

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

ПОСЛЕВУЗОВСКОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
(АСПИРАНТУРА)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

_____ Шелупанов А.А.

« ___ » _____ 2012 г.

ПРОГРАММА

Кандидатского экзамена

по специальности **05.27.02 – ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

КЭ А.03; цикл «Кандидатские экзамены» основной образовательной программы подготовки аспиранта по отрасли 05.00.00 – технические науки,

Присуждаемая ученая степень: кандидат наук

Форма обучения: очная/заочная

Руководитель ООП: Окс Е.М., д.т.н., профессор

Томск 2012 г.

Программа кандидатских экзаменов составлена на основании:

- Федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура), утвержденных приказом Минобрнауки России от 16.03.2011 № 1365;
- Паспорта научной специальности 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника;
- Программы – минимум кандидатского экзамена по научной специальности 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника.
- В соответствии с учебными планами очной/заочной формы обучения, утвержденными решением Ученого совета университета «27» июня 2012, протокол № 6.

Составители программы: Окс Е.М., д.т.н., профессор, зав. кафедры Физики факультета электронной техники (ФЭТ).

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры Физики протокол № _____ от _____ 2012 г.

Научный руководитель программы
аспирантской подготовки

Е.М. Окс

СОГЛАСОВАНО:

Зав. ОППО

И.А. Ярымова

Декан ФЭТ

А.И. Воронин

Зав. обеспечивающей кафедры Физики

Е.М. Окс

Разработчик

Е.М. Окс

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации КЭ.А.03 относится к циклу КЭ.А.00 – кандидатские экзамены и входит в состав исследовательской составляющей учебного плана подготовки аспирантов.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации КЭ.А.03 является формой отчетности по специальной дисциплине ОДА.03 «Вакуумная и плазменная электроника» и научной специальности 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника и дисциплинам ОДА.04 по выбору аспиранта «Физика пучков заряженных частиц», «Физические основы электронно-ионно-лучевых плазменных технологий»

Предметом кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации являются знания, умения и владения научной специальностью 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника в соответствии с формулой специальности:

Вакуумная и плазменная электроника – специальность, включающая следующие разделы науки и техники:

- исследования закономерностей взаимодействия свободных электронов и ионов с электромагнитными полями, создаваемыми в объемах вакуумных и газоразрядных приборов;
- методы получения и формирования потоков заряженных частиц (электронов и ионов) с целью создания таких приборов;
- прикладные вопросы физики разрядов в газе и вакууме применительно к созданию соответствующих приборов;
- создание новых и совершенствование существующих вакуумных и газоразрядных приборов, включая вопросы разработки научных основ, физических и технических принципов реализации и совершенствования указанных приборов и их основных компонентов;
- исследования и разработка технологии изготовления как приборов в целом, так и их основных узлов, специального оборудования, компонентов и материалов.

Отличие данной специальности в том, что основным ее содержанием являются научные и технические разработки в области физики, конструирования, технологии, измерения характеристик и испытания, связанные с решением проблем вакуумных и газоразрядных приборов различных типов.

Значение решения научных и технических проблем данной специальности для народного хозяйства состоит в создании новых и совершенствовании существующих приборов генерирования и преобразования электромагнитной энергии и их компонентов, улучшении функциональных и эксплуатационных характеристик и эффективности применения таких приборов.

А также областями исследований:

1. Экспериментальные и теоретические исследования физических явлений, происходящих при движении заряженных частиц (электронов, ионов) в вакууме и газе и их взаимодействии с постоянными и переменными электромагнитными полями, а также при эмиссии и адсорбции частиц на поверхностях и в объеме твердого тела с целью использования этих явлений для создания новых и совершенствования существующих вакуумных и газоразрядных приборов.

2. Теоретические и экспериментальные исследования и разработка методов расчета (включая методы анализа и оптимизации с использованием ЭВМ) различных типов вакуумных и газоразрядных приборов или отдельных их узлов и устройств с целью улучшения характеристик приборов.

