

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

«ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

1. Автоэлектронная эмиссия. Условия возникновения эмиссии, состояние поверхности электродов. Потенциальный барьер на границе металл-вакуум. Работа выхода. Выражение для потенциальной функции. Влияние внешнего электрического поля, эффект Шоттки. «Туннельный эффект». Уравнение тока электронной эмиссии, функция Ферми, проницаемость потенциального барьера. Уравнение Фаулера-Нордгейма. Зависимость эмиссии от напряженности электрического поля и работы выхода.
2. Электронная эмиссия из тонких диэлектрических слоев на металлах. Эмиссия в присутствии сильного электрического поля, эффект Малтера. Вторичная эмиссия, усиленная электрическим полем. Самоподдерживающаяся эмиссия электронов в слоях диэлектриков. Механизмы возникновения. Эмиссия в структурах металл-диэлектрик-металл (МДМ).
3. Термоэлектронная эмиссия. Природа термоэлектронной эмиссии. Движение электронов в области потенциальной ямы на границе металл-вакуум. Поток электронов через поверхность. Эмиссионный ток насыщения. Формула Ричардсона-Дэшмана. Средняя кинетическая энергия термоэлектронов. Эмиссионная способность термокатодов. Эффективные термокатоды.
4. Вторичная электронная эмиссия. Коэффициент вторичной эмиссии. Зависимости коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов, материала электродов. Механизм взаимодействия первичных электронов с поверхностью. Составляющие коэффициента вторичной эмиссии. Распределение по энергии вторичных электронов.
5. Эмиссия электронов под действием ионов и нейтральных атомов. Потенциальная эмиссия. Зависимость коэффициента эмиссии от энергии первичных частиц. Условие возникновения ионно-электронной эмиссии, механизм взаимодействия иона с поверхностью металла, зависимость от работы выхода металла. Эмиссия, вызванная возбужденными атомами. Механизм потенциальной эмиссии, Оже-процесс. Кинетическая эмиссия, условия возникновения. Зависимость кинетической эмиссии от энергии первичных частиц, рода частиц. Особенности кинетической эмиссии, гипотезы механизма эмиссии.
6. Взрывная эмиссия электронов. Условия возникновения взрывного пробоя. Критическая плотность тока. Омический разогрев и эффект Ноттингама. Катодный факел, скорость расширения, состав плазмы. Расход материала катода, характер разрушений на поверхности катода.
7. Виды соударений электронов и ионов с атомами газа. Упругие и неупругие соударения. Соотношения энергий до и после взаимодействия. Удары первого и второго рода. Обмен энергиями взаимодействующих частиц, влияние на установление распределения температур. Энергия центра инерции, доля передаваемой энергии. Порог ионизации.
8. Эффективные сечения соударений. Понятие сечения взаимодействия. Способ определения общего сечения взаимодействия для электронов в газе (опыт Рамзауэра). Выражение для общего сечения. Данные по зависимостям общего сечения от энергии электронов. Сечения отдельных процессов – составляющие общего сечения. Сечение ионизации электронами, схема эксперимента, зависимости от энергии электронов. Сечения возбуждения электронами. Взаимодействие ионов с атомами и молекулами,

эффективные сечения процессов, зависимость от энергии. Соотношения вероятностей ионизации ионами и электронами.

