

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

физики полупроводников и микроэлектроники

(Е.Н.Бормонтов) (Е.Н.Бормонтов)

31.08.2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.25 Физика полупроводников

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:
03.03.03 Радиофизика
2. Профиль подготовки: радиофизика и электроника
3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики полупроводников и микроэлектроники
6. Составители программы: Бормонтов Евгений Николаевич,
доктор физико-математических наук, профессор
7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2021
8. Учебный год: 2023-2024 Семестр: 6
9. Цели и задачи учебной дисциплины: цель освоения дисциплины состоит в формировании комплекса знаний и навыков, необходимых для успешного использования достижений физики полупроводников в практической деятельности.
Задачи учебной дисциплины:
 - получение представлений о физических идеях и принципах современной физики полупроводников;
 - получение базового комплекса знаний о физических свойствах, процессах и явлениях (эффектах) в полупроводниках и особенностях полупроводниковых электронных систем;

- знакомство с существующими теориями различных физических явлений и основными областями применения полупроводниковых структур.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: дисциплина относится к обязательной части блока Б1. Для ее усвоения требуются знания основных разделов математики и физики.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

| Компетенции | | Индикаторы | | Планируемые результаты обучения |
|-------------|---|------------|---|---|
| Код | Наименование компетенции | Код(ы) | Наименование индикатора(ов) | |
| ОПК-1 | Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности | ОПК-1.2 | Оценивает границы применимости и использует математические модели, необходимые для решения типовых профессиональных задач | <i>Знать:</i> - существующие методы исследования различных физических явлений и процессов, происходящих в полупроводниковых структурах |
| | | ОПК-1.3 | Владеет знаниями фундаментальных разделов физики и применяет их в профессиональной деятельности | <i>Владеть:</i> - методиками измерений и методами расчетов параметров и характеристик приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры |
| ПК-4 | Способен принимать участие в разработке и исследованиях, а также эксплуатировать радиоэлектронные приборы и системы различного назначения | ПК-4.1 | Владеет фундаментальными знаниями физических основ и принципов функционирования радиоэлектронных приборов и систем | <i>Уметь:</i> - устанавливать зависимость контрольных параметров и характеристик радиоэлектронной аппаратуры; - проводить сравнительный анализ различных способов измерений и расчетов параметров и характеристик приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры с целью выбора оптимального. |

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Виды учебной работы:

| Вид учебной работы | Трудоемкость (часы) | |
|--------------------|---------------------|--------------|
| | Всего | По семестрам |
| | | 6 сем. |
| | | |

| | | | |
|------------------------|----------------------|----|----|
| Аудиторные занятия, | | 50 | 50 |
| в том числе: | лекции | 34 | 34 |
| | практические занятия | 16 | 16 |
| Самостоятельная работа | | 22 | 22 |
| | Итого: | 72 | 72 |

13.1. Содержание дисциплины:

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела дисциплины |
|---------------|---|---|
| Лекции | | |
| 1.1 | Введение | Предмет и задачи курса. Краткий исторический очерк развития. Классификация твердых тел по физическим свойствам. Основные особенности полупроводников. Классификация полупроводниковых материалов. Модельные представления о проводимости в полупроводнике. |
| 1.2 | Основные положения зонной теории | Уравнение Шредингера для электрона в кристалле. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха. Функции Блоха. Расчет зонной структуры в приближениях слабой и сильной связи. Зоны Бриллюэна. Образование энергетических зон из локальных атомных уровней при различных типах химической связи. Особенности зонной структуры и закон дисперсии в реальных кристаллах (кремний, германий, арсенид галлия). Движение электрона в кристалле. Эффективная масса. Изоэнергетические поверхности. Типы и роль примесей в кристаллах. Метод эффективной массы и водородоподобные примесные центры. |
| 1.3 | Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках | Плотность квантовых состояний в зоне проводимости и валентной зоне. Функция распределения электронов и дырок. Уровень Ферми. Статистика и выражение для концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике. Энергия активации. Статистика и выражение для концентрации электронов и дырок в примесном полупроводнике. Закон действующих масс. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Уравнение электронейтральности. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда. |
| 1.4 | Кинетические явления в полупроводниках | Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Зависимость времени релаксации от энергии и температуры при различных механизмах рассеяния. Неравновесная функция распределения носителей заряда. Плотность тока и плотность потока энергии. Электропроводность полупроводников и ее температурная зависимость. Механизмы изменения концентрации свободных носителей в сильных полях. Эффект Ганна. Теплопроводность и термоэлектрические явления в полупроводниках. Коэффициент теплопроводности, обусловленной свободными носителями. Явления Зеебека, Пельтье и Томсона. Зависимость дифференциальной термо-ЭДС от температуры и степени легирования. Связи между термоэлектрическими коэффициентами. Термоэлектрическая эффективность. Гальвано- и термомагнитные эффекты в полупроводниках. |
| 1.5 | Генерация и рекомбинация носителей | Неравновесные носители заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Типы и механизмы рекомбинации. |

