

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
компьютерного проектирования

_____ Осипов А.Н.

"__" _____ 2003 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ОСНОВАМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФАКУЛЬТЕТА
КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
"МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ" 39.02.01
и
"ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ" 39.02.02

КАФЕДРА ХИМИИ

| | | |
|-----------------------|--------------|-----------------|
| КУРС | | 1 |
| СЕМЕСТР | | 2 |
| ЛЕКЦИИ | | 51 ЧАС |
| ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, | спец. 390201 | 17 ЧАСОВ |
| | спец. 390202 | 34 ЧАСА |
| ВСЕГО: | спец. 390201 | <u>68 ЧАСОВ</u> |
| | спец. 390202 | <u>85 ЧАСОВ</u> |
| ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ | | ЭКЗАМЕН |

2003 г.

Рабочая программа разработана на кафедре химии на основании учебной типовой программы, утверждённой Министерством образования Республики Беларусь 24.06.01 г., регистрационный номер тд 139

Составители: БОДНАРЬ И.В., д. х. н., проф., зав. каф. хим. Белорусского государственного университета Информатики и радиоэлектроники;

ПОЗНЯК А.А., к. ф-м. н., доц. Кафедры химии Белорусского государственного университета Информатики и радиоэлектроники

РАССМОТРЕНА И РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ НА ЗАСЕДАНИИ
КАФЕДРЫ ХИМИИ «01» сентября 2003 г. ПРОТОКОЛ № 1

ЗАВ. КАФЕДРОЙ ХИМИИ

_____ БОДНАРЬ И.В.

ОДОБРЕНА И РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ МЕТОДИЧЕСКОЙ КОМИССИЕЙ
ФАКУЛЬТЕТА КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

«__» _____ 2003 г., ПРОТОКОЛ № _____

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ МЕТОДИЧЕСКОЙ КОМИССИИ

_____ БОРОВИКОВ С.М.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

1.1. Цель преподавания дисциплины

Расширение функциональных возможностей РЭС, улучшение их технико-экономических показателей приводит к необходимости интенсивно внедрять последние достижения науки и техники в разработку, конструирование и технологию РЭС.

Новые направления в радиоэлектронике требуют от разработчиков радиоэлектронной аппаратуры понимания множества сложных физических явлений и процессов в сплошных средах. Без ясного представления о физической природе явлений, определяющих работу конструкций РЭС и ЭВС и технологии их изготовления, без умения математически описать эти явления, невозможно заниматься проектированием РЭС и ЭВС. Для понимания принципов работы микроэлектронных устройств, возможности их использования в новых разработках электронной аппаратуры студент должен овладеть необходимыми знаниями, включающими в себя качественное и количественное описание строения полупроводниковых материалов, энергетического спектра и статистики носителей заряда и фононов, теории переноса, оптических и фотоэлектрических свойств твердых тел и контактных явлений. С другой стороны, характер производственных процессов при изготовлении РЭС в настоящее время является ветвью современной физической химии, что подразумевает изучение физико-химических свойств используемых материалов, методов получения новых материалов с заданными свойствами.

Все это диктует необходимость изучения физико-химических процессов, используемых при проектировании, изготовлении и эксплуатации РЭС, как учебной дисциплины “Физико-химические основы микроэлектроники и технологии”.

Настоящая программа курса составлена с учетом этих требований и отводимого времени.

Усвоение материала, предусмотренного программой необходимо также при изучении таких дисциплин данной специальности, как:

- физические основы микроэлектроники “ФОМ”;
- материаловедение;
- технология производства ИОЭТ.