9. Функция распределения электронов по скоростям. Условие нормировки. Виды распределения, частные случаи. Уравнение Больцмана, стационарное приближение. Учет изменения числа электронов вследствие соударений. Частный случай однородного распределения. Распределение Дривестейна. Распределение типа максвелловского. Электронная температура – мера средней энергии электронов. Общие подходы к определению макроскопических параметров газового разряда.
10. Ионизация в газе электронным ударом. Коэффициент ионизации Таунсенда α . Описание электронных лавин. Расчет коэффициента α , приближения теории, зависимости от поля E и давления p . Уточнение коэффициента ионизации с учетом функции распределения. Зависимость α от отношения E/p , ход зависимости, свойства.
11. Виды ионизации в газовом разряде и условия их протекания. Ионизация положительными ионами. Порог ионизации атомов и энергия ионизации. Влияние энергии ионов на сечение ионизации. Термическая ионизация. Формула Саха. Фотоионизация. Зависимость вероятности фотоионизации от частоты света. Ионизация в газе собственным излучением. Ионизация при ударах второго рода. Баланс энергий взаимодействующих частиц. Ионизация в смесях газов, эффект Пеннинга.
12. Рекомбинация заряженных частиц в газоразрядной плазме. Особенности рекомбинации иона и электрона, вероятность рекомбинации с излучением, другие вероятности сохранения баланса энергий. Рекомбинация ионов, влияние параметров газового разряда на вероятность процесса. Уравнения процессов рекомбинации, учет дополнительного образования заряженных частиц, изменение концентраций во времени. Рекомбинация на внутренних поверхностях разрядного промежутка.
13. Хаотическое и дрейфовое движения электронов и ионов. Дрейфовое движение заряженных частиц. Подвижность. Вывод выражения для подвижности, упрощающие допущения в механизме движения заряженных частиц. Учет поляризационных сил. Экспериментальные данные по подвижности ионов, зависимость. Подвижность и дрейфовая скорость электронов. Зависимость направленной скорости от E/p , сравнение с ионами.
14. Диффузия заряженных и нейтральных частиц. Свободная диффузия. Поток диффундирующих частиц, уравнение диффузии. Диффузионные токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия из плазмы на поверхность, амбиполярная диффузия. Скорости заряженных частиц вблизи нейтральной поверхности. Коэффициент амбиполярной диффузии.
15. Внешние и внутренние параметры электрических разрядов в газе. Внешние параметры, вольт-амперная характеристика, принцип измерения. Внутренние параметры, основы расчета, уравнение непрерывности. Диагностика внутренних параметров, основные задачи. Метод электронного зонда Томсона, схема измерений. Поле в прикатодной области, распределение Астона. Метод накаливаемого зонда, экспериментальная схема, зондовые характеристики.
16. Определение внутренних параметров газоразрядной плазмы методом холодного зонда (зонд Ленгмюра). Исследуемые параметры. Особенности конструкций зондов. Измерение вольт-амперной характеристики, схема измерений. Взаимодействие тела зонда с плазмой. Теория зонда, основные положения, зондовые токи. Обработка зондовых характеристик. Определение электронной температуры, концентрации, потенциалов плазмы и зонда.

17. Применение холодного зонда для нахождения функции распределения электронов. Ток электронов из плазмы на зонд, расчет полного тока. Вычисление функции распределения по потенциалу зонда. Графическое определение функции распределения электронов в плазме.
18. Законы подобия электрических разрядов в газе. Условие геометрического подобия. Условие физического подобия. Подобные разрядные промежутки. Преобразование параметров по законам подобия: давление, поле, плотность заряда, ток, время движения. Преобразование элементарных процессов, уравнение непрерывности, примеры преобразований.
19. Лавинный разряд. Условия формирования электронной лавины в газоразрядном промежутке. Расчет усиленного тока разряда. Зависимость тока разряда от координаты, составляющие тока. Случай неоднородного поля. Вольт-амперная характеристика лавинного разряда, области разряда.
20. Самостоятельный разряд и электрический пробой газа. Условие самостоятельности, механизм явления. Электрический пробой газа, расчет напряжения пробоя. «Кривая Пашена», параметры зависимости, ход зависимости и протекающие процессы в разрядном промежутке. Отступления от закона Пашена.
21. Тлеющий газовый разряд. Общая характеристика, параметры разряда. Процессы на катоде. Основные области тлеющего разряда. Распределение потенциала, поля и объемного заряда. Катодная часть, структура, значение катодной части. Положительный столб. Элементарные процессы в областях разряда. Зависимость напряжения на разряде от межэлектродного расстояния. Затруднённый разряд.
22. Теория катодной части тлеющего разряда в газе. Исходные положения построения модели процессов: поле у катода, ионизация, условие самостоятельности. Нахождение вольт-амперной характеристики тлеющего разряда. Обобщённая характеристика разряда, графическое представление, нестабильность левой ветви. Катодная область нормального тлеющего разряда, параметры.
23. Разновидности тлеющего разряда. Нормальный и аномальный тлеющий разряд, характеристика. Нормальное катодное падение потенциала, влияющие факторы, плотность тока. Переход к аномальному разряду, сопутствующие процессы в плазме и на катоде, зависимости. Тлеющий разряд с полым катодом, условия формирования, конфигурации катода. Механизм роста тока разряда.
24. Положительный столб тлеющего разряда. Модель положительного столба, исходные положения. Расчет градиента потенциала, распределение плотности зарядов, зависимость E/ρ от ρR . Виды положительного столба в разных условиях. Явления в анодной области тлеющего разряда. Анодное падение потенциала.
25. Дуговой разряд. Термоэлектронная дуга, условия возникновения, параметры. Переход тлеющего разряда в термоэлектронную дугу, зависимости параметров дуги от тока. Катодная область дуги, явления у катода, плотность тока, напряженность электрического поля у катода. Упрощённый баланс мощности катодного пятна.
26. Дуга с испаряющимся катодом. Процессы на катоде. Структура пятна дуги, ртутный катод, модель катодной области. Баланс мощностей на электродах дугового разряда. Общий баланс мощностей на катоде. Короткие дуги, баланс мощностей на аноде.
27. Несамостоятельный дуговой разряд. Виды дуг, процессы в катодной части. Вольт-амперная характеристика несамостоятельной дуги, процессы в дуговом разряде, несвободный режим. Режим низковольтной дуги, распределение поля в пространстве.

