

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

(подпись)

26 06

(дата утверждения)



ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 01 Физика (по направлениям),
(1-31 04 01-01 научно-исследовательская деятельность)

Факультет	физический
Кафедра	физики полупроводников и наноэлектроники
Курс (курсы)	пятый
Семестр (семестры)	9-й
Лекции 60 часов	Экзамен 9-й
Практические занятия нет	
Контролируемая самостоятельная работа 16 часов	Курсовой проект (работа) нет
Всего аудиторных часов по дисциплине 76	
Всего часов по дисциплине 158	Форма получения высшего образования дневная

Составили: В.Б. Оджаев д.ф.-м.н., профессор, Н.И. Горбачук к.ф.-м.н., доцент,
И.А. Карпович к.ф.-м.н., доцент

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа "Избранные главы физики и техники полупроводников" разработана для специальности 1-31 04 01 Физика.

Цель курса — ознакомление студентов с современными достижениями физики и технологии полупроводниковых материалов и приборных структур.

В курсе рассматриваются вопросы физики электропроводящих полимеров. Представлены основы технологии получения электропроводящих полимеров, а также их основные физико-химические свойства, включая механизмы проводимости, контактные явления. Специальные методы синтеза или последующей модификации позволяют варьировать проводимостью полимеров в широком диапазоне: от величин, характерных для диэлектриков (ниже 10^{-10} Ом/см), до значений металлической проводимости (свыше 1 Ом/см). Такие возможности позволяют все более широко использовать полимеры в электронике, не только в качестве изоляторов, но и для формирования функциональных элементов, таких как резисторы, светодиоды, транзисторы, солнечные элементы, аккумуляторные батареи, мини-дисплеи и т.п. Курс обобщает, систематизирует и развивает имеющиеся представления о физике электропроводящих полимерных материалов и необходим для последующей учебно-научно-производственной деятельности.

Представлены основные сведения о методиках измерения частотных зависимостей импеданса. Рассмотрена электропроводность композиционных материалов на переменном токе и проанализированы факторы, оказывающие на нее основное влияние. Приведены примеры использования импедансной спектроскопии для исследования композитов и других гетерогенных систем, имеющих прикладное значение. Гетерогенные системы, в том числе композиционные материалы, широко используются в различных отраслях промышленности. Уникальные свойства композитов обеспечили их распространение в машиностроении, строительстве, оптике. Импедансная спектроскопия позволяет оперативно получить информацию о структуре композитов и служит одним из элементов комплекса функциональной диагностики при создании композиционных материалов для электроники и электротехники.

Курс дает также углубленное представление о магнетизме конденсированного состояния вещества. На основании этих представлений проводится сравнение электронных процессов транспорта заряда во внешнем магнитном поле в диамагнитных полупроводниках и магнитоупорядоченных средах, обладающих полупроводниковыми и металлическими свойствами. Рассматриваются спин-зависимые процессы рассеяния и туннелирования электронов в магнитоэлектронных приборах на классических диамагнитных полупроводниках, а также структурах с гигантским, колоссальным и туннельным магниторезистивными эффектами.

Рассматриваются физические основы работы полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений и фотоэлектрических преобразователей и основные технологии их изготовления. Изучаются физические принципы формирования электрического сигнала в полупроводниковых детекторах ионизирующих излучений и фотоэлектрических преобразователях. Анализируются основные за-

кономерности зависимости эксплуатационных параметров приборов от микроскопических свойств используемых материалов. Рассматриваются основные технологии изготовления и перспективы использования полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений и фотоэлектрических преобразователей в научных исследованиях, промышленности и бытовой технике.

Студенты должны знать свойства, методы получения и применение электропроводящих полимеров, физические принципы работы полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений и фотоэлектрических преобразователей, основные современные технологии изготовления приборов полупроводниковой электроники, владеть основами теории цепей переменного тока, уметь анализировать и строить эквивалентные схемы замещения композитов, уметь измерять частотные зависимости импеданса, строить и анализировать годографы комплексных величин (импеданса, адмитанса, комплексной емкости) композиционных материалов, уметь проводить анализ возможностей оптимизации основных эксплуатационных параметров полупроводниковых приборов.