3. Исследование и разработка новых конструкций приборов в целом или их отдельных узлов, а также совершенствование конструкций существующих вакуумных и газоразрядных приборов или их отдельных узлов с целью улучшения характеристик приборов.

4. Экспериментальные и теоретические исследования различных физических и химических процессов и явлений, происходящих в процессе изготовления и эксплуатации вакуумных и газоразрядных приборов, и создание математических методов оптимизации технологии изготовления таких приборов.

5. Экспериментальные и теоретические исследования процессов, происходящих при работе устройств, эмитирующих заряженные частицы, и устройств, которые бомбардируются заряженными частицами, и разработка соответствующих эмиттеров или коллекторов заряженных частиц, обеспечивающих улучшение параметров и характеристик приборов, особенно их долговечности и надежности.

6. Экспериментальные и теоретические исследования свойств материалов, используемых при изготовлении вакуумных и газоразрядных приборов, а также создание новых материалов с целью улучшения характеристик приборов.

7. Исследование характеристик новых или существующих технологических процессов, указанных в п. 4, 5 и создание нового специального оборудования и технологий, обеспечивающих повышение эффективности известных или осуществление новых прогрессивных процессов и производств.

8. Исследование специальных характеристик и параметров вакуумных и газоразрядных приборов в процессах разработки, изготовления и испытаний и разработка методик контроля и соответствующего нового или совершенствование существующего измерительного, тренировочного и испытательного оборудования, включая методы использования этого оборудования, повышающие эффективность соответствующих процессов и улучшающие качество приборов.

Программа кандидатского экзамена по специальности 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника предназначена для аспирантов (соискателей степени кандидата наук) в качестве руководящего учебно-методического документа для целенаправленной подготовки к сдаче кандидатского экзамена.

Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателя ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе. Сдача кандидатского экзамена по специальности обязательна для присуждения ученой степени кандидата наук.

Кандидатский экзамен по специальности 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника сдается в сроки, определенные учебным планом специальности.

Для проведения экзамена приказом ректора (проректора по науке) создается экзаменационная комиссия, которая формируется из высококвалифицированных научно-педагогических и научных кадров, включая научных руководителей аспирантов. Комиссия правомочна принимать кандидатский экзамен, если в ее заседании участвуют не менее двух специалистов по профилю принимаемого экзамена, в том числе один доктор наук. При приеме экзамена могут присутствовать члены соответствующего диссертационного совета организации, где принимается экзамен, ректор, проректор, декан, представители министерства или ведомства, которому подчинена организация.

Во время проведения экзамена соискателю ученой степени задаются вопросы по основной и дополнительной программам.

Кандидатский экзамен проводится по усмотрению экзаменационной комиссии по билетам или без билетов. Для подготовки ответа аспирант (соискатель ученой степени) использует экзаменационные листы, которые сохраняются после приема экзамена в течение года по месту сдачи экзамена.

На каждого соискателя ученой степени заполняется протокол приема кандидатского экзамена, в который вносятся вопросы билетов и вопросы, заданные соискателю членами комиссии.

Уровень знаний соискателя ученой степени оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Протокол приема кандидатского экзамена подписывается членами комиссии с указанием их ученой степени, ученого звания, занимаемой должности и специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников.

Протоколы заседаний экзаменационных комиссий после утверждения ректором (проректором по научной работе) ТУСУРа хранятся в отделе аспирантуры и докторантуры. О сдаче кандидатского экзамена выдается удостоверение установленной формы.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

І ЧАСТЬ. ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

05.27.02 – ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

по физико-математическим и техническим наукам

Введение

В основу настоящей программы положены следующие вузовские дисциплины: основы вакуумной электроники; физические основы электронной техники; электронные и ионные приборы; техника и приборы СВЧ; технология и автоматизация производства электровакуумных и газоразрядных приборов.