28. Положительный столб дуги, особенности формирования. Баланс энергии в столбе. Изотермическая плазма. Анодная область дуги, явления в анодной области, анодное падение потенциала.
29. Электрический пробой вакуумного промежутка. Условие возникновения вакуумного пробоя, предпробойные токи, поля в промежутках. Основные факторы вакуумного пробоя, расстояния, материалы и состояние поверхности, вакуумная среда.
30. Гипотезы механизма электрического пробоя вакуумного промежутка на постоянном токе. Термические процессы на электродах, условия электрического пробоя при обмене частицами, локальные энергетические процессы на электродах.
31. Высокочастотный электрический разряд в газе. Разновидности высокочастотного разряда. Движение заряженных частиц в зависимости от частоты электрического поля и давления газа, уравнения движения электрона, характер движения. Полный ток разряда, составляющие проводимости разряда. Максимум высокочастотной проводимости, собственная частота колебаний электронного газа.
32. Высокочастотный электрический пробой в газе. Условия высокочастотного пробоя, влияние частоты поля. Теории высокочастотного пробоя для разных давлений, критерии пробоя. Условие самостоятельности разряда, амплитуда поля при пробое. Сформировавшийся высокочастотный разряд.
33. Высокочастотный электрический разряд в вакууме. Мультипакторный разряд, условия возникновения разряда. Теория разряда, описание движения электронов, область существования разряда. Высокочастотный электрический пробой вакуумного промежутка, сопутствующие явления в промежутке.
34. Развитие газового разряда во времени. Источники начальных токов в газоразрядном промежутке. Запаздывание возникновения разряда, составляющие времени запаздывания и их соотношение, вероятность инициирования разряда. Статистический метод определения малых начальных токов.
35. Формирование электрического разряда в газе. Условия самостоятельности и нарастания тока разряда. Время формирования многолавинового разряда, влияющие факторы. Механизмы роста разрядного тока, лавинные процессы, роль фотонов.
36. Стримерный пробой газоразрядного промежутка. Механизм стримерного пробоя, виды стримеров, формирование и развитие стримеров. Искровой разряд в газе, условия образования, процессы в разряде.

ЛИТЕРАТУРА

1. 537.075/Ч68 Чистяков П.Н. Конспект лекций по физической электронике - Часть 1. М.:МИФИ, 1976, 116с.
2. 537.075/Ч68 Чистяков П.Н. Конспект лекций по физической электронике - Часть 2. Учебное пособие. М.:МИФИ, 1977, 92с.
3. 537.075/Ч68 Чистяков П.Н. Физическая электроника. Конспект лекций - Часть 3. Учебное пособие. М.:МИФИ, 1979, 62с.
4. 537/Л44 Лукашев А.А., Милованова Р.А., Шатохин В.Л. Лабораторный практикум по курсу «Физическая электроника»: Учебное пособие. М.:МИФИ, 1991г, 32с.
5. 537.8/Р18 Райзер Ю.П. Физика газового разряда: Учеб. руководство. М.:Наука,1987, 592с.
6. 537/С47 Сливков И.Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме. М.: Энергоатомиздат, 1986, 256с.