Материал курса основан на базовых 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. Курс является завершающим при подготовке специалистов имеющих квалификацию "Физик. Исследователь" и специализирующихся в области физики полупроводников и диэлектриков.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- свойства, методы получения и применение электропроводящих полимеров,
- физические принципы работы полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений и фотоэлектрических преобразователей,
- основные современные технологии изготовления приборов полупроводниковой электроники;
- проводить анализ возможностей оптимизации основных эксплуатационных параметров полупроводниковых приборов;

уметь:

- измерять частотные зависимости импеданса, строить и анализировать годографы комплексных величин (импеданса, адмитанса, комплексной емкости) композиционных материалов;

владеть:

- основами теории цепей переменного тока, уметь анализировать и строить эквивалентные схемы замещения композитов.

При организации самостоятельной работы студентов приветствуется использование электронных источников информации (в первую очередь публикаций в научных журналах). Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Для определения начального уровня подготовки целесообразно проводить вводный тест, в который включаются задания по разделам атомной физики, физики конденсированного состояния. Эффективность самостоятельной работы и изучения

дисциплины в целом проверяется в ходе текущего и итогового контроля знаний. Текущий контроль знаний рекомендуется проводить в форме устного опроса, коллоквиумов, тестовых заданий в письменной форме. Итоговый контроль — письменный экзамен с заданиями в тестовой форме.

Программа учебной дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта.

Общее количество часов — 158; аудиторное количество часов — 76, из них: лекции — 60, контролируемая самостоятельная работа студентов — 16.

Форма отчётности — зачет и экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

№ п/п	Наименование разделов, тем	Количество часов			
		Аудиторных			
		Лек- ции	Практич., семинар.	Лаб. заня- тия	КСР
1	Строение, свойства и классификация полимеров	14			4
1.1	<i>Введение в физику полимеров</i>	2			
1.2	<i>Углеродные наноматериалы</i>	4			
1.3	<i>Полупроводниковые и электропроводящие полимеры.</i>	4			2
1.4	<i>Механизмы поляризации</i>	2			
1.5	<i>Электропроводность полимеров.</i>	2			
1.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 2				2
2	Получение электропроводящих полимеров	10			6
2.1	<i>Электропроводящие полимеры</i>	2			
2.2	<i>Методы формирования композиционных материалов.</i>	2			2
2.3	<i>Полимеры с системой сопряженных связей.</i>	2			
2.4	<i>Ионно-имплантированные полимеры.</i>	4			2
2.5	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 3				2
3	Применение электропроводящих полимеров	6			2
3.1	<i>Применение в оптоэлектронике</i>	2			
3.2	<i>Полимерная электроника.</i>	4			
3.3	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 4				2
4	Импедансная спектроскопия композитов	14			2

4.1	<i>Общие сведения из теории гетерогенных систем.</i>	2			
4.2	<i>Теоретическое описание электрофизических свойств гетерогенных систем.</i>	4			
4.3	<i>Цепи переменного тока</i>	1			
4.4	<i>Эквивалентные схемы замещения и построение годографов комплексных величин</i>	1			
4.5	<i>Импедансная спектроскопия композитов</i>	6			
4.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 1				2
5	Тенденции в развитии электроники и электронной промышленности	16			2
5.1	<i>Основные тенденции развития микроэлектронных интегральных схем</i>	2			
5.2	<i>Конструкции и параметры интегральных микросхем</i>	2			
5.3	<i>Масштабирование параметров ИМС</i>	4			
5.4	<i>Основы субмикронной технологии</i>	4			
5.5	<i>Функциональная электроника</i>	4			
5.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 5				2

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, за-	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	управляемая (контролируемая) самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Строение, свойства и классификация полимеров	14			4			
1.1	<i>Введение в физику полимеров</i> 1. Строение и химические связи полимеров. 2. Особенности физических свойств полимеров. 3. Формы углерода. 4. Графит и целлюлозно-углеродные полимеры. Алмаз и алмазоподобные пленки.	2			2	Цифровой проектор, УМК	[О 2.1] [Д 2.2, 2.3]	Устный опрос
1.2	<i>Углеродные наноматериалы</i> 1. Фуллерены и нанотрубки. 2. Нанотехнологии и наноматериалы.	4				Цифровой проектор, УМК	[О 2.1] [Д 2.1, 2.4]	
1.3.	<i>Полупроводниковые и электропроводящие полимеры.</i> 1. Основы электрофизики полимеров. 2. Заряды в диэлектрике, 3. Диполи и поляризация.	4			2	Цифровой проектор, УМК	[О 2.1] [Д 2.2]	Защита рефератов
1.4	<i>Механизмы поляризации.</i> 1 Ориентационная поляризация полярных молекул. Поляризация электронного смещения. Зависимость поляризации от времени и частоты приложенного внешнего поля. 2 Диэлектрические потери. 3 Статическая электризация полимеров. Механизмы возникновения статического электричества.	2				Цифровой проектор, УМК	[О 2.1] [Д 2.2]	