1.2. Задачи изучения дисциплины:

- изучить основные физико-химические процессы, эффекты и явления, определяющие принципы построения и работу устройств электронной техники, а также технологические процессы их изготовления;
- привить научный подход к выбору и правильному использованию физических принципов работы приборов и используемых материалов при создании соответствующей аппаратуры;
- сообщить определенный объем знаний, позволяющий определять возможные области применения различных устройств электронной техники в соответствии с принципами их работы, производить анализ физических ограничений на параметры используемых приборов;
- дать базовый объем знаний для изучения последующих дисциплин данной специальности.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс ФХОМиТ включает в себя лекции и лабораторные занятия.

| Семестр | Объем курса, часы | | | | | Форма отчетности |
|---------|-------------------|--------------|----------------------|---------------------------|----------------------|------------------|
| | лекции | практические | лабораторные занятия | курсовые работы, (кол-во) | контр. раб. (кол-во) | |
| 2 | 51 | — | Спец. 390201: 17 | — | — | Экзамен |
| | | | Спец. 390202: 34 | | | |

2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.

| №№ ТЕМЫ | НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ | СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ | Объём в часах |
|---------|--|---|---------------|
| 1. | Структура материалов электронной техники | | |
| 1.1. | Кристаллические твердые тела. Основы кристаллографии | Агрегатные состояния вещества. Основные свойства кристаллических веществ. Симметрия в твердых телах. Виды симметрии. Сингонии. Кристаллические решетки. Решетки Браве. Основные виды решеток, характеристики. Обозначение узлов и направлений в кристаллах. Индексы Миллера. | 2 |
| 1.2 | Аморфные вещества и жидкие кристаллы | Определение и основные свойства аморфных веществ. Процессы стеклования. Классификация и свойства ЖК. Методы получения жидких кристаллов. Электрооптические эффекты жидких кристаллов. | 2 |
| 1.3. | Дефекты структуры | Дефекты структуры кристаллов, их классификации. Точечные дефекты (по Шоттки, по Френкелю, примесные) и их влияние на физические свойства материалов. Дислокации. Виды дислокаций, образование и их влияние на физические свойства материалов. Линейные, объемные, поверхностные дефекты и их влияние на физические свойства материалов. | 2 |
| 1.4. | Рост кристаллов | Процессы роста кристаллов. Методы и технологии выращивания кристаллов: одно- и двухтемпературные методы (вертикальный и горизонтальный), метод обменных реакций, Методы выращивания монокристаллов: Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, химических транспортных реакций, выращивание монокристаллов из расплава-раствора, метод бестигельной зонной плавки. | 8 |
| 2. | Основы квантовой механики. | Описание частицы волновым пакетом. Фазовая и групповая скорости. Соотношение Гейзенберга. Дифракция электронов. Физический смысл волны де-Бройля. Понятие волновой функции электрона. Принцип суперпозиции состояния. Уравнение Шредингера. Стационарное (амплитудное) уравнение Шредингера. Решение уравнения Шредингера. Требование к волновой функции. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Движение частицы в потенциальной яме. Линейный гармонический осциллятор. Водородоподобный атом. Минимальная энергия атома водорода. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Число состояний и порядок заполнения квантовых состояний. | 2 |
| 3. | Виды химических связей. | Образование ионной связи. Свойства ионных кристаллов. Образование и свойства ковалентной связи. Особенности химической связи в полупроводниках. Образование металлической связи. Свойства металлов. Молекулярная связь. Способ образования и свойства. | 2 |
| 4. | Зонная теория твердых тел. | Модель сильной связи. Модель слабой связи (модель периодического потенциала). Функции Блоха. Дисперсионная зависимость $E(k)$. Зоны Бриллюэна. Причины образования запрещенных зон в энергетическом спектре кристалла. Число уровней в разрешенных зонах. Приведенные зоны. Металлы, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории. Эффективная масса электрона. Понятие дырки. Собственные и примесные полупроводники. Положение примесных уровней в полупроводниках. | 4 |

