

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления
«210100.62 – Электроника и наноэлектроника»

Аксенов, Александр Иванович

Вакуумная и плазменная электроника = Вакуумная и плазменная электроника: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 210100.62 – Электроника и наноэлектроника / А.И. Аксенов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2013. - 15 с.

Целью преподавания дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» является подготовка специалистов к разработке, исследованию и эксплуатации приборов и устройств вакуумной и плазменной электроники на основе изучения студентами базовых физических принципов функционирования основных элементов вакуумной и плазменной электроники.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9);
- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по направления 210100.62 – «Электроника и наноэлектроника» по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2013 г.

ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления
210100.62 – «Электроника и наноэлектроника»

Разработчик
Доцент каф. ЭП
_____ А.И. Аксенов
«__» _____ 2013 г.

Содержание

Введение	5
Раздел 1 Электронная эмиссия	6
1.1 Содержание раздела	6
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
Раздел 2 Электронный поток	6
2.1 Содержание раздела	6
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
2.3 Вопросы для самопроверки	7
Раздел 3 Управление электронными потоками	7
3.1 Содержание раздела	7
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
3.3 Вопросы для самопроверки	7
Раздел 4 Элементарные процессы в плазме.....	7
4.1 Содержание раздела	7
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
4.3 Вопросы для самопроверки	8
Раздел 5 Основные свойства плазмы	8
5.1 Содержание раздела	8
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
5.3 Вопросы для самопроверки	8
Раздел 6 Методы измерений параметров плазмы.....	9
6.1 Содержание раздела	9
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
6.3 Вопросы для самопроверки	9
Раздел 7 Применение плазмы	9
7.1 Содержание раздела	9
7.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
7.3 Вопросы для самопроверки	10
8 Лабораторные работы	10
9 Практические занятия	11
10 Подготовка к контрольной работе.....	12
11 Темы для самостоятельного изучения	13
Заключение	13
Рекомендуемая литература	14

Введение

Цель: подготовка к разработке, исследованию и эксплуатации приборов и устройств вакуумной и плазменной электроники на основе изучения базовых физических принципов функционирования основных элементов вакуумной и плазменной электроники;

Задача: изучение явлений, происходящих при эмиссии электронов, протекании тока в газах, вакууме и твердом теле.

Место дисциплины в структуре ООП: базовая часть профессионального цикла дисциплин рабочих учебных планов для направления 210100.62 “Электроника и наноэлектроника”; предшествующая для дисциплин профессионального цикла: «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Основы технологии электронной компонентной базы»; изучению дисциплины предшествуют дисциплины математического, естественнонаучного и профессионального циклов образовательной программы бакалавриата по направлению 210100 — Электроника и наноэлектроника: «Математика», «Физика» и дисциплины профессионального цикла: «Материалы электронной техники», «Твердотельная электроника».

Дисциплина «Вакуумная и плазменная электроника» предшествующая для дисциплин профессионального цикла: «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Основы технологии электронной компонентной базы»;

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (**ПК-9**);

- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (**ПК-20**).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать основы физики вакуума, плазмы и твердого тела; принципы использования физических эффектов в вакууме и в плазме в приборах и устройствах вакуумной, плазменной электроники; конструкции, параметры и характеристики и методы моделирования приборов вакуумной и плазменной электроники;

уметь применять методы расчета параметров и характеристик приборов вакуумной и плазменной электроники; применять методы моделирования и проектирования приборов и устройств вакуумной и плазменной электроники; анализировать информацию о новых типах вакуумных и плазменных приборах;

владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов, приборов и устройств вакуумной и плазменной электроники; современными программными средствами моделирования и проектирования приборов вакуумной и плазменной электроники; методикой расчета основных узлов приборов вакуумной и плазменной электроники.

Раздел 1 Электронная эмиссия

1.1 Содержание раздела

Основы электронной теории твердого тела. Энергетические зоны в кристалле. Движение электронов в кристалле. Статистика электронов в твердом теле. Электропроводность металлов и полупроводников. Контактная разность потенциалов. Поверхностный потенциальный барьер. Эмиссия электронов из твердого тела.

1.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Электронная эмиссия» следует обратить внимание на общие понятия и на роль и место дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» в формировании специалиста.

Раздел 2 Электронный поток

2.1 Содержание раздела

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Электронный поток, его формирование и транспортировка, интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки, способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров.

Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии, способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия. Способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия (катодолюминесценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев). Примеры использования в приборах вакуумной электроники.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Электронный поток» следует обратить внимание на способы формирования электронного потока, его параметры и примеры использования в электронных приборах, конструкции электронных пушек, взаимодействие электронного потока с твердым телом

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные параметры электронного потока.
2. Как влияет электрическое поле на параметры электронного потока?
3. Как влияет магнитное поле на параметры электронного потока?
4. Приведите основные конструкции электронных прожекторов.

Раздел 3 Управление электронными потоками.