Программа является универсальной по физико-математическим и техническим наукам. При сдаче кандидатского минимума по физико-математическим наукам основное внимание следует уделять выявлению знаний соискателей по теоретическим аспектам рассматриваемых вопросов. При сдаче кандидатского минимума по техническим наукам – знанию технических и технологических аспектов решения конкретных задач и пониманию основных закономерностей теоретических вопросов.

Программа разработана МФТИ при участии ФГУП «НПП «Торий», ФГУП «НПО «Исток» и одобрена экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи .

1. Физические основы вакуумной и плазменной электроники

Кинетическая теория газов. Закон идеального газа. Число Авогадро. Скорость молекул. Закон распределения Максвелла—Больцмана. Свободный пробег молекул. Скорость испарения и давление пара. Теплопроводность газов при низких давлениях. Течение газов через трубы и отверстия.

Электрические явления в разреженных газах. Ионизация, возбуждение и рекомбинация газовых частиц. Эффективные сечения процессов. Движение заряженных частиц в газе.

Газовый разряд. Классификация типов газового разряда и отдельных его областей. Условия развития разряда. Кривые Пашена. Высокочастотный разряд. Явления в вакуумных и плазменных приборах. Взаимодействие электронов с твердыми телами. Рентгеновское излучение. Глубина проникновения электронов в твёрдое тело. Прохождение электронов сквозь тонкую фольгу. Взаимодействие ионов с твердыми телами. Катодное распыление твердых тел, его закономерности.

Эмиссионная электроника. Термоэлектронная эмиссия. Распределение термоэлектронов по скоростям. Вторичная, фотоэлектронная, автоэлектронная и экзоэлектронная эмиссии. Формулы описывающие основные виды эмиссии. Эмиссия электронов под действием положительных ионов и нейтральных атомов. Эмиссия электронов из плазмы. Взрывная эмиссия.

Катоды: термоэлектронные, автоэлектронные (полевые), фотоэлектронные, вторично-эмиссионные. Динамическое равновесие в катодах. Стабильность эмиссии и срок службы главных конструктивно-технологических вариантов катодов. Подогреватели и

процессы в них. Плазменные источники электронов. Плазменные источники ионов. Методы подавления термоэмиссии и вторичной электронной эмиссии.

Движение заряженных частиц в вакууме в электрических и магнитных полях. Движение при скорости, близкой к скорости света. Фокусирующее и расфокусирующее действие электростатических и магнитостатических полей.

Электродинамика. Уравнение Максвелла. Основные характеристики электромагнитного поля и среды.

Волноведущие системы и резонаторы в электронных приборах. Их основные свойства.

Замедляющие системы в электронных приборах (Спираль, Гребенка, Цепочка связанных резонаторов). Сопротивление связи. Дисперсионная характеристика. Полосы прозрачности и непрозрачности. Согласование замедляющих систем с волноводами. Возбуждение замедляющих систем. Автоматизированное проектирование электродинамических систем и устройств.

2. Электронные приборы и устройства, основанные на движении заряженных частиц в вакууме и газах

Электрорадиотехнические приборы (ЭВП). Приборы с электростатическим управлением. Токотокхождение в вакуумном промежутке. Плоский диод. Распределение потенциала. Прохождение предварительно ускоренных электронов в плоском промежутке. Минимум потенциала и виртуальный катод.

Сеточное управление. Триоды, тетроды, клистроны. Частотные ограничения и пути их преодоления. Основные свойства и характеристики приборов с электростатическим управлением. Вакуумные вентили. Дугогасительные вакуумные камеры.

Плазменные приборы (ПП). Принцип действия, конструкция и характеристики плазменных приборов. Приборы тлеющего разряда. Плазменные панели постоянного тока. Панели переменного тока. Водородные тиратроны. Игнитроны. Резонансные, сверхчастотные и искровые разрядники. Газовые лазеры и мазеры.

Устройства формирования и фокусировки интенсивных электронных потоков. Общие принципы формирования интенсивных электронных потоков.

Электронно-оптические системы (ЭОС), СВЧ приборов О- и М-типа.