| №№ ТЕМЫ | НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ | СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ | Объём в часах |
|------------|--|--|------------------|
| 5. | Статистика носителей зарядов в полупроводниках и металлах. | Статистика носителей зарядов в твердых телах. Функции распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака для металлов. Плотность заполнения уровней в полупроводниках. Определение концентрации носителей в полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственных полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках. Вырожденные полупроводники. Компенсированные полупроводники. Концентрация носителей в металлах. | 2 |
| 6. | Тепловые свойства твердых тел. | Нормальные колебания атомов в кристалле. Дисперсионные зависимости для акустических и оптических колебаний. Спектр нормальных колебаний решетки. Тепловые колебания с квантовой точки зрения. Фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Законы Дюлонга-Пти и Дебая. Характеристическая температура Дебая. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность решетки, ее зависимость от температуры. Теплопроводность электронного газа. Зависимость от температуры. | 2 |
| 7. | Электропроводность твердых тел. | Равновесное состояние электронного газа в проводнике. Процессы рассеяния. Удельная электропроводность для вырожденного и невырожденного электронного газа. Подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры для вырожденного и невырожденного газов. Электропроводность металлов и сплавов. Электропроводность собственных и примесных полупроводников. Закон Видемана-Франца. | 2 |
| 8. | Гальваномагнитные эффекты. | Эффект Холла в примесных полупроводниках и металлах. Эффект Холла в собственном полупроводнике. Эффект магнетосопротивления. Эффект Эттингсгаузена в случаях собственного и примесного полупроводников. | 2 |
| 9. | Перенос заряда в полупроводниках. | Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители заряда. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Токперенос в полупроводниках при наличии градиента концентрации. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Время жизни неравновесных носителей. | 2 |
| 10. | Электропроводность в сильных полях. | Критерий сильного поля. Разогрев электронного газа. Закон Джоуля-Ленца. Зависимость подвижности от напряженности поля. Влияние поля на концентрацию носителей. Термоэлектронная ионизация Френкеля, ударная и электростатическая ионизация. Эффект Ганна. | 2 |
| 11. | Контактные явления в МЭ | Классификация контактных явлений. Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Контакт металл-металл. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте металл-металл. Выпрямляющие и невыпрямляющие контакты металла с полупроводниками n- и p-типов проводимости. Энергетические диаграммы. ВАХ барьера Шоттки. Электронно-дырочный переход. Классификация. Равновесное состояние электронно-дырочного перехода. Энергетическая диаграмма контакта. Выпрямляющие свойства p-p-перехода. Энергетические диаграммы. ВАХ p-p-перехода. Омический контакт двух полупроводников. Гетеропереходы. | 2 |
| 12. | Поверхностные свойства полупроводников. | Поверхностные состояния в полупроводниках. Быстрые и медленные состояния. Поверхностный слой объемного заряда для случаев образования обогащенных и обедненных слоев. Зонные диаграммы для p- и n-типов полупроводников при образовании обогащенных, обедненных и инверсных слоев. Поверхностная рекомбинация. Скорость поверхностной рекомбинации. Эффект поля. Влияние поверхностного потенциала на поверхностную проводимость. | 2 |

| №№ ТЕМЫ | НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ | СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ | Объём в часах |
|------------|---|--|------------------|
| 13. | Оптические свойства твердых тел. | Взаимодействие света с кристаллической средой. Закон Бугера-Ламберта. Оптические свойства металлов. Механизмы поглощения света в полупроводниках. Фотопроводимость. Зависимость коэффициента поглощения света α от энергии фотонов падающего света $E_{\text{ф}}$. Собственное поглощение в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Экситонное и примесное поглощение света в полупроводниках. Зависимость $\alpha=f(E_{\text{ф}})$ для этих механизмов. Механизмы поглощения света свободными носителями заряда и на оптических колебаниях решетки. Эффект Франца-Келдыша. | 2 |
| 14. | Физические процессы в диэлектриках. | Основные электрические характеристики. Механизмы поляризации диэлектриков. Электропроводность диэлектриков. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты переменного поля. Диэлектрические потери и механизмы диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь. Мощность диэлектрических потерь. | 4 |
| 15. | Магнитные свойства твердых тел | Основные магнитные характеристики материалов. Магнитные свойства атомов. Классификация магнитных материалов. Природа диа- и парамагнетизма. Ферро- и антиферромагнетизм. Механизмы намагничивания магнетиков в постоянном и переменных полях. Механизмы рассеяния энергии в ферромагнетиках при их перемагничивании. Магнитострикция. Ферромагнетизм. Цилиндрические магнитные домены. Эффект Фарадея. | 2 |
| 16. | Тонкие пленки в МЭ | Классификация, образование и структура тонких пленок. Процессы нанесения пленок на подложку из жидкой и твердой фазы. Эпитаксиальные процессы. Механизмы роста на ориентирующих и на неориентирующих подложках. Физические свойства тонких пленок. Электропроводность тонких пленок. | 2 |
| 17. | Деформация и напряжения в твердых телах | Упругая и пластическая деформации кристаллов. Дислокационный механизм пластической деформации кристаллов. Деформация поликристаллов. Механизм и кинетика процессов механического разрушения твердых тел. | 2 |
| 18. | Сверхпроводимость материалов | Основные закономерности изменения физических свойств материалов при переходе в сверхпроводящее состояние. Теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Сверхпроводники первого и второго рода. Эффекты Джозефсона. Новые сверхпроводящие материалы. | 1 |
| | | Всего: | 51 |