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| | заряда в полупроводниках | Уравнение непрерывности. Биполярная и монополярная генерация и рекомбинация. Максвелловское время релаксации. Линейная и квадратичная рекомбинация. Время жизни. Центры рекомбинации и ловушки. Рекомбинация носителей через локальные центры. Статистика Шокли-Рида. Зависимость времени жизни от положения уровня Ферми и температуры. |
| 1.6 | Диффузия и дрейф неравновесных носителей | Диффузионный и дрейфовый токи. Подвижность и коэффициент диффузии. Соотношение Эйнштейна. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Уравнение диффузии. Диффузия в монополярном полупроводнике. Амбиполярные диффузия и дрейф. Длины диффузии и дрейфа. |
| 1.7 | Контактные явления в полупроводниках | Равновесные энергетические диаграммы барьеров Шоттки и Мотта. Модель обедненного приконтактного слоя. Контакт металл-полупроводник при наличии внешнего смещения. ВАХ идеального контакта металл-полупроводник (диодная теория выпрямления). Диффузионная теория выпрямления. ВАХ реального контакта Шоттки. Эффект Шоттки. Влияние поверхностных состояний на контактные явления. Пиннинг уровня Ферми. Физические свойства и ВАХ р-п-перехода. |
| 1.8 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Внутренний фотоэффект. Кинетика фотопроводимости. Фотовольтаические эффекты: эффект Дембера, фотогальванический эффект (вентильный эффект на контакте Шоттки и р-п переходе), ФЭМ-эффект. |
| 1.9 | Поверхностные свойства полупроводников | Понятие идеальной и реальной поверхности. Природа и классификация локализованных состояний, связанных с поверхностью. Приповерхностная область пространственного заряда (ОПЗ). Энергетическая диаграмма, основные параметры и разновидности приповерхностной ОПЗ полупроводника. Расчет параметров ОПЗ. Поверхностная проводимость и эффект поля. |
| Практические занятия | | |
| 2.1 | Введение | Практическое занятие 1. Классификация полупроводниковых материалов. Модельные представления о проводимости в полупроводнике. |
| 2.2 | Основные положения зонной теории | Практическое занятие 2. Расчет зонной структуры в приближениях слабой и сильной связи. Зоны Бриллюэна. |
| 2.3 | Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках | Практическое занятие 3. Функция распределения электронов и дырок. Уровень Ферми. Статистика и выражение для концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда. |
| 2.4 | Кинетические явления в полупроводниках | Практическое занятие 4. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников и ее температурная зависимость. |
| 2.5 | Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках | Практическое занятие 5. Неравновесные носители заряда. Уравнение непрерывности. Биполярная и монополярная генерация и рекомбинация. |
| 2.6 | Диффузия и дрейф неравновесных носителей | Практическое занятие 6. Диффузионный и дрейфовый токи. Подвижность и коэффициент диффузии. Соотношение Эйнштейна. Уравнение диффузии. Диффузия в монополярном полупроводнике. Амбиполярные диффузия и дрейф. Длины диффузии и дрейфа. |

| | | |
|-----|---|---|
| 2.7 | Контактные явления в полупроводниках | Практическое занятие 7. Равновесные энергетические диаграммы барьеров Шоттки и Мотта. Модель обедненного приконтактного слоя. Контакт металл-полупроводник при наличии внешнего смещения. ВАХ идеального контакта металл-полупроводник (диодная теория выпрямления). Диффузионная теория выпрямления. |
| 2.8 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Практическое занятие 8. Внутренний фотоэффект. Кинетика фотопроводимости. Фотовольтаические эффекты: эффект Дембера, фотогальванический эффект (вентильный эффект на контакте Шоттки и p-n-переходе), ФЭМ-эффект. |
| 2.9 | Поверхностные свойства полупроводников | Практическое занятие 9. Понятие идеальной и реальной поверхности. Природа и классификация локализованных состояний, связанных с поверхностью. Приповерхностная область пространственного заряда (ОПЗ). Энергетическая диаграмма, основные параметры и разновидности приповерхностной ОПЗ полупроводника. Расчет параметров ОПЗ. Поверхностная проводимость и эффект поля. |