	4 Закономерности возникновения и рассеяния зарядов. 5 Релаксация поверхностного электростатического заряда.							
1.5	<i>Электропроводность полимеров.</i> 1. Ионная проводимость электронная проводимость. 2. Модели переноса носителей заряда. 3. Контактные явления.	2				Цифровой проектор, УМК	[0 2.1] [Д 2.2, 2.3]	
1.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 1				2	УМК		Письменное тестирование
2	Получение электропроводящих полимеров	10			6			
2.1.	<i>Электропроводящие полимеры</i> 1. Основные виды полупроводниковых и электропроводящих полимеров. 2. Наполненные полимеры. 3. Композиционные материалы.	2				Цифровой проектор, УМК	[0 2.1]	
2.2	<i>Методы формирования композиционных материалов.</i> 1. Магнитные и немагнитные кластеры в композиционном материале. 2. Наноккомпозиты на основе полимеров.	2			2	Цифровой проектор, УМК	[0 2.1] [Д 2.5, 2.6]	Устный опрос
2.3	<i>Полимеры с системой сопряженных связей.</i> 1. Свойства, методы синтеза и применение полимеров с системой сопряженных связей. 2. Длина сопряжения в полимерах. 3. Солитоны, поляроны. Молекулярные комплексы с переносом заряда. Пиролизированные полимеры. Транспорт носителей заряда в модифицированных полимерах	2				Цифровой проектор, УМК	[0 2.1] [Д 2.1, 2.3, 2.5]	
2.4.	<i>Ионно-имплантированные полимеры.</i> 1. Взаимодействие ионов с полимерной мишенью. 2. Изменение структуры и состава полимеров после имплантации. 3. Оптические свойства. 4. Парамагнетизм и образование низкоразмерных спиновых систем. 5. Электрофизические свойства имплантированных полимеров.	4			2	Цифровой проектор, УМК	[0 2.1,2.2] [Д 2.1, 2.5]	Защита рефератов
2.7	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 2				2	УМК		Письменное тестирование
								Зачет
3	Применение электропроводящих полимеров	6			2			

3.1	<i>Применение в оптоэлектронике</i> 1. Полимерные материалы для оптоэлектроники. 2. Основы молекулярной электроники и место электропроводящих полимеров.	2				Цифровой проектор, УМК	[О 2.1, 2.3] [Д2.1]	
3.2	<i>Полимерная электроника</i> 1. Электронные полимерные элементы. 2. Полимерные батареи. 3. Полимерные элементы интегральной оптики. 4. Светодиоды и дисплеи. 5. Перспективы развития физики и химии полимеров	4				Цифровой проектор, УМК	[О 2.1,2.2] [Д 2.1, 2.7]	
3.3	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 2				2	УМК		Письменное тестирование
4	Импедансная спектроскопия композитов	14			2			
4.1	<i>Общие сведения из теории гетерогенных систем.</i> 1. Определение гетерогенных систем, подходы к их классификации. 2. Свободно и связаннодисперсные гетерогенные системы. 3. Неупорядоченные системы. 4. Роль масштаба в определении гетерогенных систем. 5. Эффективные значения кинетических коэффициентов. 6. Представительный объем. Гетерогенность и однородность. 7. Локальная и эффективная электропроводность.	2				Цифровой проектор, УМК	[1.1] С.8-22 [1.2] С.339-368 [1.3] С.7-22 [1.4] С.126-183	
4.2	<i>Теоретическое описание электрофизических свойств гетерогенных систем.</i> 1. Приближение эффективной среды. Описание электропроводности и диэлектрической проницаемости гетерогенных сред в приближении эффективной среды. 2. Электропроводность пористых сред и поликристаллов. 3. Теория протекания. Основные определения: порог протекания, бесконечный кластер. 4. Задачи теории протекания. Задача узлов. Задача связей. 5. Задача на случайных узлах. Континуальные задачи.	2				Цифровой проектор, УМК	[1.1] С. 14-27 [1.3] С.7-22 [1.4] С.126-183 [1.12] С.206-218	
4.2	6. Модели теории протекания. Модель Скал-Шкловского-де Жена и строение бесконечного проводящего кластера. 7. Иерархическая модель слабого звена и электропроводность диэлектрических прослоек. 8. Капельная модель и фрактальная структура бесконечного проводящего кластера	2						

