

ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В МАГИСТРАТУРУ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ
28.04.01 – «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Санкт-Петербург

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Раздел 1. Материалы электронной техники.

1. Физическая природа электропроводности металлов. Законы Ома, Джоуля-Ленца, Видема-на-Франца. Металлы с высокой электрической проводимостью.
2. Влияние примесей и структурных дефектов на удельное сопротивление металлов. Металлические сплавы, зависимость электрических свойств от состава.
3. Электропроводность тонких металлических пленок, размерные эффекты. Взаимосвязь электрических свойств со структурой и толщиной пленок.
4. Явление сверхпроводимости и основные свойства сверхпроводящих материалов. Наиболее характерные применения сверхпроводников.
5. Статистика носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Модельные представления электропроводности полупроводников.
6. Основные механизмы рассеяния электронов и дырок в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
7. Влияние температуры на удельную проводимость полупроводников, роль примесей и дефектов структуры.
8. Основные механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках. Понятие о времени жизни и диффузионной длине неравновесных носителей заряда.
9. Классификация полупроводниковых материалов, краткая характеристика их свойств и наиболее характерные применения.
10. Виды деформационной и релаксационной поляризации диэлектриков.
11. Природа диэлектрических потерь и основные параметры, их характеризующие. Эквивалентные схемы диэлектрика с потерями.

12. Закономерности пробоя газов и твердых диэлектриков. Основные признаки и условия проявления различных механизмов пробоя.

13. Активные и пассивные диэлектрики, их классификация по составу, строению и свойствам. Наиболее характерные области применения.

14. Физическая природа ферромагнитного состояния вещества. Влияние температуры на магнитные свойства материалов.

Литература к разделу 1:

1. Материалы и элементы электронной техники. В 2 т. Т.1 Проводники, полупроводники, диэлектрики: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.С.Сорокин, Б.Л.Антипов, Н.П.Лазарева. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. ISBN 5-7695-2785-4

2. Материалы и элементы электронной техники. В 2 т. Т.2 Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.С.Сорокин, Б.Л.Антипов, Н.П.Лазарева. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. ISBN 5-7695-2780-3

3. Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А. Материалы электронной техники. Вопросы и задачи. Учебное пособие. - 3-е изд. - СПб.: Лань, 2003.

Раздел 2. Компоненты электронной техники

1. Основные характеристики резисторов
2. Основные типы резисторов
3. Основные характеристики электрических конденсаторов
4. Основные типы конденсаторов
5. Индуктивные элементы
6. Соединительные и коммутационные элементы
7. Компоненты преобразовательных устройств

Литература к разделу 2:

1. Материалы и элементы электронной техники. В 2т. Т.1.Проводники,полупроводники, диэлектрики. Т.2.Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. Учебник /В.С.Сорокин, Б.Л.Антипов , Н.П.Лазарева. – М. Изд. Центр «Академия», 2006; 2-е изд., испр. – СПб.: Изд-во «Лань», Т. 1, 2015; Т. 2, 2016.

2. Антипов Б.Л., Овчинников С.Ю., Солодовникова Е.Л. Компонентыэлектронной техники. Лабораторный практикум. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.

3. Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А. Материалы электроннойтехники. Задачи и вопросы (учебное пособие). М.: Высшая школа.- 1990.- СПб.; «Лань», 2001, 2003.

4. Быстров Ю.А., Мироненко И.Г. Электронные цепи и микросхемотехника. Учебник. М.: Высшая школа.- 2002.

5. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроникии электрорадиоэлементы. – М.: Радио и связь.- 1989.

Раздел 3. Физика конденсированного состояния.

1. Трансляционная симметрия кристаллов. Основные и произвольные векторы трансляции. Решетка Браве. Примитивная ячейка. Точечная симметрия кристаллов. Кристаллическая решетка. Структура алмаза и сфалерита.

2. Дефекты в твердых телах. Классификация дефектов кристаллической решетки. Дислокации. Контур и вектор Брюггера.

3. Механические свойства твердых тел. Тензор механических напряжений и деформаций. Закон Гука в кристаллах.

