

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. ОПК ВК НГТУ



В.П. Драгунов

22 февраля 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

2.2.1 Вакуумная и плазменная электроника

Новосибирск 2022

Программа кандидатского экзамена

по специальности «Вакуумная и плазменная электроника»

Составители:

К.т.н., доцент, кафедра электронных приборов



А.Б. Беркин,

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой электронных приборов



В. А. Хрусталёв,

Программа кандидатского экзамена рассмотрена на заседании кафедры
«Электронные приборы» (протокол №1 от 27 января 2022 г).

Программа одобрена ученым советом факультета радиотехники и электроники
(протокол №2 от 16 февраля 2022 года).

Д.т.н., профессор, декан РЭФ,



С.А. Стрельцов

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

2.2.1 «Вакуумная и плазменная электроника»

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.

1. Физические основы вакуумной и плазменной электроники

Кинетическая теория газов. Основные газовые законы. Закон распределения Максвелла-Больцмана. Свободный пробег молекул. Скорость испарения и давление пара. Теплопроводность газов при низких давлениях. Течение газов через трубы и отверстия. Сорбционные процессы в вакууме.

Эмиссионная электроника. Работа выхода электрона из твердого тела. Термоэлектронная эмиссия. Вторичная, фотоэлектронная, автоэлектронная и взрывная эмиссии. Физическая природа эмиссионных процессов. Основные закономерности. Распределение эмитированных электронов по скоростям.. Эмиссия электронов под действием положительных ионов и нейтральных атомов. *Катоды:* термоэлектронные, автоэлектронные (полевые), фотоэлектронные, вторично-эмиссионные.. Стабильность эмиссии и срок службы основных типов катодов. Плазменные источники электронов. Плазменные источники ионов.

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. Электрические и магнитные линзы.

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

Газовый разряд. Классификация газовых разрядов. Пробой газа. Разряды постоянного тока тлеющий, искровой, коронный. Высокочастотный емкостной и индукционный разряды. СВЧ разряд.

Взаимодействие заряженных частиц с твердым телом. Глубина проникновения электронов и ионов в твердое тело. Ионное травление твердых тел, его закономерности.

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

Основные элементы СВЧ систем. Волноведущие системы и резонаторы. 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.

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

Электровакуумные приборы (ЭВП). Приборы с электростатическим управлением. Токопрохождение в вакуумном промежутке. Плоский диод. Триоды, тетроды. Частотные ограничения и пути их преодоления. Основные свойства и характеристики приборов с электростатическим управлением.

Вакуумные вентили. Дугогасительные вакуумные камеры.

Плазменные приборы (ППП). 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). Магнитные и электростатические фокусирующие системы. Магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС). Магнитная реверсивная фокусировка. Периодическая электростатическая (ПЭФ). Коллекторы. Коллекторы с рекуперацией. ЭОС СВЧ приборов О- и М-типа.

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).

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.

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

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

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.

Вспомогательные материалы. Люминофоры. 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.

4. Технология вакуумных и плазменных приборов и специальное оборудование

Изготовление металлических деталей ЭВП и ПЛП. Изготовление деталей из проволоки, 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. 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.

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.

Литература

Основная литература

1. Шешин Е. П. Вакуумные технологии : [учебное пособие]. – Долгопрудный : Интеллект , 2009. - 501с.
2. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника физико-технологические основы : учебное пособие для вузов по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника". - М. : Физматлит , 2006. – 423с.
3. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. -Долгопрудный : Интеллект , 2009. - 734с.
4. Розанов Л. Н. Вакуумная техника : учебник для вузов по специальности "Электронное машиностроение" направления подготовки "Электроника и микроэлектроника". - М. : Высшая школа , 2007. – 390с.
5. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок : [учебное пособие для вузов]. - СПб. [и др.] : Лань , 2008. – 399с.

Дополнительная литература

1. Киселёв А.Б. Металлооксидные катоды электронных приборов. М.: МФТИ, 2001.
2. Машиностроение. Энциклопедия, том III-8. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. М.: Машиностроение, 2000.
3. Фридрихов С.А., Мовнин С.М. Физические основы электронной техники – М.: Высшая школа, 1982.
4. Царёв Б.М. Расчёт и конструирование электронных ламп. М.: Энергия, 1967.

5. Технология тонких пленок: Справочник/ Под ред. Л.Майселла и Р.Глэнга; Пер.с англ. под.ред. М.И.Елинсона и Г.Г.Смолко. М.: Сов.радио, 1977. - т 1,2
6. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. - М.: радио и связь, 1986.
7. Термоэлектронные катоды / Г.А. Кудинцева и др. М.: Энергия, 1966.
8. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. 2-е изд. М.: Высш. шк. Т.1, 1970, Т.2, 1972.
9. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. М.: Госэнергоиздат. М.: Энергия, Т.1, 1962, Т.2, 1968, Т.3, 1969.
10. Черепнин Н.В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М.: Советское радио, 1966.
11. Вакуумно-плотная керамика и ее спай с металлами / В.Н. Батыгин и др. М.: Энергия, 1973.
12. Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М.: Советское радио, 1967.
13. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы. М.: Высшая школа, 1982.
14. Лебединский М.А. Технология электровакуумного производства. М-Л.: Госэнергоиздат, 1961.
15. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Советское радио, 1966.