	9. Ограничения, накладываемые теорией протекания при описании электропроводности гетерогенных систем.							
4.3	<i>Цепи переменного тока</i> 1. Гармонические колебания тока и напряжения. 2. Резистор, конденсатор и катушка индуктивности в цепи переменного тока. 3. Векторные диаграммы токов и напряжений. Треугольники сопротивлений и проводимостей. 4. Представление импеданса и адмиттанса в виде комплексных чисел. Комплексная емкость и диэлектрическая проницаемость.	1				Цифровой проектор, УМК	[1.1] С.28-49 [1.5] С.36-56 [1.6] С.2-6 [1.7] С.12-16	
4.4	<i>Эквивалентные схемы замещения и построение годографов комплексных величин</i> 1. Определение понятия эквивалентная схема замещения. 2. Простейшие RC-цепи и годографы комплексных величин: параллельная RC-цепь — годограф импеданса; последовательная RC-цепь — годограф адмиттанса; 3. Параллельная RC-цепь с добавочным резистором — предельные случаи высокочастотного и низкочастотного импеданса; 4. Последовательная RC-цепь, зашунтированная конденсатором — годограф комплексной емкости; 5. Последовательная RC-цепь, зашунтированная резистором — предельные случаи высокочастотного и низкочастотного адмиттанса; 6. Параллельная RC-цепь с добавочным конденсатором — годограф импеданса, как сопряжение "луча" и "дуги".	1			2	Цифровой проектор, УМК	[1.1] С.50-71 [1.6] С.12-16 [1.8] С.10-16	Устный опрос
4.5	<i>Импедансная спектроскопия композитов</i> 1. Композиционные материалы и технологии их получения. Традиционные композиционные материалы и технологии их получения. Керамика. Полимерные композиты. Нанокompозиты. Золь-гель технология получения композитов. Аэрогели.	2				Цифровой проектор, УМК	[1.1] С.72-105 [1.6] С. 16-20, С.133-173, С. 191-238	Защита рефератов
	2. Особенности электрофизических свойств, обусловленные размерным ограничением. Пленки Лэнгмюра-Блоджет. 3. Методы измерений частотных зависимостей импеданса. Мосты переменного тока, куметры, электронные измерители импеданса. 4. Электропроводность композитов на переменном токе. Электропроводность композитов в окрестности порога протекания. 5. Импеданс композитов без учета особенностей межфазных слоев. Влия-	4					[1.7] С. 17-28; 79- 85; 106-122 [1.8] С. 17-28 [1.9] С. 147-158; 165-166 [1.10] С. 10-71 [1.11] С.30-182	

	ние неоднородности токопроводящего перколяционного кластера в окрестности прога протекания. 6. Примеры использования импедансной спектроскопии; диагностика биологических тканей, диагностика химических источников тока, импедансная спектроскопия диэлектриков.							
4.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу №1				2	УМК		Письменное тестирование
5	Тенденции в развитии электроники и электронной промышленности	16			2			
5.1	<i>Основные тенденции развития микроэлектронных интегральных схем</i> 1. Краткая история развития электроники. 2. Основные тенденции развития полупроводниковых приборов и микроэлектронных интегральных схем.	2				Цифровой проектор, УМК	[3.1] [3.2] [3.4] [3.7]	
5.2	<i>Конструкции и параметры интегральных микросхем</i> Преимущества микроминиатюризации и повышения плотности упаковки элементов ИМС.	2				Цифровой проектор, УМК	[3.] [3.3] [3.4]	
5.3	<i>Масштабирование параметров ИМС</i> 1. Физические и технологические ограничения минимальных размеров и плотности упаковки. 2. Законы масштабирования параметров ИМС. 3. Проблемы обеспечения надежности изделий. 4. Пути решения задач, связанных с масштабированием параметров ИМС. 5. Технологических ограничения минимальных размеров элементов ИМС. 6. Низкоразмерные системы: квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки. Эффекты размерного квантования. 7. Примеры приборов, использующих эффекты размерного квантования. Инжекционные гетеролазеры. 8. Эффекты одноэлектронного туннелирования и одноэлектронный транзистор.	4				Цифровой проектор, УМК	[3.2] [3.3] [3.4] [3.7]	
5.4	<i>Основы субмикронной технологии</i> 1. Основы субмикронной технологии и технологии изделий нано- электроники. 2. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Основы электронно- и ионно- лучевых технологий. 3. Возможности плазмохимических технологий. 4. Использование сканирующего туннельного микроскопа для создания элементов нанометровых размеров. 5. Требования к технологическим процессам и оборудованию.	4			2		[3.1] [3.2] [3.4] [3.6]	Устный опрос