4. Основы зонной теории твердых тел. Адиабатическое и одноэлектронное приближения в физике твердого тела. Условия БорнаКармана. Блоховская волновая функция. Волновой вектор электрона в кристалле. Зона Бриллюэна. Приближение почти свободных электронов. Приближение

сильно связанных электронов. Эффективная масса и групповая скорость электрона.

5. Заполнение зон электронами: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Понятие дырки с точки зрения зонной теории.

6. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Зонная структура Si, Ge, GaAs. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы в Si, Ge, GaAs.

7. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Плотность состояний в объемных кристаллах. Эффективная масса плотности состояний. Функция распределения Ферми-Дирака для электронов и дырок. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Уровень Ферми и условие электронейтральности для собственных и легированных полупроводников. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации носителей заряда в невырожденных полупроводниках.

8. Электрические свойства твердых тел. Электропроводность металлов. Электропроводность собственных полупроводников. Электропроводность примесных полупроводников. Температурные зависимости электропроводности металлов и полупроводников. Эффект Холла.

9. Колебания атомов кристаллической решетки. Бесконечная одноатомная одномерная решетка. Акустические фононы. Бесконечная одномерная решетка с базисом. Оптические фононы.

10. Тепловые свойства твердых тел. Теория теплоемкости Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая, температура Дебая. Теплоемкость металлов. Теплопроводность твердых тел. Теплопроводность, обусловленная атомными колебаниями. Вклад свободных электронов в теплопроводность металлов.

Литература к разделу 3:

1. Павлов, П.В. Физика твердого тела [Текст]: учебник / П.В.Павлов, А.Ф.Хохлов. – М.: Высшая школа, 2002.- 494 с.

2. Ю, П. Основы физики полупроводников [Текст] / П. Ю, М. Кардона; под ред. Б.П.Захарчени. - М.: Наука, Физматлит, 2002. - 560 с.
3. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников [Текст] / Г.Г. Зегря, В.И. Перель. - М.: Физматлит, 2009. - 335 с.
4. Глинский, Г.Ф. Полупроводники и полупроводниковые наноструктуры: симметрия и электронные состояния [Текст] / Г.Ф. Глинский. – СПб.: Технолит, 2008. - 322 с.

Раздел 4. Физико-химические основы технологии изделий электроники и наноэлектроники.

1. Фазовая и структурная характеристика материалов электронной техники. Термодинамическая характеристика твердого, мезоморфного, жидкого, стеклообразного и аморфного состояний.

2. Гомогенные и гетерогенные системы. Функции состояния. Критерии направления самопроизвольных процессов и условия равновесия в закрытых и открытых системах. Фундаментальные уравнения состояния систем. Закон действия масс. Уравнения изотермы, изобары и изохоры химической реакции. Методы термодинамических расчетов в технологических процессах.

3. Термодинамические критерии равновесия фаз. Правило фаз Гиббса. Р-Т–диаграмма состояния однокомпонентной системы. Уравнение Клаузиуса–Клапейрона.

4. Фазовые равновесия в бинарных гетерогенных системах. Классификация растворов. Математическое описание фазовых равновесий в двухкомпонентных системах. Коэффициент распределения. Распад пересыщенных твердых растворов.

5. Термодинамическое обоснование теплового разупорядочения кристаллической решетки. Конфигурационная энтропия и свободная энергия кристаллов с дефектами. Основные типы точечных дефектов в кристаллических фазах переменного состава. Особенности Т-х – диаграмм

состояния полупроводниковых фаз переменного состава. Управление составом фазы в пределах области гомогенности.

6. Кинетические и диффузионные явления в технологических процессах.

Термоактивационные процессы. Закон Аррениуса. Кинетика гетерогенных и диффузионных процессов. Лимитирующая стадия. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия. Начальные и граничные условия в задачах диффузии.

7. Поверхностные явления и межфазные взаимодействия в технологических процессах. Термодинамика поверхностных явлений.

Уравнение адсорбции Гиббса. Адсорбция. Изотермы адсорбции.

Литература к разделу 4:

1. Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. Физикотехнологические основы макро-, микро- и наноэлектроники. Уч. для вузов. – М.: Физматлит.- 2011.- 784 с.

2. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника: физикотехнологические основы. Учебное пособие. – М.: Физматлит.- 2006.- 424 с.

3. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. Учеб. пособие. - М.: «МИСИС».- 2003

4. Д.Б. Чеснокова, О.Ф. Луцкая, А.И.Максимов, О.А. Александрова.Фазовые диаграммы состояния полупроводниковых систем. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ».- 2009

5. Луцкая О.Ф., Чеснокова Д.Б., Максимов А.И. Химические и фазовые равновесия в технологии материалов электронной техники: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ».- 2005.- 84 с.

Раздел 5. Методы анализа и контроля наноструктурных материалов и систем.

1. Точечные методы измерения удельного сопротивления материалов и структур. Однозондовый, двухзондовый методы и метод Ван-дер-Пау.
2. Точечные методы измерения удельного сопротивления материалов и структур. Четырехзондовый метод измерения для полубесконечного образца, линейного расположения зондов и расположения зондов по вершинам квадрата.
3. Точечные методы измерения удельного сопротивления материалов и структур. Четырехзондовый метод измерения для тонкого образца, линейного расположения зондов и расположения зондов по вершинам квадрата.
4. Локальные методы измерения концентрации носителей заряда, вольт-фарадный метод. Однородное и неоднородное распределение примесей. Аналитические возможности и ограничения метода.
5. Сканирующая зондовая микроскопия. Основные принципы измерений и приборная реализация СЗМ.
6. Принципы и приборная реализация СЗМ в режиме измерения тока растекания и емкостной моде.
7. Измерение распределений электрического потенциала и напряженности поля в структурах с объемным зарядом методом СЗМ. Принцип измерения и приборная реализация метода.
8. Методы формирования контраста в РЭМ: вторичные электроны, отраженные электроны, картины каналирования электронов, магнитный контраст, наведенный ток, контраст в Оже-электронах, контраст в рентгеновских лучах, индуцированный ток.
9. Приборная реализация метода РЭМ. Аналитические характеристики метода в сравнении с методами оптической микроскопии.
10. Упругое и неупругое рассеяние электронов. Оже-процесс. Излучательные и безизлучательные переходы. Факторы, определяющие выход Оже-электронов. Качественный и количественный анализ в ЭОС. Плазмонные и ионизационные потери энергии электронов. Локальность метода ЭОС.

11. Основные типы электронных спектрометров. Растровая электронная Оже-спектроскопия. Основные аналитические характеристики метода.

12. Рентгеноспектральный микроанализ. Генерация тормозного и рентгеновского характеристического излучений. Классификация энергетических состояний. Правила отбора. Типы переходов и обозначения линий в спектре. Факторы, определяющие интенсивность линий РХИ.

13. Основные типы спектрометров. Качественный и количественный анализ в РСМА. Локальность измерений. Основные аналитические характеристики метода.

14. Дифракция быстрых электронов. Основные соотношения дифракции (по Вульффу-Брэггу, по Лауэ). Методология интерпретации дифрактограмм монокристаллических образцов. Сопоставительный анализ характеристик методов рентгеновской и электронной дифракции.

15. Основное уравнение электронографии. Построение Эвальда. Основные типы электронограмм.

Литература к разделу 5:

1. Микроскопия интегральных схем / Под ред. В.В. Лучинина. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.- 172 с.

2. Мошников В.А., Федотов А.А., Румянцева А.И. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и наноэлектронике. Уч. пособ. СПб.: Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.- 84 с.

3. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики. Уч. пособ. СПб.: Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.- 80 с.

4. Миронов, В.А. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Уч. пособ. М.: Техносфера, 2004. – 143 с.

5. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. – М.: Мир, 1989.- 344 с.

6. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – М.: Высшая школа, 1987.- 239 с.

7. Петров А.А. Электронная и ионная спектроскопия материалов и структур микро- и оптоэлектроники.– Уч. пособ. СПб.: Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.- 80 с.

Методика оценивания экзаменационной работы.

Экзамен проводится в дистанционной форме. Экзаменационное задание состоит из 50 тестовых вопросов. Один правильный ответ на тестовый вопрос оценивается в 2 балл. Максимальная суммарная оценка составляет 100 баллов. Продолжительность экзамена — 60 минут.

Председатель Методического совета

по направлению 28.04.01

«Нанотехнологии и микросистемная техника»

Корляков А.В.