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Виды занятий (часов) | | | |
|-------|---|----------------------|--------------|------------------------|-------|
| | | Лекции | Практические | Самостоятельная работа | Всего |
| 1 | Введение | 2 | 2 | 2 | 6 |
| 2 | Основные положения зонной теории | 4 | 2 | 2 | 8 |
| 3 | Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках | 4 | 2 | 2 | 8 |
| 4 | Кинетические явления в полупроводниках | 4 | 2 | 4 | 10 |
| 5 | Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках | 4 | 2 | 2 | 8 |
| 6 | Диффузия и дрейф неравновесных носителей | 4 | 2 | 4 | 10 |
| 7 | Контактные явления в полупроводниках | 4 | 2 | 2 | 8 |
| 8 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 4 | 1 | 2 | 7 |
| 9 | Поверхностные свойства полупроводников | 4 | 1 | 2 | 7 |
| | Итого: | 34 | 16 | 22 | 72 |
| | Итого по курсу | | | | 72 |

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физика полупроводников» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение практических занятий и текущих аттестаций.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий

надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Физика полупроводников» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к практическим занятиям, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Физика полупроводников» включает в себя:

| | |
|------------------------------------|-------------|
| изучение теоретической части курса | - 6 часов; |
| подготовка к практическим занятиям | - 6 часов; |
| подготовка к зачету | - 10 часов; |
| Итого - 22 часа. | |

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

| № п/п | Источник |
|-------|---|
| 1 | Шалимова К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс]: учебник / К.В. Шалимова. – Москва: Лань, 2010. – 390 с. // Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система. – URL : http://e.lanbook.com |
| 2 | Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики: учеб. пособие / А. И. Ансельм. – Москва: Лань, 2007. – 423 с. // Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система. – URL : http://e.lanbook.com |
| 3 | Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие / А.И. Ансельм. – Москва: Лань, 2008. – 618 с. // Издательство «Лань»: Электронно-библиотечная система. – URL : http://e.lanbook.com |
| 4 | Легостаев Н.С. Материалы электронной техники / Н.С. Легостаев. – Томск: Эль |

| | |
|--|---|
| | Контент, 2012. – 184 с. // Электронно-библиотечная система. – URL : http://biblioclub.ru |
|--|---|

б) дополнительная литература:

| № п/п | Источник |
|-------|--|
| 5 | Грундман М. Основы физики полупроводников. Нанозифика и технические приложения = The Physics of semiconductors. An introduction including nanophysics and applications / М. Грундман ; [пер.с англ. : И.В. Ванюшина и др.]; под ред. В.А. Гергея. – 2-е изд. – Москва: Физматлит, 2012. – 771 с. |
| 6 | Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников / В.И. Фистуль. – М.: Высшая школа, 1984. – 352 с. |
| 7 | Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков / П.Т. Орешкин. – М.: Высшая школа, 1977. – 448 с. |
| 8 | Зеегер К. Физика полупроводников / К. Зеегер. – М.: Мир, 1977. – 615 с. |
| 9 | Бонч-Бруевич В.Л. Сборник задач по физике полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, И.П. Звягин, И.В. Карпенко, А.Т. Миронов. – М.: Наука, 1987. – 144 с. |
| 10 | Антипов Б.Л. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы / Б.Л. Антипов, В.С. Сорокин, В.А. Терехов. – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с. |
| 11 | Ю П. Основы физики полупроводников / П. Ю, М. Кардона. – М.: Физматлит, 2002. – 560 с. |
| 12 | Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников/ В.Л. Бонч-Бруевич. – М.: Наука, 1977. – 672 с. |
| 13 | Киреев П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев. – М.: Высшая школа, 1975. – 584 с. |