5.5	<i>Функциональная электроника</i> 1. Функциональная электроника как один из путей дальнейшего развития микроэлектроники. 2. Интеграция физических явлений, принципов, функций и материалов. 3. Фуллерены и нанотрубки 4. Понятие о молекулярной электронике. 5. Анализ новых достижений науки и техники в области электроники и электронного материаловедения	4			2	Цифровой проектор, УМК	[3.1] [3.2] [3.4] [3.7]	Защита рефератов
5.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 5				2	УМК		Письменное тестирование
								Экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Формы контроля знаний

1. Тестовые задания
2. Реферативные работы
3. Устный опрос

Темы тестовых заданий

1. Импедансная спектроскопия композитов.
2. Строение, свойства и классификация полимеров.
3. Получение электропроводящих полимеров.
4. Тенденции в развитии электроники и электронной промышленности.

Темы реферативных работ

1. Метод векторных диаграмм в анализе цепей переменного тока.
2. Эквивалентные схемы замещения.
3. Годографы импеданса и адмиттанса гетерогенных систем.
4. Комплексная диэлектрическая проницаемость гетерогенных систем. Диаграммы Коула-Коула.
5. Измерение частотных зависимостей импеданса: методика и экспериментальное оборудование.
6. Электропроводящие полимерные композиты: особенности строения и электропроводности на переменном токе.
7. Применение метода импедансной спектроскопии для контроля технологии изготовления и качества электропроводящих композитов.
8. Перспективные технологии получения композиционных материалов.
9. Импедансная спектроскопия в электрохимии.
10. Импедансная спектроскопия биологических объектов.
11. Структура различных форм углерода.
12. Карбонизация полимерной матрицы при пиролизе.
13. Фуллерены.
14. Нанотрубки.
15. Молекулярные сверхпроводники.
16. Длина сопряжения в полимерах.
17. Поляроны. Биполяроны.
18. Солитоны.
19. Полимерные фотодиоды.
20. Полимерные транзисторы.
21. Полимерные дисплеи с активной и пассивной матрицей.
22. Парамагнитные свойства ионно-имплантированных полимеров.
23. Прыжковая модель переноса носителей заряда и ее реализация в модифицированных полимерах.
24. Наполненные полимеры и нелинейная оптика.
25. Термолиз при ионной имплантации полимеров.

26. Процессы и установки электронно-ионной технологии.
27. Корпускулярно-фотонные процессы и технологии.
28. Технологии MEMS.
29. Технологические ограничения минимальных размеров элементов ИМС.
30. Достижения науки и техники в области электроники и электронного материаловедения.
31. Применение фуллеренов в электронике.
32. Методы микроминиатюризации и повышения плотности упаковки элементов ИМС

Рекомендуемая литература

Основная

- 1.1. Поклонский, Н.А. Основы импедансной спектроскопии композитов: курс лекций / Н.А. Поклонский, Н.И. Горбачук. — Мн.: БГУ, 2005. — 130 с.
- 1.2. Щукин, Е.Д. Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. — М: Высш. шк., 2004. — 455 с.
- 1.3. Забродский, А.Г. Электронные свойства неупорядоченных систем / Забродский А.Г., С.А. Немов, Ю.И. Равич. — С.-Петербург: Наука, 2000. — 72 с.
- 1.4. Шкловский, Б.И. Электронные свойства легированных полупроводников / Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. -М: Наука, 1979. -416с.
- 1.5. Касаткин, А.С. Электротехника / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. —М.: Издательский центр "Академия", 2003.— 544 с.
- 1.6. Impedance spectroscopy: emphasizing solid materials and systems / Ed. J.R. Macdonald. —New York: Wiley, 1987. —346 p.
- 1.7. Графов, Б.М. Электрохимические цепи переменного тока / Б.М. Графов, Е.А. Укше. —М.: Наука, 1973. —128 с.
- 1.8. Челидзе, Т.Л. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем / Т.Д. Челидзе, А.И. Деревянко, О.Д. Куриленко. —Киев, Наукова думка, 1977.— 231 с.
- 1.9. Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Ф. Мейзда. — М.: Мир, 1990. — 535 с.
- 1.10. Гуль, В.Е. Электропроводящие полимерные композиты / В.Е. Гуль, Л.З. Шенфиль. — М.: Химия, 1984. —248 с.
- 1.11. Помогайло, А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд. — М.: Химия, 2000. —672 с.
- 1.12. Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. —232 с.
- 2.1. Оджаев, В.Б. Физика электропроводящих полимеров / В.Б. Оджаев, В.Н. Попок, И.И. Азарко. - Мн.: Белгосуниверситет, 2000. - 82 с.
- 2.2. Оджаев, В.Б. Ионная имплантация полимеров / В.Б. Оджаев, И.П. Козлов, В.Н. Попок, Д.В. Свиридов. - Мн.: Белгосуниверситет, 1998. - 197 с.