Магнитные и электростатические фокусирующие системы. Магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС). Магнитная реверсивная фокусировка. Периодическая электростатическая (ПЭФ). Коллекторы. Коллекторы с рекуперацией.

Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) и фотоэлектронные приборы. Конструкция и характеристики электронно-лучевых приборов. Фокусирующие и отклоняющие системы ЭЛТ. Катодолюминесценция. Осциллографические трубки. Экраны осциллографических трубок. Запоминающие трубки. Функциональные трубки. Знаковые индикаторные трубки. Черно-белые и цветные кинескопы и дисплеи. Плазменные дисплеи, дисплеи с автокатадами. Передающие трубки. Электронно-оптические преобразователи. Основные типы фотоэлементов. Фотоэлектронные умножители. Рентгеновские трубки.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) электронные приборы. Методы анализа явлений в СВЧ приборах. Исходные уравнения поля и уравнения движения. Конвенционный ток, емкостный ток, наведённый ток,. Взаимодействие потока электронов с полем бегущей волны. Группировка электронов. Волны пространственного заряда. Метод заданного поля и метод заданного тока. Самосогласованные решения.

Конструкции и параметры СВЧ ЭВП. Основные типы СВЧ приборов, принцип действия, основные характеристики. Конструктивные особенности и характеристики приборов О-типа (ламп с бегущей волной, ламп с обратной волной – ЛОВ, клистронов) и приборов М – типа (магнетронов, амплитронов, ЛОВ). Гироскопы (гиротроны, гироскопы, гироскопы). Автоматизированное проектирование приборов СВЧ.

Шумы в электронных приборах. Происхождение и виды шумов в электронных приборах. Тепловой шум, дробовой шум, шум токораспределения, фликкер-шум. Эквивалентные шумовые сопротивления, шумовая температура, коэффициент шума. Методы уменьшения шумов.

Тепловые явления в электронных приборах. Основные источники тепла. Лучистый теплообмен в вакууме. Теплопередача через жидкостные и газовые среды. Свободная и принудительная конвекция. Теплопередача в условиях кипения. Теплопередача теплопроводностью. Стационарный тепловой режим деталей электронных приборов. Поверхностный нагрев. Импульсный нагрев. Время установления теплового режима. Методы автоматизированного проектирования устройств охлаждения в электронных приборах.

3. Материалы узлов и устройств вакуумных и плазменных приборов

Тугоплавкие металлы. Вольфрам, молибден, тантал и др. материалы и их сплавы. Рениевый эффект. Способы получения и очистки тугоплавких металлов и их сплавов. Зонная очистка тугоплавких металлов и сплавов. Их физические и химические свойства. Методы и приборы для контроля их качества. Применение тугоплавких металлов в вакуумной и плазменной электронике.

Благородные металлы. Платина, палладий, родий, осмий, золото, серебро и их сплавы. Применение благородных металлов и их сплавов в вакуумных и плазменных приборах.

Черные и цветные металлы. Никель, железо, медь. Сплавы и композиции черных и цветных металлов. Методы очистки и получения. Вакуумная плавка. Применение для изготовления деталей приборов, ограничения.

Железоницелеевокобальтовые, железоникелевохромистые и феррохромовые сплавы. Их применение в приборах.

Щелочные, щелочноземельные металлы. Их применение в вакуумных и газоразрядных приборах.

Оксиды щелочноземельных металлов. Применение их для электрофизических насосов.

Припои. Низкотемпературные и высокотемпературные припои. Требования к припоям.

Магнитные материалы. Магнитомягкие материалы. Ферриты. Кристаллические ферромагнетики.

Стекло. Состав, физико-химические свойства. Термическое расширение. Термостойкость. Электропроводность. Диэлектрические потери. Химическая устойчивость. Проницаемость для излучений. Газопроницаемость. Выбор стекла для различных условий применения. Обработка стекла. Ситаллы. Спаи стекла с металлами, оборудование для производства стекла. Оборудование для спаев стекла с металлами. Приборы для контроля качества спаев.

