

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ИСТОК»  
ИМЕНИ А.И. ШОКИНА»

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. ген. директора –  
директор по научной работе  
\_\_\_\_\_ С.В. Щербаков

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

*Направление подготовки*

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (уровень подготовки  
кадров высшей квалификации)

*Направленность*

**05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника»**

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», на основе Программы-минимум кандидатского экзамена по специальности 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника» по техническим и физико-математическим наукам, разработанной Министерством образования и науки РФ.

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 электровакuumных и газоразрядных приборов».

Программа рассмотрена и рекомендована к использованию на заседании научно-экспертного совета (НЭС) АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2014 г.

Председатель НЭС,  
член диссертационного совета,  
д.т.н.

\_\_\_\_\_ М.И. Лопин

## 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

*Электроракуумные приборы (ЭВП).* Приборы с электростатическим управлением. Токпрохождение 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 автокатодами. 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). Гироприборы (гиротроны, гироЛБВ, гироклистроны). Автоматизированное проектирование приборов СВЧ.

*Шумы в электронных приборах.* Происхождение и виды шумов в электронных приборах. Тепловой шум, дробовой шум, шумы 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.

Железоникелевокобальтовые, 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 проволок, 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.

### **Основная литература**

Ворончев Т.А., Соболев В.Д. Физические основы электровакуумной техники. М.: Высш. шк., 1967.

Термоэлектронные катоды / Г.А. Кудинцева и др. М.: Энергия, 1966.

Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. 2-е изд. М.: Высш. шк. Т.1, 1970, Т.2, 1972.

Эспе В. Технология электровакуумных материалов. М.: Госэнергоиздат. М.: Энергия, Т.1, 1962, Т.2, 1968, Т.3, 1969.

Черепнин Н.В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М.: Советское радио, 1966.

Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами / В.Н. Батыгин и др. М.: Энергия, 1973.

Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М.: Советское радио, 1967.

Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы. М.: Высшая школа, 1982.

Царёв Б.М. Расчёт и конструирование электронных ламп. М.: Энергия, 1967.

Лебединский М.А. Технология электровакуумного производства. М-Л.: Госэнергоиздат, 1961.

Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Советское радио, 1966.

Вакуумные дуги. Теория и приложения / Под редакцией Дж. Лафферти. М.: Мир, 1982.

Киселёв А.Б. Металлооксидные катоды электронных приборов. М.: МФТИ, 2001.

Машиностроение. Энциклопедия, том III-8. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. М.: Машиностроение, 2000.

Гапонов А.В. и др. // Известия вузов, сер. Физика, том 2, № 3, с. 450—462, № 5, с. 836—874.

«Гиротрон» // сб. научных трудов 1981, 1983, 1985 гг. под ред. Гапонова-Грехова А.В.