

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Петрозаводский государственный университет»
(ПетрГУ)**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
ПО ПРОФИЛЮ «ФИЗИЧЕСКАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА»**

1. Корпускулярная оптика

1.1. Законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях. Показатель преломления в корпускулярной оптике. Оптический и механический подходы при решении задач корпускулярной оптики. Законы подобия. Параксиальные пучки. Основные свойства аксиально симметричных электростатических и магнитных полей. Теорема Буша и закон сохранения углового момента. Теорема Лагранжа-Гельмгольца и ее следствия.

1.2. Основные типы электростатических линз. Тонкие линзы. Линза-диафрагма. Одиночная линза, иммерсионный объектив и иммерсионная линза. Магнитные линзы. Расчет фокусных расстояний. Линза Глазера. Аберрации линз.

1.3. Электронные микроскопы. Общие принципы работы. Конструкции электронных микроскопов. Особенности электрооптических систем. Корпускулярные микроскопы.

1.4. Динамика заряженной частицы в переменных во времени полях; движение частиц в полях электромагнитных волн, захват и ускорение, ускорение на биениях.

2. Эмиссионная электроника

2.1. Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ. Термоэмиссионный метод прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Вакуумный диод с термокатодом и его вольт-амперная характеристика.

2.2. Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция.

2.3. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления. Формула Зигмунда для коэффициента распыления. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное резерфордское рассеяние. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия.

2.4. Фотоэлектронная эмиссия. Трехступенчатый механизм эмиссии.

2.5. Автоэлектронная, экзоэлектронная и взрывная эмиссия.

3. Вакуумная электроника

3.1. Формирование электронных пучков большой плотности. Пушка Пирса. Ограничение тока пространственным зарядом. Предельный ток нейтрализованных пучков – ток Пирса. Устойчивость пучков в дрейфовом пространстве, неустойчивости Пирса, диокотронная и токово-конвективная неустойчивости, слипинг-неустойчивость.

3.2. Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц. Черенковское, циклотронное (синхротронное) и ондуляторное излучения. Нормальный и аномальный эффекты Доплера. Томсоновское рассеяние.

3.3. Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны (ЛБВ), магнетроны, гиратроны, убитроны, виркаторы, лазеры на свободных электронах.

3.4. Релятивистские эффекты, умножение частоты, параметрические усилители и генераторы.

3.5. Волны пространственного заряда. Пространственная и энергетическая группировки потоков частиц. Нелинейные механизмы насыщения излучения – захват

частиц в волнах пространственного заряда, сдвиг резонансной частоты излучения. КПД СВЧ-источников излучения.

4. Электроника твердого тела

4.1. Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном). Полуклассическая модель динамики электрона в кристалле, границы применимости. Дырки как способ описания ансамбля электронов, свойства и законы движения дырок.

Энергетический спектр электрона в ограниченном кристалле. Условия локализации. Локализованные состояния Тамма. Поверхностные состояния Шокли.

Особенности энергетического спектра электронов в тонких пленках (квантовый размерный эффект).

Типы точечных дефектов в кристаллах. Акцепторные и донорные примеси в полупроводниках. Водородоподобная модель примесного центра.

Неупорядоченные системы – аморфные полупроводники. Понятие идеального аморфного твердого тела (идеального стекла). Случайная структура и случайное поле. Энергетический спектр неупорядоченных систем (без случайного поля и со случайным полем). Дефекты в аморфных материалах.

Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми – Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники. Уровень электрохимического потенциала и концентрация свободных и связанных носителей в вырожденных полупроводниках: в собственном, с одним типом примеси, в частично компенсированном. Явление компенсации.

4.2. Явления переноса заряда в твердом теле.

Интеграл столкновений. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Электропроводность в сильных электрических полях. Эффект Ганна. Классический и квантовый размерный эффекты в электропроводности.

Электропроводность в неупорядоченных системах. Прыжковая проводимость по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми (закон Мотта) и хвостах плотности состояний вблизи краев щели подвижности.

4.3. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках. Генерация и рекомбинация. Механизмы рекомбинации.

Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна. Плотность тока и градиент уровня Ферми. Уравнение непрерывности, анализ частных случаев локального возбуждения и инжекции.

4.4. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум.

Контакт металл – полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления.

Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции и экстракции неосновных носителей. Выпрямление и усиление с помощью p – n-переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n перехода. Туннельный эффект в p-n переходах.

Основные представления о полупроводниковых гетеропереходах, их применение.

4.5. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Поглощение и отражение электромагнитных волн свободными носителями заряда. Поглощение и излучение при оптических переходах зона – зона. Прямые и непрямые переходы. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные характеристики поглощения кристаллами.

Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры. Оптические свойства аморфных полупроводников. Фотоэффект в p-n переходах. Солнечные батареи. Преобразование электрических сигналов в световые.

4.6. Нанoeлектроника. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити и квантовые точки. Электронные состояния в наноструктурах. Транспортные явления в низкоразмерных системах. Оптические свойства наноструктур. Одноэлектронные явления в нанoeлектронных устройствах. Нанотехнология. Приборы нанoeлектроники.

5. Физические основы электроники поверхности и пленочной электроники

5.1. Энергетическая диаграмма реальной поверхности. Поверхностные состояния. Эффект поля и поверхностная проводимость. Влияние адсорбированных частиц на поверхностную проводимость. Полевые транзисторы.