Керамика и другие изоляционные материалы. Виды керамики и изоляционных материалов, используемых в вакуумной и плазменной электронике. Алмаз, нитриды, лейкосапфир. Физико-химические свойства изоляционных материалов. Механические свойства. Термическое расширение. Теплопроводность. Удельное электрическое, объемное и поверхностное сопротивление. Диэлектрические свойства. Оптические свойства. Газопроницаемость. Спаи с металлами. Приборы для контроля физико-химических свойств. Оборудование и производство керамических деталей.

4. Вспомогательные материалы

Люминофоры. Методы и оборудование для их получения. Применение люминофоров для электронно-лучевых приборов, люминисцирующих экранов и источников света. Методы и оборудование для нанесения люминофоров на подложки.

Эластомеры. Применение эластомеров для герметизации вводов ЭВП и ПЛП.

Газы. Инертные газы. Получение и физические свойства газов. Применение инертных газов в технологии ЭВП и ПЛП. Методы очистки инертных газов.

Активные газы. Водород, азот, кислород и углекислый газ. Физические и химические свойства активных газов. Методы очистки и приборы для контроля чистоты газов. Применение газов в технологии ЭВП и ПЛП.

5. Технология вакуумных и плазменных приборов и специальное оборудование

Изготовление металлических деталей ЭВП и ПЛП. Изготовление деталей из волок, лент и прутков. Холодная штамповка, обточка, фрезерование, выдавливание, навивка спиралей. Смазки, применяемые при изготовлении деталей. Оборудование, приборы и инструмент, используемые при изготовлении деталей ЭВП. Способы и оборудование для обработки поверхности деталей. Травление, пескоструйная обработка, голтовка, полировка, карбоназация, осаждение покрытий из электролитов и из газовой среды. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Электрохимическая и анодно-механическая обработка. Отжиг для снятия механических напряжений.

Очистка деталей ЭВП и ПЛП. Виды загрязнений деталей ЭВП и ПЛП. Загрязнение деталей механическими частицами и методы борьбы с ними. Оборудование для очистки воздуха от аэрозолей. Приборы для контроля чистоты воздуха. Загрязнение деталей органическими и неорганическими веществами. Механизм влияния загрязнений на работоспособность ЭВП и ПЛП.

Интенсификация очистки ультразвуком. Очистка стекла и керамики. Оборудование и материалы, используемые для очистки деталей. Контроль солевых и органических загрязнений. Приборы для контроля.

Термические методы очистки деталей. Отжиг в вакууме, в восстановительных и инертных средах. Основные закономерности термического обезгаживания деталей. Влияние на очистку температуры, давления и чистоты газов. Оборудование для отжига деталей. Хранение очищенных деталей. Тара для хранения очищенных деталей.

Изготовление катодов и подогревателей. Способы и оборудование для нанесения эмиссионных и изоляционных покрытий на катоды и подогреватели. Изготовление тугоплавких пористых тел. Пропитка металлопористых катодов эмиссионными составами. Типы эмиссионных составов. Процессы карбидизации торированного вольфрама. Термодиффузионное соединение фольг из драгметаллов с активаторами с тугоплавкими основами. Заплавленные подогреватели. Контроль качества катодов и подогревателей.

Измерение температуры и эмиссионных характеристик катодов. Теплофизические явления в катодах.

Пленочные покрытия и оборудование для их получения. Методы нанесения тонких пленок на детали ЭВП и ПЛП. Термическое электронно-лучевое, магнетронное напыление. Подготовка поверхностей методом ионного травления. Газофазное нанесение пленок тугоплавких металлов. Нанесение металлизационных покрытий на керамические детали. Оборудование для изготовления разных типов пленок.