2.2. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

Основная цель проведения лабораторных занятий состоит в закреплении теоретического материала курса, приобретении навыков выполнения эксперимента, обработки экспериментальных данных, анализа полученных результатов и грамотного оформления отчетов.

| № лаб. работы | Наименование лабораторных работ | Объем ¹ в часах |
|------------------|--|-------------------------------|
| 1. | Исследование поверхностной проводимости полупроводников | 4 |
| 2. | Изучение контактных явлений | 4 |
| 3. | Определение электрофизических характеристик полупроводников из измерений эффекта Холла. | 4 |
| 4. | Спектры поглощения и определение ширины запрещенной зоны полупроводников. | 4 |
| 5. | Изучение структуры кристаллов. | 4 |
| 6. | Изучение механизмов поляризации диэлектриков. | 4 |
| 7. | Электропроводность диэлектриков и диэлектрические потери. | 4 |
| 8. | Исследование теплового расширения твердых тел. | 4 |
| 9. | Изучение фотоэлектрических явлений в полупроводниках и определение ширины запрещенной зоны | 4 |

¹ В соответствии с планом, студенты специальности 390201 выполняют четыре лабораторных работы из перечисленных по выбору преподавателя, а именно №№ 1, 5, 6, 7, 8; а специальности 390202 — восемь работ по выбору преподавателя.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Основная литература

1. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. — М.: Высшая школа, 1986.
2. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. — М.: Сов. радио, 1979.
3. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. — М.: Высшая школа, 1984.
4. Штернов А.А. Физические основы конструирования, технологии РЭА и микроэлектроники. — М.: Радио и связь, 1981.
5. Стильбанс Л.С. Физика полупроводников. — М.: Сов. радио, 1967.
6. Новиков В.В. Теоретические основы микроэлектроники. — М.: Высшая школа, 1972.
7. Тиаров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых диэлектрических материалов. С.-Петербург: Изд. Лань, 2002.
8. Айвазов А.А. Неупорядоченные полупроводники: Учебное пособие, М.: Высшая школа, 1995.
9. Летюк Л.М. Технология производства материалов магнитоэлектроники: Учебник для вузов, М.: Металлургия, 1994.

3.2. Дополнительная литература

10. Палатник Л.С., Сорокин В.К. Материаловедение в микроэлектронике. — М.: Энергия, 1978.
11. Гусева М.Б., Дубинина Е.М. Физические основы твердотельной электроники. — М.: МГУ, 1986.
12. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов. — М.: Сов. радио, 1970.
13. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники. — М.: Сов. радио, 1976.
14. Медведев С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1970. 540 с.
15. Крапухин В.В., Соколов И.А., Кузнецов Г.Д. Технология материалов электронной техники. Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов, М.: Московский институт стали и сплавов (МИСИС), 1995.
16. Зайцев Ю.В., Кузищина Т.К., Кустов Д.Е. Расчет физико-химических характеристик элементов проводников: Методическое пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

3.3. Перечень методических пособий

1. Методическое пособие по курсу "Физические основы конструирования, технологии и микроэлектроники" для студентов – заочников специальности "Конструирование и производство радиоаппаратуры". — Мн.: ротапринт МРТИ, 1986.
2. Методические указания по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники и технологии РЭС и ЭВС". — Мн.: ротапринт МРТИ, 1994.
3. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС, РЭА и ЭВС" ч. 2. — Мн.: ротапринт МРТИ, 1991.
4. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС" ч. 4. — Мн.: ротапринт БГУИР, 1996.
5. Методическое пособие к лабораторным работам по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС". — Мн.: ротапринт БГУИР, 1997.