Дополнительная программа

кандидатского экзамена по специальности

2.2.1 «Вакуумная и плазменная электроника»

1. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и отражение света. Фотопроводимость. Фотоэффект. Эмиссия света из полупроводников. Межзонная излучательная, безизлучательная и ударная рекомбинация. Катодо-, фото- и электролюминесценция. Излучательная рекомбинация. Когерентное излучение.
2. Фотоэлектронные приборы, Фотоприемники и солнечные батареи. Полупроводниковые фотоприемники. Принципы действия и характеристики.
3. Перспективы развития технологии ЭОП и приборов ночного видения. Классификация ЭОП и ПНВ. Основные характеристики ЭОП 2 и 3 поколений. ЭОП 4 поколения. Основные параметры приборов. Методика измерения параметров ЭОП.
4. Фотокатоды. Мультищелочные катоды. Катоды с отрицательным сродством. Технология получения, специфика эксплуатации, возможности расширения спектрального диапазона.
5. МКП. Принцип работы МКП. Технология получения. Параметры МКП и проблемы, связанные с их улучшением
5. Люминесцентные экраны. Альтернативные конструкции ЭОП и ПНВ 4 поколения с использованием ПЗС матриц
6. Основные задачи техники и технологии ЭОП на современном этапе. Перспективные разработки в области технологии ЭОП
7. Технология сборки ЭОП. Сверхвысоковакуумная линия сборки. Технологические требования к оборудованию. Основные операции на линии сборки ЭОП.
8. Методы получения сверхвысокого вакуума. Откачное оборудование и средства измерения СВВ.
9. Методы определения химического состава. Спектральный анализ. Атомно-адсорбционный анализ. Люминисцентный метод. Молекулярная спектроскопия. Электронный парамагнитный резонанс, ядерный парамагнитный резонанс. Нейтронно-активационный анализ. Метод радиоактивных индикаторов, Оже-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ, лазерная и вторично-ионная масс-спектроскопия.
10. Методы исследования наноструктур. Электронная микроскопия. Оптика ближнего поля. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.
11. Обеспечение и поддержание в чистых помещениях среды с заданными параметрами. Проблема привносимой дефектности при производстве ЭВП. Экологические аспекты технологии ЭВП. Принципы организации чистых производственных помещений. Создание средств технологической экологии при производстве ЭВП. Транспортные и грузозачные системы (подвижные работы, тунельно-трековые системы, системы со стандартным механическим интерфейсом (СМИФ)).
12. Образование и распространение аэрозольных частиц в технологических объемах. Механизм разрушения трущихся поверхностей и интенсивность генерации загрязняющих частиц узлами технологического оборудования. Перенос и диффузия аэрозольных частиц в среде.. Физико – химические аспекты подлета, осаждения и удержания аэрозольных частиц на поверхности.

Литература

Основная литература

1. Шешин Е. П. Вакуумные технологии : [учебное пособие] / Е. П. Шешин. - Долгопрудный, 2009
2. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. – СПб: Лань, 2008, 356с.
3. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – М., Техносфера, 2004, 590с.
4. Филачев А.М, Таубкин И.И, Тришенков М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. М., Физматгиз, 2005. – 384с.
5. Воронин В.И. Типовые узлы и механизмы электронного машиностроения: Учебное пособие / Конюшков Г.В., Воронин В.И., Лисовский С.М. Саратов, Ай Пи Эр Медиа, 2009, 80 с.

Дополнительная литература

6. Бертковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель И. Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. М.: Радио и связь, 1988, 227 с.
7. Волков В.Г. Приборы ночного видения новых поколений //Специальная техника, 2006
8. Бегучев В.П. ЭОП. Состояние и тенденции развития.//Прикладная физика, 1999, №2.
9. Бутслов М. Н., Степанов Б. М., Фанченко С. Д. Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях. -М.: Наука. 1978. 431 с.
10. Кулов С. К. Теоретические основы технологии микроканальных пластин. СКГТУ, Владикавказ, 1999 г. 156 с.
11. Сорбционные процессы в вакууме/Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1966
12. Раскин А.А., Картушина А.А., Баровский Н.В. Технология материалов электронной техники. М.: МИЭТ, 1999.
13. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. М.: Госэнергоиздат. М.: Энергия, Т.1, 1962, Т.2, 1968, Т.3, 1969.
14. Технология тонких пленок: Справочник/ Под ред. Л.Майселла и Р.Глэнга; Пер.с англ. под.ред. М.И.Елинсона и Г.Г.Смолко. М.: Сов.радио, 1977. - т 1,2

Правила выставления оценки на экзамене

При формировании оценки за экзамен учитываются три основных вопроса билета и дополнительные вопросы, формулируемые непосредственно в процессе ответа.

1. Оценка отлично – правильные и полные ответы на основные и дополнительные вопросы
2. Оценка хорошо – правильные ответы на основные вопросы. Неполные или неправильные ответы на дополнительные вопросы
3. Оценка удовлетворительно – неправильный ответ на один из основных вопросов и неполные ответы на дополнительные вопросы
4. Оценка не удовлетворительно – неправильный ответ на два основных вопроса