2 Термодинамика поверхности. Принцип локального равновесия и самоорганизация систем. Поверхностная энергия, поверхностная ионизация, поверхностное натяжение. Капиллярные явления. Адсорбция, десорбция и испарение с поверхности.

### **3. Гетерогенные процессы формирования наноструктур.**

3.1 Общие сведения об эпитаксии. Прямые процессы. Непрямые процессы. Основные методы эпитаксиального наращивания. Модели эпитаксиального роста пленок.

3.2 Химическое осаждение из паровой фазы. Испарение в вакууме. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок.

3.3 Жидкофазная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии. Использование эпитаксии при изготовлении приборных структур, структуры активных приборов.

3.4 Формирование структур на основе коллоидных растворов. Зольгель технология. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков. Гетероэпитаксия.

### **4. Методы получения упорядоченных наноструктур.**

4.1 Искусственное нанoформирование. Гетероструктуры как основа наноструктур. Формирование полупроводниковых гетеротрубок. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей.

4.2 Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Наногофрированные структуры. Самоорганизация и самосборка наноструктур. Самоорганизация гетероэпитаксиальных структур.

### **5. Пучковые методы нанолитографии.**

5.1 Основные процессы фотолитографии. Фоторезисты. Фотохимические процессы, происходящие в фоторезистах под действием света. Параметры фоторезистов. Фотошаблоны и их свойства. Литографические методы формирования структур. Рентгеновская литография. Источники импульсного рентгеновского излучения.

5.2 Электронная литография. Резисты в электронно-лучевой литографии. Экспонирование в электронно-лучевой литографии. Ионная литография. Возможности пучковых методов нанолитографии в нанoeлектронике.

Особенности и свойства рентгенолитографии и ионнографии. Нанопечатная литография. Ионный синтез квантовых наноструктур.

### **6. Методы зондовой нанотехнологии.**

6.1 Физические основы зондовой нанотехнологии. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и атомно-силовой микроскоп (АСМ). СТМ-литография. Совместное использование лазера и СТМ в нанолитографии. Эффект полевой эмиссии. Поляризационные эффекты и модификация среды в зазоре. Полевое испарение.

6.2 Контактное формирование нанорельефа. Бесконтактное формирование нанорельефа. Локальная глубинная модификация поверхности. Межэлектродный массоперенос. Электрохимический массоперенос. Массоперенос из газовой фазы. Локальное анодное окисление.

### **7. Свойства полимеров.**

7.1 Молекулярная электроника. Физико-химические и механические свойства полимеров и методы их исследования.

7.2 Графит и целлюлозно-углеродные полимеры. Понятие длины сопряжения в полимерах. Экспериментальные доказательства существования солитонов, поляронов и биполяронов.

7.3 Электрические свойства полимеров. Полимеры с нелинейно-оптическими свойствами.

### **8. Применение полимерных материалов.**

8.1 Легированные и электрохимически легированные полимеры. Резисторы и нагревательные элементы. Полимерные батареи. Фотодиоды. Полимерные транзисторы. Светоизлучающие диоды. Дисплеи. Применение наполненных полимеров в электронике.

8.2 Пьезоэлектрический эффект. Пироэлектрический эффект. Пиро- и пьезоэлектрики на основе полимеров. Жидкие кристаллы и приборы на их основе. Применение электропроводящих полимеров.

8.3 Электронные полимерные элементы. Температурные и газовые сенсоры. Полимерные батареи.

### **9. Полимерная электроника.**

9.1 Молекулярные органические магнетики. Правило Гунда. Магнетики на основе комплексов переходных металлов. Полностью органические ферромагнетики.

9.2 Молекулярные материалы для оптоэлектроники. Молекулярная микроэлектроника. Транспорт в структурах металл-молекула-металл.