6. Методическое пособие для самостоятельной работы студентов по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС". Раздел "Контактные явления". — Мн.: ротاپринт БГУИР, 1998.

7. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности "Проектирование и производство РЭС" заочной формы обучения в 2-х частях. Часть 1. — Мн.: ротاپринт БГУИР, 2000.

8. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности "Проектирование и производство РЭС" заочной формы обучения в 2-х частях. Часть 2. — Мн.: ротاپринт БГУИР, 2000.

9. Методическое пособие для самостоятельной работы студентов по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС". Раздел "Электрофизические характеристики полупроводников и металлов. Гальваномагнитные эффекты". — Мн.: ротاپринт БГУИР, 1998.

3.4. Перечень наглядных пособий и материалов к техническим средствам обучения

1. Макеты кристаллических решеток.
2. Стенды, программы ЭВМ для обработки результатов экспериментов к лабораторным работам:
 - а) изучение контактных явлений;
 - б) определение электрофизических характеристик полупроводников из измерений эффекта Холла;
 - в) спектры поглощения и определение ширины запрещенной зоны полупроводников;
 - г) изучение структуры кристаллов.

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер недели | Номер темы | Вопросы, которые рассматриваются на лекциях | Практические (семинарские) занятия (номера по п. 2.2) | Лабораторные занятия (номера по п. 2.2) | | Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2) | Наглядные и методические пособия (номера по п. 3.3) | Самостоятельная работа студентов, часы | Форма контроля знаний студентов |
|--------------|------------|--|---|---|------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| | | | | МикП РЭС 39.02.01 | ПиП РЭС 39.02.02 | | | | |
| 1 | 1.1 | Структура материалов электронной техники. Кристаллические твердые тела. Основы кристаллографии. Агрегатные состояния вещества. Основные свойства кристаллических веществ. Симметрия в твердых телах. Виды симметрии. Сингонии. Кристаллические решетки. Решетки Браве. Основные виды решеток, характеристики. Обозначение узлов и направлений в кристаллах. Индексы Миллера | | 5 | 5 | 7, 8, 10, 14 | 1, 2, 5, 7 | | Отчёт по лабораторной работе |
| 2 | 1.2 | Аморфные вещества и жидкие кристаллы. Определение и основные свойства аморфных веществ. Процессы стеклования. Классификация и свойства ЖК. Методы получения жидких кристаллов. Электрооптические эффекты жидких кристаллов | | | | 7, 8, 10, 14 | 5 | | |
| | 1.3 | Дефекты структуры. Дефекты структуры кристаллов, их классификации. Точечные дефекты (по Шоттки, по Френкелю, примесные) и их влияние на физические свойства материалов. Дислокации. Виды дислокаций, образование и их влияние на физические свойства материалов. Линейные, объемные, поверхностные дефекты и их влияние на физические свойства материал | | | | 5, 7, 8, 10, 14, | 5 | | |
| 3,4,5 | 1.4 | Рост кристаллов. Процессы роста кристаллов. Методы и технологии выращивания кристаллов: одно- и двухтемпературные методы (вертикальный и горизонтальный), метод обменных реакций, Методы выращивания монокристаллов: Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, химических транспортных реакций, выращивание монокристаллов из расплава-раствора, метод бестигельной зонной плавки. | | | | 5, 7, 8, 14, 15 | 1 | | |