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

| № п/п | Источник |
|-------|--|
| 14 | www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ |
| 15 | Базы знаний и библиотеки периодических изданий и препринтов в Интернете http://xxx.lanl.gov |
| 16 | Электронная библиотека учебно-методических материалов ВГУ http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml,simple.xsl+rus |

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

| № п/п | Источник |
|-------|---|
| 1 | Статистика электронов и дырок в полупроводниках: учебное пособие по лекционному курсу «Физика полупроводников» / Воронеж. гос. ун-т; сост. : Е.Н. Бормонтов, М.Ю. Хухрянский. – Воронеж: ЛОП ВГУ, 2003. – 30 с. |
| 2 | Моделирование зонной структуры полупроводников : учебное пособие по лекционному курсу «Физика полупроводников» / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Е.Н. Бормонтов, Г.В. Быкадорова, А.Е. Гаврилов. – Воронеж: ЛОП ВГУ, 2003. – 32 с. |
| 3 | Кинетические явления в полупроводниках : учебно-методическое пособие для вузов. Ч. 1. Внутренний фотоэффект / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 17 с. |

| | |
|----|---|
| 4 | Кинетические явления в полупроводниках : учебно-методическое пособие для вузов. Ч. 2. Эффект Холла / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 29 с. |
| 5 | Определение типа проводимости полупроводника : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2009. – 18 с. |
| 6 | Внутренний фотоэффект в полупроводниках: учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, Е.Н. Берло. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009. – 19 с. |
| 7 | Определение удельного сопротивления полупроводников четырехзондовым методом: учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009. – 17 с. |
| 8 | Измерение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла : методические материалы для выполнения лабораторной работы / Воронеж. гос. ун-т; сост. : Е.Н. Бормонтов, Л.Н. Владимирова, М.А. Гудков. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 24 с. |
| 9 | Моделирование поверхностных свойств полупроводников : учебно-методические материалы к лекциям и практическим занятиям по курсу «Физика полупроводников» /9 Воронеж. гос. ун-т; сост.: Е.Н. Бормонтов, М.Ю. Хухрянский. – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2002. – 22 с. |
| 10 | Яковенко Н.В. Самостоятельная работа студентов: методические рекомендации / Н. В. Яковенко, О.Ю. Сушкова. – Воронеж, 2015. – 22 с. |

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:

| № п/п | Источник |
|-------|---|
| 1 | http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ |
| 2 | Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru |

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: ноутбук emachines e510, проектор Panasonic PT-LC55E, экран.

Лаборатория спецпрактикумов кафедры ФППиМЭ: Цифровые осциллографы АКИП 4115/4А - 6 шт., функциональные генераторы Rigol DG1022 - 6 шт., лабораторный стенд для исследования полупроводниковых свойств твердых тел - 1 шт., лабораторный стенд для исследования биполярных структур - 1 шт.; лабораторный стенд для исследования униполярных структур - 1 шт.; лабораторный стенд для исследования вольт-фарадных характеристик - 1 шт.; измерители RLC E7-12 - 2 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 5 шт.

Аудитория для самостоятельной работы: компьютерный класс с доступом к сети Интернет: компьютеры (мониторы, системные блоки) – Pentium Dual Core (10 шт.)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Оценочные средства |
|-------|---------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | Введение | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №1 |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Оценочные средства |
|--|---|---------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 2 | Основные положения зонной теории | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №2 |
| 3 | Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №3 |
| 4 | Кинетические явления в полупроводниках | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №4 |
| 5 | Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №5 |
| 6 | Диффузия и дрейф неравновесных носителей | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №6 |
| 7 | Контактные явления в полупроводниках | ОПК-1 ПК-4 | ОПК-1.3 ПК-4.1 | Практическое занятие №7 |
| 8 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | ОПК-1 ПК-4 | ОПК-1.3 ПК-4.1 | Практическое занятие №8 |
| 9 | Поверхностные свойства полупроводников | ОПК-1 | ОПК-1.2 | Практическое занятие №9 |
| Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет | | | | Вопросы к зачету |

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью результатов выполнения практических заданий.

Перечень тем практических занятий

Практическое занятие 1. Классификация полупроводниковых материалов. Модельные представления о проводимости в полупроводнике.

Практическое занятие 2. Расчет зонной структуры в приближениях слабой и сильной связи. Зоны Бриллюэна.