9.3 Органические материалы с нелинейными оптическими свойствами. Фоторефрактивные органические материалы. Фотохромные органические материалы. Пленки Лэнгмюра-Блоджетт. Молекулярный выпрямитель. Эффекты кулоновской блокады. Основные достижения полимерной электроники. Органическая печатная электроника. Перспективы применения полимеров в электронике

## 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	Количество часов УСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>1</b>	<b>Общая характеристика нанотехнологий</b>	<b>2</b>							
1.1	Объекты нанонауки и нанотехнологии. Основные задачи нанотехнологии. Объекты элементной базы наноэлектроники. Гетероструктура, сверхрешетка, «искусственный атом». Квантовые ямы, нити, точки.	2					[1.1], [1.3]		
<b>2</b>	<b>Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях</b>	<b>4</b>							
2.1	Понятие поверхности, атомно-чистая поверхность, покрытая поверхность, контактная поверхность. Размерные эффекты. Атомная структура поверхностного слоя. Массоперенос на поверхности. Межфазные характеристики.	2					[1.2], [1.3]		
2.2	Термодинамика поверхности. Принцип локального равновесия и самоорганизация систем. Поверхностная энергия, поверхностная ионизация, поверхностное натяжение. Капиллярные явления. Адсорбция, десорбция и испарение с поверхности.	2					[1.2], [1.3]		
<b>3</b>	<b>Гетерогенные процессы формирования наноструктур</b>	<b>8</b>				<b>2</b>			
3.1	Общие сведения об эпитаксии. Прямые процессы. Непрямые процессы. Основные методы эпитаксиального наращивания. Модели эпитаксиального роста пленок.	2					[1.3], [1.5]		
3.2	Химическое осаждение из паровой фазы. Испарение в вакууме. Газофазная эпитаксия из металлорганических соединений. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок.	2					[1.1], [1.4]		
3.3	Жидкофазная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии. Использование эпитаксии при изготовлении приборных структур, структуры активных приборов.	2					[1.1], [1.4]		
3.4	Формирование структур на основе коллоидных растворов. Золь-гель техно-	2					[1.4]		



	логия. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков. Гетероэпитаксия.								
3.5	Текущий контроль знаний студентов по разделам «Общая характеристика нанотехнологий», «Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях», «Гетерогенные процессы формирования наноструктур»					2			Письменное тестирование
<b>4</b>	<b>Методы получения упорядоченных наноструктур</b>	<b>4</b>							
4.1	Искусственное наноформирование. Гетероструктуры как основа наноструктур. Формирование полупроводниковых гетеротрубок. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей.	2						[1.1], [1.5]	
4.2	Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Наногофрированные структуры. Самоорганизация и самосборка наноструктур. Самоорганизация гетероэпитаксиальных структур.	2						[1.1], [1.3]	
<b>5</b>	<b>Методы нанолитографии</b>	<b>4</b>							
5.1	Основные процессы фотолитографии. Фоторезисты. Фотохимические процессы, происходящие в фоторезистах под действием света. Параметры фоторезистов. Фотошаблоны и их свойства. Литографические методы формирования структур. Рентгеновская литография. Источники импульсного рентгеновского излучения.	2						[1.3], [1.4]	
5.2	Электронная литография. Резисты в электронно-лучевой литографии. Экспонирование в электронно-лучевой литографии. Ионная литография. Возможности пучковых методов нанолитографии в нанoeлектронике. Особенности и свойства ренгенолитографии и ионнографии. Нанопечатная литография. Ионный синтез квантовых наноструктур.	2						[1.1], [1.3]	
<b>6</b>	<b>Методы зондовой нанотехнологии</b>	<b>2</b>				<b>2</b>			
6.1	Физические основы зондовой нанотехнологии. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и атомно-силовой микроскоп (АСМ). СТМ-литография. Совместное использование лазера и СТМ в нанолитографии. Эффект полевой эмиссии. Поляризационные эффекты и модификация среды в зазоре. Полевое испарение.	2						[1.5], [1.6]	
6.2	Контактное формирование нанорельефа. Бесконтактное формирование нанорельефа. Локальная глубинная модификация поверхности. Межэлектродный массоперенос. Электрохимический массоперенос. Массоперенос из газовой фазы. Локальное анодное окисление.	2						[1.5], [1.6]	
6.3	Текущий контроль знаний студентов по разделам «Методы получения упорядоченных наноструктур», «Методы нанолитографии», «Методы зондовой нанотехнологии»					2		[1.5], [1.6]	Письменное тестирование
<b>7</b>	<b>Свойства полимеров</b>	<b>3</b>							
7.1	Молекулярная электроника. Физико-химические и механические свойства полимеров и методы их исследования.	1						[1.8]	