| Номер недели | Номер темы | Вопросы, которые рассматриваются на лекциях | Практические (семинарские) занятия (номера по п. 2.2) | Лабораторные занятия (номера по п. 2.2) | | Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2) | Наглядные и методические пособия (номера по п. 3.3) | Самостоятельная работа студентов, часы | Форма контроля знаний студентов |
|--------------|------------|---|---|---|------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| | | | | МикП РЭС 39.02.01 | ПиП РЭС 39.02.02 | | | | |
| 6 | 2 | Основы квантовой механики. Описание частицы волновым пакетом. Фазовая и групповая скорости. Соотношение Гейзенберга. Дифракция электронов. Физический смысл волны де-Бройля. Понятие волновой функции электрона. Принцип суперпозиции состояния. Уравнение Шредингера. Стационарное (амплитудное) уравнение Шредингера. Решение уравнения Шредингера. Требование к волновой функции. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Движение частицы в потенциальной яме. Линейный гармонический осциллятор. Водородоподобный атом. Минимальная энергия атома водорода. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Число состояний и порядок заполнения квантовых состояний. | | | | 1, 2, 5, 6, 11 | 2, 3, 7 | | |
| | 3 | Виды химических связей. Образование ионной связи. Свойства ионных кристаллов. Образование и свойства ковалентной связи. Особенности химической связи в полупроводниках. Образование металлической связи. Свойства металлов. Молекулярная связь. Способ образования и свойства. | | | | 10, 11, 14 | | | |
| 7,8 | 4 | Зонная теория твердых тел. Модель сильной связи. Модель слабой связи (модель периодического потенциала). Функции Блоха. Дисперсионная зависимость $E(k)$. Зоны Бриллюэна. Причины образования запрещенных зон в энергетическом спектре кристалла. Число уровней в разрешенных зонах. Приведенные зоны. Металлы, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории. Эффективная масса электрона. Понятие дырки. Собственные и примесные полупроводники. Положение примесных уровней в полупроводниках. | | | | 1, 2, 4, 5, 6, 11, 12 | 1, 7 | | |

| Номер недели | Номер темы | Вопросы, которые рассматриваются на лекциях | Практические (семинарские) занятия (номера по п. 2.2) | Лабораторные занятия (номера по п. 2.2) | | Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2) | Наглядные и методические пособия (номера по п. 3.3) | Самостоятельная работа студентов, часы | Форма контроля знаний студентов |
|--------------|------------|--|---|---|------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| | | | | МикП РЭС 39.02.01 | ПиП РЭС 39.02.02 | | | | |
| 8 | 5 | Статистика носителей зарядов в полупроводниках и металлах. Статистика носителей зарядов в твердых телах. Функции распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака для металлов. Плотность заполнения уровней в полупроводниках. Определение концентрации носителей в полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственных полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках. Вырожденные полупроводники. Компенсированные полупроводники. Концентрация носителей в металлах. | | | | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 16 | 1, 2, 7 | | |
| 9 | 6 | Тепловые свойства твердых тел. Нормальные колебания атомов в кристалле. Дисперсионные зависимости для акустических и оптических колебаний. Спектр нормальных колебаний решетки. Тепловые колебания с квантовой точки зрения. Фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Законы Дюлонга-Пти и Дебая. Характеристическая температура Дебая. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность решетки, ее зависимость от температуры. Теплопроводность электронного газа. Зависимость от температуры. | | 8 | 8 | 1, 2, 5, 6, 11, 12 | 2, 8 | | Отчёт по лабораторной работе |
| 10 | 7 | Электропроводность твердых тел. Равновесное состояние электронного газа в проводнике. Процессы рассеяния. Удельная электропроводность для вырожденного и невырожденного электронного газа. Подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры для вырожденного и невырожденного газов. Электропроводность металлов и сплавов. Электропроводность собственных и примесных полупроводников. Закон Видемана-Франца. | | | | 1, 2, 4, 5, 6, 11, 12, 16 | 1, 2, 8,9 | | |