- 3.1. Нефёдов В.И. Основы радиоэлектроники: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 399 с.
- 3.2. Мартынов В.Н., Кольцов Г.И. Полупроводниковая оптоэлектроника: Учебное пособие для вузов. - М.: МИСИС, 1999. – 400 с.
- 3.3. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: Учебник - 3-е изд. - М.: Высш. шк.; 2000. - 494 с. (Глава 11: Сверхпроводимость)
- 3.4. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники: Учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000. – 332 с.
- 3.5. Светцов В.И., Смирнов С.А. Корпускулярно-фотонные процессы и технологии: Учебное пособие: Ивановский гос. химико-технологический университет. - Иваново, 2000.- 192 с.
- 3.6. Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И. Физические основы электронной и ионной технологии: Учебное пособие для спец. электронной техники вузов. - М: Высшая школа, 1984. - 320 с.
- 3.7. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. Процессы и установки электронно-ионной технологии: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 225 с.
- 3.8. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии: Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 496 с.

Дополнительная

- 1.1. Виноградов, А.П. Электродинамика композиционных материалов / Под ред. Б.З. Каценеленбаума. —М.: Эдиториал УРСС, 2001. —208 с.
- 1.2. Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. —М.: Мир, 1984.—310 с.
- 1.3. Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2-х ч. 4.2. / А. Вест. — М.: Мир, 1988.—336 с.
- 1.4. Физические величины: справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. —М.: Энергоатомиздат. 1991.
- 2.1. 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.— №1С.4-14.
- 2.2. 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.
- 2.3. Крикоров, В.С. Электропроводящие полимерные материалы / В.С. Крикоров, Л.А. Колмакова. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 174 с.
- 2.4. Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки. Материалы для компьютеров XXI века / П.Н. Дьячков // Природа. - 2000. - №11. - С. – 23–30.
- 2.5. 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.
- 2.6. 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.

2.7. 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.

3.1. Валиев К.А. Микроэлектроника: достижения и пути развития. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.- 144 с.

3.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга и К. Плога. – М.: Мир, 1989.

3.3. Валиев К.А. Орликовский А.А. Технологии СБИС: основные тенденции развития // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 1996, №5-6. - с. 3–11; 1997, № 1. – с. 3–14.

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 2-3 раза в семестр. Каждый из письменных тестов включает в себя 20-40 заданий в открытой форме. На выполнение теста отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем разрешается использовать справочные, научные и учебные печатные издания. Запрещено использовать любые электронные источники информации и конспект лекций (в любой форме). Каждое задание оценивается в 1 балл (если ответ верен и точен), 0,5 балла (если в ответе содержится неточности, но в целом он верен), 0 баллов (если ответ не верен или отсутствует). Оценка теста проводится по сумме баллов, набранных за все задания, в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 — Критерии оценки теста

Оценка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1*)
Процент от максимально возможной суммы баллов	≥ 95 %	≥ 90%, ≥ 1	≥ 85%, ≥ 1	≥ 80%, ≥ 1	≥ 70%, ≥ 1	≥ 60%, ≥ 1	≥ 50%, но < 60%	≥ 30%, ≥ 1	≥ 10%, ≥ 1	< 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 каждый из письменных тестов и оценки за защиту реферата. При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к экзамену. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к экзамену, и им назначается срок выполнения тестовых заданий и/или защиты реферативных работ.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчиты-

вается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,4; для экзаменационной оценки — 0,6. При всех расчетах округление производится по общепринятым правилам.