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Рекомендуемая литература

#### *Основная*

- 1.1 Пул Ч., Оуэне Ф. Нанотехнологии. – М: Техносфера, 2004. –328 с.
- 1.2 Нанотехнология в полупроводниковой электронике /Отв. ред. А.Л. Асеев.– Новосибирск: Изд. СО РАН, 2004.–368 с.
- 1.3 Нанотехнологии в электронике/ Под. ред Ю.А.Чаплыгина. -М.: Техносфера, 2005. –348 с.
- 1.4 Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. -М.: Ком-Книга, 2006.
- 1.5 Щука А.А. Нанoeлектроника. –М.: Физматкнига, 2007, 464 с.
- 1.6 Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. –М.: Техносфера, 2005.
- 1.7 Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем.-СПб.: Наука, 2001.–160 с.
- 1.8 Оджаев, В.Б. Физика электропроводящих полимеров / В.Б. Оджаев, В.Н. Попок, И.И. Азарко. – Мн.: Белгосуниверситет, 2000. – 82 с.
- 1.9 Оджаев, В.Б. Ионная имплантация полимеров / В.Б. Оджаев, И.П. Козлов, В.Н. Попок, Д.В. Свиридов. - Мн.: Белгосуниверситет, 1998. – 197 с.
- 1.10 Материалы современной электроники : [учеб. пособие] / В. Ф. Марков, Х. Н. Мухамедзянов, Л. Н. Маскаева ; [под общ.ред. В. Ф. Маркова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал, федер. ун-т. - Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2014. - 272 с.
- 1.11 Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О. Физика и химия полимеров. Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 45 с.

#### *Дополнительная*

- 2.1 Гохштейн А.Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция. М.: Высшая школа, 1976.
- 2.2 Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники: Учеб. Пособие, 2-е изд. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
- 2.3 Ежовский И.К. Поверхностные наноструктуры – перспективы синтеза и использования // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №1.
- 2.4 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, т.32, №4, с.385 (1998).
- 2.5 В.К. Неволин. Основы туннельно-зондовой нанотехнологии. М.: МИЭТД996 –90 с. (Переработанное и дополненное пособие размещено на сайте: [www.nanotube.ru](http://www.nanotube.ru))
- 2.6 Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки. Материалы для компьютеров XXI века / П.Н. Дьячков // Природа. – 2000. – №11. – С. – 23–30.

2.7 Каримов, С.Н. Физика полимеров. Электрические свойства / С.Н. Каримов, Н.И. Конкин, М.К. Курбаналиев, А.А. Мирзоев. – Душанбе: Тадж. гос. ун-т, 1989. – 120 с.

2.8 Крикоров, В.С. Электропроводящие полимерные материалы / В.С. Крикоров, Л.А. Колмакова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 174 с.

2.9 Лапчук, Н.М. Структурированные углеродные материалы: кластеры, нанотрубки, ионно-имплантированные полимеры и алмазы / Н.М. Лапчук, В.Б. Оджаев, Н.А. Поклонский, Д.В. Свиридов. // Вестник БГУ. Сер. 1. 2009. – №1. – С.4–14.

2.10 Lukashevich, M. G. Modification of magnetic properties of polyethyleneterephthalate by iron implantation / M.G. Lukashevich, X. Batlle, A. Labarta, V.N. Popok, V.A. Zhikharev, R.I. Khaibullin, V.B. Odzaev. // Nucl. Instr. Meth. B. – 2007. – Vol. 257, №1–2. – P. 589–592.

2.11 Marietta, G. Chemical and Physical property Modifications Induced by Ion Irradiation of Polymers / G. Marietta, F. Iacona // Materials and Processes for Surface and Interface Engineering. – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Acad. Publ., 1995. – P.597–640.