| Номер недели | Номер темы | Вопросы, которые рассматриваются на лекциях | Практические (семинарские) занятия (номера по п. 2.2) | Лабораторные занятия (номера по п. 2.2) | | Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2) | Наглядные и методические пособия (номера по п. 3.3) | Самостоятельная работа студентов, часы | Форма контроля знаний студентов |
|--------------|------------|--|---|---|------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| | | | | МикП РЭС 39.02.01 | ПиП РЭС 39.02.02 | | | | |
| | 8 | Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла в примесных полупроводниках и металлах. Эффект Холла в собственном полупроводнике. Эффект магнетосопротивления. Эффект Эттингсгаузена в случаях собственного и примесного полупроводников. | | | 3 | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12 | 3, 8, 9 | | Отчёт по лабораторной работе |
| 11 | 9 | Перенос заряда в полупроводниках. Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители заряда. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Токперенос в полупроводниках при наличии градиента концентрации. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Время жизни неравновесных носителей. | | | | 3, 4, 5, 6, 11, 12, 16 | 1, 7 | | |
| | 10 | Электропроводность в сильных полях. Критерий сильного поля. Разогрев электронного газа. Закон Джоуля-Ленца. Зависимость подвижности от напряженности поля. Влияние поля на концентрацию носителей. Термоэлектронная ионизация Френкеля, ударная и электростатическая ионизация. Эффект Ганна. | | | | 3, 4, 5, 6, 11, 12, 16 | 3, 8 | | |
| 12 | 11 | Контактные явления в МЭ. Классификация контактных явлений. Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Контакт металл-металл. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте металл-металл. Выпрямляющие и невыпрямляющие контакты металла с полупроводниками n- и p-типов проводимости. Энергетические диаграммы. ВАХ барьера Шоттки. Электронно-дырочный переход. Классификация. Равновесное состояние электронно-дырочного перехода. Энергетическая диаграмма контакта. Выпрямляющие свойства p-p-перехода. Энергетические диаграммы. ВАХ p-p-перехода. Омический контакт двух полупроводников. Гетеропереходы. | | | 2 | 4, 5, 6, 11, 16 | 1, 3, 6, 8 | | Отчёт по лабораторной работе |

| Номер недели | Номер темы | Вопросы, которые рассматриваются на лекциях | Практические (семинарские) занятия (номера по п. 2.2) | Лабораторные занятия (номера по п. 2.2) | | Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2) | Наглядные и методические пособия (номера по п. 3.3) | Самостоятельная работа студентов, часы | Форма контроля знаний студентов |
|--------------|------------|--|---|---|------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| | | | | МикП РЭС 39.02.01 | ПиП РЭС 39.02.02 | | | | |
| 13 | 12 | Поверхностные свойства полупроводников. Поверхностные состояния в полупроводниках. Быстрые и медленные состояния. Поверхностный слой объемного заряда для случаев образования обогащенных и обедненных слоев. Зонные диаграммы для р- и п-типов полупроводников при образовании обогащенных, обедненных и инверсных слоев. Поверхностная рекомбинация. Скорость поверхностной рекомбинации. Эффект поля. Влияние поверхностного потенциала на поверхностную проводимость. | | 1 | 1 | 3, 4, 5, 6, 11, 12 | 1 | | Отчёт по лабораторной работе |
| 14 | 13 | Оптические свойства твердых тел. Взаимодействие света с кристаллической средой. Закон Бугера-Ламберта. Оптические свойства металлов. Механизмы поглощения света в полупроводниках. Фотопроводимость. Зависимость коэффициента поглощения света α от энергии фотонов падающего света E_{ϕ} . Собственное поглощение в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Экситонное и примесное поглощение света в полупроводниках. Зависимость $\alpha=f(E_{\phi})$ для этих механизмов. Механизмы поглощения света свободными носителями заряда и на оптических колебаниях решетки. Эффект Франца-Келдыша. | | | 4 | 3, 4, 5, 6, 11, 12 | 3, 5, 8 | | Отчёт по лабораторной работе |
| 14, 15 | 14 | Физические процессы в диэлектриках. Основные электрические характеристики. Механизмы поляризации диэлектриков. Электропроводность диэлектриков. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты переменного поля. Диэлектрические потери и механизмы диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь. Мощность диэлектрических потерь. | | 6 | 6, 7 | 6, 10, 11, 12 | 4 | | Отчёт по лабораторной работе |

3.5 Протокол согласования рабочей программы с другими дисциплинами специальности

| Название дисциплин, изучение которых опирается на данную дисциплину | Кафедры, обеспечивающие преподавание этих дисциплин | Предложение кафедры об изменениях в содержании рабочей программы | Решение, принятое кафедрой, разрабатывающей рабочую программу |
|---|---|--|---|
| Проектирование и технология МС | РЭС | | Программа рассмотрена на заседании кафедры, протокол № 1 |
| Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности | | | |

Зав. кафедрой химии

Боднарь И.В.

Зав. кафедрой РЭС

Образцов Н.С.