Методы соединения деталей. Контактная сварка. Аргонодуговая сварка. Электронно-лучевая сварка. Сварка с использованием лазеров. Термокомпрессионная сварка. Оборудование, используемое для различного вида сварок. Пайка деталей припоями. Многоступенчатая пайка. Пайка в вакууме, в защитных и восстановительных средах. Концентраторная пайка. Оборудование для пайки. Печи периодического и непрерывного действия. Критерии паяемости и свариваемости деталей. Методы и приборы для контроля герметичности сварных и паянных швов. Заварка приборов со стеклянной оболочкой.

Откачка ЭВП и ПЛП. Газы, выделяемые из деталей в процессе откачки. Способы и режим обработки катодов и оболочек приборов. Контроль процесса откачки. Особенности откачки приборов в молекулярном режиме. Откачное оборудование. Автоматы и откачные посты. Обслуживание откачного оборудования. Способы очистки вакуумных систем. Вредные последствия длительного и высокотемпературного обезгаживания ЭВП при откачке. Особенности откачки ПЛП и способы наполнения их газами.

Методы получения вакуума при помощи геттеров. Типы распыляемых и нераспыляемых геттеров. Сорбционные свойства геттеров. Расположение геттеров в приборах. Влияние типа геттера на параметры приборов. Способы активировки геттеров при откачке. Геттерные насосы, их особенности. Особенности откачки приборов, оснащенных встроенными геттерными насосами.

Тренировка ЭВП и ПЛП. Цель тренировки. Импульсные и статические режимы тренировок. Тренировки высоковольтных приборов. Оборудование для тренировки приборов.

Испытание ЭВП и ПЛП. Измерение параметров ЭВП и ПЛП. Механические испытания. Климатические испытания. Испытания на долговечность. Оборудование, применяемое для измерения электрических параметров ЭВП и ПЛП и испытания их на устойчивость к механическим и климатическим воздействиям.

II ЧАСТЬ. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

05.27.02 – ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Для каждого диссертанта предлагается своя программа-максимум кандидатского экзамена по специальности **Наименование специальности** в соответствии с его темой кандидатской диссертации и является дополнением к программе-минимум кандидатского экзамена по специальности **Наименование специальности**.

Индивидуальная Дополнительная программа разрабатывается научным руководителем соискателя и кафедрой (лабораторией, центром, институтом) на основании диссертационного исследования соискателя и должна быть представлена в отдел аспирантуры не менее, чем за 2 недели до даты сдачи кандидатского экзамена.

В дополнительной программе должны быть отражены последние научные достижения в области науки, в рамках которой проведено диссертационное исследование, использована новейшая научная отечественная и зарубежная литература, интернет-издания, а также справочно-информационные издания соответствующей тематики. Дополнительная программа должна соответствовать требованиям, предъявляемым к дополнительным программам в ТУСУРе.

Дополнительная программа обсуждается на заседании кафедры (лаборатории, центра, института) ТУСУРа, на которой разработана программа и выносится для утверждения на заседание Совета факультета.

Для соискателей ученой степени, не являющихся сотрудниками или аспирантами ТУСУРа, дополнительная программа обсуждается на заседании кафедры (лаборатории, центра, института) ТУСУРа, на которой ведется подготовка аспирантов по соответствующей научной специальности, и выносится для утверждения на заседание Совета факультета.

Дополнительная программа утверждается Советом факультета не менее, чем за 1 месяц до даты проведения кандидатского экзамена.

ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ. ПРИМЕРЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

Раздел 1. Физические основы вакуумной электроники

1. Энергетическая диаграмма на границе твердое тело – вакуум. Уровень Ферми и работа выхода электронов из металла, собственного полупроводника, донорного полупроводника, акцепторного полупроводника.

2. Условие выхода электрона из твердого тела в вакуум. Способы передачи связанному электрону необходимой для эмиссии энергии и виды эмиссии, соответствующие этим способам. Особенности эмиссии при наличии потенциального барьера конечной ширины.

3. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов. Формула Ричардсона-Дэшмана.

4. Ток насыщения термокатода. Вольтамперные характеристики вакуумного термоэмиссионного диода.

5. Эффект Шоттки. Влияние электрического поля на термоэлектронную эмиссию.