5.2. Проблема микроминиатюризации элементов микроэлектроники. Полупроводниковые, пленочные и гибридные интегральные схемы. Фотолитография, рентгеновская и электронная литографии.

5.3. Особенности структуры пленок, связанные с характером зарождения.

5.4. Текстурированные и эпитаксиальные пленки. Структурные несовершенства.

5.5. Явления переноса в тонких металлических пленках. Дисперсные пленки. Сплошные пленки. Размерные эффекты в пленках.

5.6. Тонкие диэлектрические и полупроводниковые пленки. Диэлектрические потери.

5.7. Токопрохождение через диэлектрические слои. Туннелирование. Надбарьерная эмиссия электронов. Токи, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ).

5.8. Пленочные активные элементы. Использование неравновесных (горячих) электронов в металлических пленках. Активные элементы, основанные на использовании характеристик с отрицательным сопротивлением. Аналоговые триоды на основе ТОПЗ в диэлектриках. Пленочный полевой триод.

6. Методы анализа поверхности и тонких пленок

6.1. Методики определения плотности поверхностных состояний, основанные на эффекте поля (C-V метод и метод, основанный на изменении поверхностной проводимости).

6.2. Основы энергоанализа заряженных частиц. Основные типы энергоанализаторов. Методы регистрации частиц. Вторичный электронный умножитель. Детекторы для быстрых частиц (поверхностно-барьерный детектор).

6.3. Дифракция медленных и быстрых электронов (на просвет и отражение) как методы исследования структуры поверхности.

6.4. Электронная Оже-спектроскопия. Основное уравнение. Методы количественной Оже-спектроскопии.

6.5. Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС и УФЭС). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС или ЭСХА – электронная спектроскопия для химического анализа) и конструкции приборов. Химические сдвиги уровней. Количественная РФЭС.

6.6. Спектроскопия характеристических потерь энергии (СХПЭЭ). Конструкции приборов. Одночастичные и многочастичные возбуждения электронов в твердом теле. Количественная СХПЭЭ.

6.7. Растровая электронная микроскопия. Режимы работы. Особенности формирования контраста. Рентгеновский микроанализ. Конструкции растровых электронных микроскопов и микроанализаторов.

6.8. Туннельная и атомно-силовая микроскопия. Физические основы. Конструкция микроскопов. Применения.

6.9. Методы ионной спектроскопии. Масс-спектрометрия вторичных ионов (МСВИ). Стигматический и растровый режим МСВИ. Ионно-нейтрализационная спектроскопия. Обратное резерфордское рассеяние. Спектроскопия рассеяния ионов низких и средних энергий.

7. Функциональная электроника

7.1. Магнетоэлектроника. Цилиндрические магнитные домены. Магнитные запоминающие устройства: на ферритах и на тонких пленках.

7.2. Акустоэлектроника: взаимодействие электронов с длинноволновыми акустическими колебаниями решетки, акустоэлектрический эффект, усиление ультразвуковых волн. Акустоэлектрические явления на поверхностных волнах и их практические применения – малогабаритные линии задержки, усилители и генераторы электрических колебаний.

7.3. Молекулярная электроника. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах. Перспективы одномерных и квазиодномерных систем, структурная неустойчивость одномерных проводников, переходы Пайерлса и Мотта – Хаббарда. Электронные возбуждения в одномерных системах, солитонная проводимость. Фотопроводимость, нелинейные оптические свойства. Молекулярные полупроводники – полиацетилен и полидиацетилен: структура, свойства, легирование. Приборы молекулярной электроники.

7.4. Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, диэлектрики, полупроводники) при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Особенности туннелирования в условиях сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость. Свойства и параметры сверхпроводников с высокой T_c . Макроскопические квантовые эффекты сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Типы джозефсоновских переходов. Аналоговые устройства на эффектах Джозефсона. Стандарты напряжения, сквиды, приемные СВЧ-устройства.

7.5. Цифровые ячейки логики и памяти. Проблемы создания больших интегральных схем (БИС). Особенности электронных устройств на высокотемпературных сверхпроводниках.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Касьянов, А.О. Приборы и методы функциональной микроэлектроники : учебное пособие / А.О. Касьянов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2018. – 100 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=561068>
2. Абрикосов, А.А. Основы теории металлов : учебное пособие / А.А. Абрикосов. – 2-е изд., доп. и испр. – Москва : Физматлит, 2010. – 599 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=67590>
3. Игумнов, В.Н. Основы высокотемпературной криоэлектроники : учебное пособие / В.Н. Игумнов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 237 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271709>
4. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Дж. Голдстейн и др. Кн. 1, 2. М.: Мир, 1984.
5. Брудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. М.: Мир, 1985.
6. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Добрецов Л.Н., Гомаюнова М.В. Эмиссионная электроника. М.: Наука, 1966.
8. Епифанов Е.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. М.: Высш. шк., 1986.
9. Гусева М.Б., Дубинина Е.М. Физические основы твердотельной электроники. М.: Изд-во МГУ, 1986.
10. Аморфные полупроводники / Под ред. М. Бродски. М.: Мир, 1982.
11. Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках. М.: Мир, 1972.
12. Палатник Л.С., Папилов И.И. Эпитаксиальные пленки. М.: Наука, 1971.
13. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. М.: Мир, 1973.