Практическое занятие 3. Функция распределения электронов и дырок. Уровень Ферми. Статистика и выражение для концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда.

Практическое занятие 4. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников и ее температурная зависимость.

Практическое занятие 5. Неравновесные носители заряда. Уравнение непрерывности. Биполярная и монополярная генерация и рекомбинация.

Практическое занятие 6. Диффузионный и дрейфовый токи. Подвижность и коэффициент диффузии. Соотношение Эйнштейна. Уравнение диффузии. Диффузия в монополярном полупроводнике. Амбиполярные диффузия и дрейф. Длины диффузии и дрейфа.

Практическое занятие 7. Равновесные энергетические диаграммы барьеров Шоттки и Мотта. Модель обедненного приконтактного слоя. Контакт металл-полупроводник при наличии внешнего смещения. ВАХ идеального контакта металл-полупроводник (диодная теория выпрямления). Диффузионная теория выпрямления

Практическое занятие 8. Внутренний фотоэффект. Кинетика фотопроводимости. Фото-вольтаические эффекты: эффект Дембера, фотогальванический эффект (вентильный эффект на контакте Шоттки и р-п-переходе), ФЭМ-эффект.

Практическое занятие 9. Понятие идеальной и реальной поверхности. Природа и классификация локализованных состояний, связанных с поверхностью. Приповерхностная область пространственного заряда (ОПЗ). Энергетическая диаграмма, основные параметры и разновидности приповерхностной ОПЗ полупроводника. Расчет параметров ОПЗ. Поверхностная проводимость и эффект поля.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

Перечень вопросов к зачету

1. Неравновесные носители заряда и квазиуровни Ферми. Виды генерации
2. Эффект Ганна
3. Кинетика релаксации неравновесных носителей в случае монополярной генерации. Максвелловское время релаксации.
4. Контакт металл-полупроводник. Равновесные энергетические диаграммы барьеров Шоттки и Мота.
5. Кинетика релаксации неравновесных носителей в случае монополярной генерации. Время жизни электронно-дырочных пар.
6. Модель обедненного приконтактного слоя
7. Виды и механизмы рекомбинации. Центры прилипания и рекомбинации. Демаркационные уровни.
8. Контакт металл-полупроводник при наличии внешнего смещения
9. Рекомбинация носителей через локальные центры (модель Шокли -РидаХолла). Время жизни неосновных носителей.
10. ВАХ идеального контакта металл-полупроводник (диодная теория выпрямления).
11. Уравнение непрерывности
12. Диффузионная теория выпрямления. ВАХ реального контакта Шоттки.
13. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.
14. Эффект Шоттки
15. Уравнение диффузии
16. Влияние поверхностных состояний на контактные явления. Пиннинг уровня Ферми
17. Кинетическое уравнение Больцмана
18. Физические свойства и ВАХ р-п-перехода
19. Решение уравнения Больцмана в приближении времени релаксации
20. Внутренний фотоэффект. Кинетика фотопроводимости в случае линейной и квадратичной рекомбинации.
21. Электропроводность полупроводников и ее температурная зависимость.
22. Эффект Дембера
23. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффект Зеебека.
24. Фотогальванический эффект
25. Эффект Пельтье
26. Фотоэффект на р-п-переходе
27. Эффект Томпсона
28. Вентильный фотоэффект на контакте металл-полупроводник
29. Теплопроводность полупроводников
30. Общая характеристика фотовольтаических эффектов. ФЭМ-эффект

31. Применение термоэлектрических эффектов. Эффективность термоэлектрического преобразования энергии
32. Понятие идеальной и реальной поверхности. Природа и классификация локализованных состояний, связанных с поверхностью
33. Гальваномагнитные явления в полупроводниках (общая характеристика)
34. Энергетическая диаграмма, основные параметры и разновидности приповерхностной ОПЗ полупроводника.
35. Эффект Холла и его применение для определения параметров полупроводника
36. Разновидности приповерхностной ОПЗ полупроводника
37. Термомагнитные явления в полупроводниках
38. Расчет параметров приповерхностной ОПЗ полупроводника
39. Кинетические явления в сильных электрических полях. Эффект Ганна
40. Поверхностная проводимость. Эффект поля

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «зачтено» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;
- оценка «не зачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.