6. Влияние электрического поля на фотоэлектронную эмиссию.

7. Внешний и внутренний фотоэффект. Фотоэлектронная эмиссия. Законы внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна. Пороговая длина волны (красная граница). Влияние температуры и электрического поля на фотоэлектронную эмиссию.

8. Вторичная электрон–электронная эмиссия (ВЭЭ). Схема экспериментальной установки для исследования ВЭЭ. Функция распределения электронов по энергиям. Истинно вторичные, рассеянные (неупруго отраженные) и упруго отраженные электроны. Характеристические потери упруго отраженных электронов и электроны, эмитированные по механизму Оже.

9. Потенциальная вторичная ионно–электронная эмиссия. Потенциальная энергия на поверхности твердого тела при непосредственной близости иона. Оже–нейтрализация иона. Условие эмиссии электрона при нейтрализации иона.

10. Кинетическая вторичная ионно–электронная эмиссия. Ионно–ионная эмиссия. Катодное распыление. Доля ионов в распыленном материале (уравнение Саха для поверхностной ионизации).

11. Автоэлектронная эмиссия. Формула Фаулера–Нордгейма.

12. Определение параметров автоэлектронных катодов из экспериментальных данных; метод прямых Фаулера–Нордгейма; количественные оценки.

13. Влияние температуры на автоэлектронную эмиссию. Эффект Ноттингама. Температура инверсии.

14. Эмиссия электронов и ионов из плазмы.

15. Вакуумный пробой. Критерий начала пробоя. Катодные и анодные механизмы инициирования пробоя, условия их реализации.

16. Зависимость времени запаздывания пробоя от плотности тока в эмиссионном центре и от напряженности электрического поля на катоде при катодном механизме инициирования пробоя.

17. Плазмообразование в вакуумном промежутке. Взрывная электронная эмиссия. Катодное пятно. Эмиссионные процессы в катодном пятне.

Раздел 2. Физика газового разряда

1. Понятие сечений и констант элементарных процессов.

2. Закон сохранения энергии при элементарных процессах. Принцип детального равновесия.

3. Упругие соударения электронов с атомами.

4. Упругие соударения электронов с ионами.

5. Дрейфовое движение электронов в низкотемпературной плазме газового разряда.

6. Диффузионное движение электронов в низкотемпературной плазме газового разряда (Однополярная диффузия).

7. Диффузионное движение электронов в низкотемпературной плазме газового разряда (амбиполярная диффузия).

8. Виды процессов ионизации и возбуждения.

9. Константы скорости ионизации и возбуждения.

10. Каналы гибели возбужденных частиц в плазме. Удары второго рода.

11. Виды процессов рекомбинации электрона и иона.

12. Несамостоятельный ток при малой концентрации заряженных частиц в газе.

13. Несамостоятельный ток с ионизационным усилением. Вольтамперная характеристика разряда.

14. Коэффициент ударной ионизации и его зависимость от напряженности поля и давления газа.

15. Условие развития самостоятельного разряда. Закон Пашена для пробивных напряжений.

16. Вольтамперная характеристика разряда в газе в общем виде и место различных видов разрядов на вольтамперной характеристике.

17. Импульсный пробой в газе. Время запаздывания при импульсном пробое.

18. Методы наблюдения одиночной лавины.
19. Таунсендовский механизм пробоя.
20. Стримерный механизм пробоя.
21. Пробой сильно перенапряженных промежутков.
22. Импульсные объемные разряды.
23. Механизм перехода от объемного разряда к искровому.