2.12 Sariciftci, N. S. Semiconducting polymer-buckminsterfullerene heterojunctions: Diodes, photodiodes, and photovoltaic cells / N.S. Sariciftci, D. Braun, C. Zhang, V.I. Srdanov, A.J. Heeger, G. Stucky, F. Wudl // Appl. Phys. Lett. – 1993. – V. 62, No. 6. – P. 585–587.

2.13 Блайт Э. Р., Блур Д. Электрические свойства полимеров. Пер. с англ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 376 с.

2.14 Сайт журнала «Российские нанотехнологии»: <http://www.nanorf.ru/>

2.15 Сайт журнала «Российский электронный наножурнал»: <http://www.nanojournal.ru/>

2.16 Сайт журнала «Компоненты и Технологии»: [www.kit-e.ru](http://www.kit-e.ru)

### **Примерные перечни заданий управляемой самостоятельной работы**

#### *Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий*

1. Электронные свойства поверхности.
2. Процессы молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии.
3. Оптическая, электронная, рентгеновская и ионная литографии.
4. Процессы зондовой технологии, СТМ-литография.
5. Применение полимерных материалов.
6. Полимерная электроника.
7. Электрические свойства полимеров.
8. Электронные полимерные элементы.
9. Органические материалы с нелинейными оптическими свойствами. Органическая печатная электроника.

*Примерная тематика реферативных работ*

1. Особенности процессов физической и химической адсорбции.
2. Поверхностные дефекты кристаллов.
3. Гетерогенные системы и их классификация.
4. Капиллярные явления и их зависимость от смачивания поверхности.
5. Физическая сущность процессов адсорбции, абсорбции и десорбции.
6. Процессы самоорганизации гетероэпитаксиальных структур.
7. Методы получения наногофрированных структур.
8. Основные параметры литографических процессов.
9. Преимущества и недостатки рентгеновской литографии.
11. Технологии межэлектронного переноса.
12. Процессы контактного формирования нанорельефа.
13. Молекулярные сверхпроводники.
14. Сопряженные полимеры.
15. Электропроводность сильнолегированных полимеров.
16. Солитоны. Поляроны.
17. Транспорт в структурах металл-молекула-металл.
18. Полимерные фотодиоды.
19. Полимерные транзисторы.
20. Органические светодиоды.
21. Пиро- и пьезоэлектрики на основе полимеров.
22. Дисплеи с активной матрицей.
23. Полимеры с нелинейными оптическими свойствами.
24. Рынок полимерной электроники.
25. Полимерные металлокомпозиты.
26. Молекулярные сверхпроводники.

**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.

Тестирование проводится в письменной форме. Каждый из письменных тестов включает в себя 10–40 заданий в открытой форме. На выполнение теста отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания.

Оценка каждого из тестов проводится по десятибалльной шкале, в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 — Критерии оценки теста

Оценка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1 <sup>*)</sup>
Процент от максимально возможной суммы баллов	≥95 %	≥ 90%, но <95%	≥ 85%, но <90%	≥ 80%, но <85%	≥ 70%, но <80%	≥ 60%, но <70%	≥ 50%, но <60%	≥ 30%, но <50%	≥ 10%, но <30%	<10 %

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 экзамена.

Экзаменационная оценка ( $O_{\text{Э}}$ ) и оценка текущей успеваемости ( $O_{\text{ТУ}}$ ) служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине ( $O_{\text{Р}}$ ), которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости:  $K_{\text{ТУ}} = 0,4$ ; для экзаменационной оценки:  $K_{\text{Э}} = 0,6$ . Расчет проводится по формуле:

$$O_{\text{Р}} = K_{\text{ТУ}}O_{\text{ТУ}} + K_{\text{Э}}O_{\text{Э}}$$

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название 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)
Методы создания наноструктур и наноматериалов	Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Протокол № 12 от 24.05.2017
Фундаментальные принципы нанотехнологий	Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Протокол № 12 от 24.05.2017
Методы диагностики наноструктур и наноматериалов	Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Протокол № 12 от 24.05.2017
Наноэлектроника	Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Протокол № 12 от 24.05.2017