Раздел 3. Физика низкотемпературной плазмы

1. Определение дебаевского радиуса, плазменной частоты, плазменного параметра, условий существования плазмы.
2. Виды плазмы, физические принципы классификации.
3. Упругие столкновения в плазме (транспортное сечение), время установления равновесных состояний.
4. Движение заряженных частиц в однородном электрическом и в однородном магнитном поле, неоднородном магнитном поле. Градиентный и центробежный дрейф.
5. Адиабатические инварианты движения заряженных частиц в медленно изменяющемся магнитном поле.
6. Процессы переноса в плазме. Проводимость, теплопроводность, диффузия амбиполярная, диффузия Бомовская.
7. Волны в холодной плазме без магнитного поля. Продольные волны, поперечные волны, эффект «отсечки».
8. Альфвеновские и магнитозвуковые волны.
9. Излучение в плазме. Тормозное излучение, рекомбинационное излучение, линейчатое излучение.
10. Верхнегибридные и нижнегибридные моды колебаний в плазме.
11. Классификация неустойчивостей в плазме. Двухпоточковая неустойчивость.
12. Гравитационная неустойчивость, переход к желобковой неустойчивости.
13. Кинетическое уравнение, самосогласованное поле, уравнение Власова.
14. Продольные волны с позиций уравнения Власова. Затухание Ландау, ионный звук.
15. Поперечные волны с позиций уравнения Власова. Аномальный скин-эффект
16. Решение кинетического уравнения при наличии магнитного поля. Циклотронный резонанс и циклотронное затухание.
17. Z-пинч. Токамак. Физические принципы удержания плазмы.
18. Энергетические принципы устойчивости в магнитной гидродинамике.
19. Физические модели плазмы. Проводящая сплошная среда.
20. Математические модели плазмы. Система уравнений сохранения. Кинетическое уравнение.
21. Численные методы применяемые в физике плазмы.
22. Особенности применения конечно-разностных методов к решению задач физики плазмы.
23. Возможности и пределы применимости метода частиц при решении задач физики плазмы.
24. Условия достаточные для сохранения адиабатической инвариантности.
25. Явление «вмороженности» магнитного поля в плазме.
26. Эффект убегающих электронов в плазме при наличии электрического поля.
27. Оценить плотность кулоновской энергии в плазме.
28. Получить уравнения гидродинамики из кинетического уравнения.
29. Поляризационный дрейф. Магнитное поле постоянно, электрическое поле изменяется во времени.
30. Дрейф в однородном магнитном поле и неоднородном электрическом поле.
31. Кулоновский логарифм. Определение и физический смысл пределов.
32. Понятие замагниченности заряженных частиц в плазме.
33. Стабилизация «сосисочной» неустойчивости внешним магнитным полем.

34. Диамагнитные свойства плазмы, оценка магнитной восприимчивости.
35. Ионизационное равновесие по Саха.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

3.1. Основная литература

1. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. Основы физики плазмы. – СПб.: Лань, 2011. – 2-е изд., испр. и доп. - ISBN 978-5-8114-1198-6. – 448 с. - Электронный ресурс. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1550
2. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – (5 экз.)

3.2. Дополнительная литература

1. Т.А. Ворончев, В.Д. Соболев. Физические основы электровакуумной техники. - М.: Высш. школа, 1967. (3 экз.).
2. Г. Ретер. Электронные лавины и пробой в газах. Пер. с англ., М., "Мир", 1968. (1 экз.).
3. Ю.Д. Королев, Г.А. Месяц. Физика импульсного пробоя газов, М., Наука, 1991. (4 экз.).
4. Л.А. Арцимович, Р.З. Сагдеев. Физика плазмы для физиков. - М.: Атомиздат, 1979. (1 экз.).
5. Крейнделъ Ю.Е. Плазменные источники электронов. М.: Атомиздат, 1977. - 144 с. (3 экз.).
6. Добрецов А.Н., Гомоюнова М.В., Эмиссионная электроника.- М.: Наука, 1966. (2 экз.).
7. Шимони К., Физическая электроника.- М.: Энергия, 1977. (17 экз.).
8. В.Л. Грановский. Электрический ток в газе. Установившийся ток. - М.: Наука, 1971. (5 экз.).
9. Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. (5 экз.).
10. А. Д. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. - М.: Атомиздат, 1964. (2 экз.).
11. Ф. Чен. Введение в физику плазмы. – М.: Мир, 1987. (2 экз.).