3.1 Содержание раздела

Управление электронными потоками. Электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов. Квазистатические и динамические способы управления. Примеры использования в приборах вакуумной электроники

3.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Управление электронными потоками» следует обратить внимание на конструкции электронных линз, систем ускорения и торможения электронного потока, применение электронных линз и систем ускорения в электронно-лучевых и фотоэлектронных приборах.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные типы и параметры электронных линз.
2. Назовите основные типы и параметры магнитных линз.
3. Назовите основные типы и параметры отклоняющих систем.
4. Приведите конструкции электронно-лучевых трубок.

Раздел 4 Элементарные процессы в плазме

4.1 Содержание раздела

Ионизованный газ и плазма. Элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях. Основные методы генерации плазмы. Модели для описания свойств плазмы. Эффективные сечения взаимодействия. Кулоновские столкновения. Неупругие столкновения в плазме первого и второго рода. Перезарядка. Рекомбинация заряженных частиц. Движение заряженных частиц в плазме. Дрейфовое и направленное движение заряженных частиц.

4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Элементарные процессы в плазме» следует обратить внимание на взаимодействие потоков заряженных частиц с молекулами газа, типы столкновений, взаимодействие заряженных частиц между собой, законы движения частиц в плазме.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое потенциал ионизации?
2. Что такое средняя длина свободного пробега заряженной частицы?
3. Назовите основные типы соударений.
4. Что такое плазма?
5. Параметры плазмы.

Раздел 5 Основные свойства плазмы

5.1 Содержание раздела

Типы газовых разрядов. Общие свойства плазмы. Радиус Дебая. Квазинейтральность плазмы. Классификация плазмы. Электропроводность плазмы. Явления переноса. Плазма в магнитном поле. Колебания. Неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы.

5.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Основные свойства плазмы» следует обратить внимание на типы газовых разрядов, их параметры и вольт-амперные характеристики, эмиссию заряженных частиц из плазмы, взаимодействие электрического и магнитного полей с плазмой.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое радиус Дебая?
2. Какая плазма считается квазинейтральной?
3. Назовите основные типы газовых разрядов.
4. Что такое плазменная граница?
5. Как влияет форма плазменной границы на формирование пучков заряженных частиц?

Раздел 6 Методы измерений параметров плазмы

6.1 Содержание раздела

Излучения плазмы. Методы ускорения плазменных потоков. Диагностика параметров плазмы. Зондовый метод диагностики. Одиночный зонд. Двойной зонд. Эмиссионный зонд. Методы СВЧ и лазерной диагностики плазмы

6.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Методы измерений параметров плазмы» следует обратить внимание на типы зондов, способы применения различных конструкций зондов для измерения параметров плазмы.

В результате изучения раздела студент приобретает:

- способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9);
- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

6.3 Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое одиночный зонд?
- 2 Что такое двойной зонд?
- 3 Что такое эмиссионный зонд?
- 4 Приведите основные конструкции зондов.

Раздел 7 Применение плазмы

7.1 Содержание раздела

Применение плазмы в электронике. Плазменные источники ионов газов и металлов. Плазменные источники электрометаллов. Плазменные генераторы и ускорители

7.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Применение плазмы» следует обратить внимание на типы конструкции и области применения источников заряженных частиц и плазменных генераторов.

7.3 Вопросы для самопроверки

1. Какие виды газовых разрядов используются в источниках заряженных частиц?
2. Назовите основные параметры разрядов.
3. Назовите способы стабилизации положения катодных пятен.
4. Приведите конструкцию и параметры Холловского ускорителя

8 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они уточняют порядок выполнения работы распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным, составленным по установленной форме, и содержать следующие разделы: наименование работы; цель работы; индивидуальное задание; применяемая аппаратура; ее описание (система, класс, цена давления и т.д.); краткое изложение методики, схемы опытов; таблицы данных измерений; итог обработки результатов и расчетные формулы; графики; анализ результатов и погрешностей; фрагмент конструкции соединения. Анализ результатов является важной частью отчета.

В результате проведения лабораторных работ студент приобретает способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9); способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Измерение контактной разности потенциалов.
2. Исследование термоэлектронной эмиссии.
3. Исследование вторичной электронной эмиссии.
4. Проверка закона подобия разрядов (закон Пашена).

9 Практические занятия

На практических занятиях студенты приобретают навык расчета параметров вакуумных и плазменных приборов, моделирования конструкций электронных прожекторов. Студентам предлагается оценка граничных условий применения соотношений, умение составления программ для расчетов, умение сравнивать полученные результаты с аналогами и достижениями в данной области.

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы.

На практических занятиях студент приобретает способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9); способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Термоэлектронная эмиссия.
2. Фотоэлектронная эмиссия.

3. Вторичная электронная эмиссия.
4. Автоэлектронная эмиссия.
5. Движение заряженных частиц в полях.
6. Расчет параметров плазмы тлеющего разряда.

На практических занятиях проводятся тестовые опросы и контрольные работы.

Методические указания по решению задач

Материал пособия должен помогать закреплению теоретических знаний, а также вырабатывать навык в решении практических вопросов и задач.

Прежде чем решить задачу или ответить на поставленный вопрос, надо понять их сущность, физический смысл заданных величин, вспомнить физические процессы, законы и соотношения, относящиеся к данному вопросу.

Все аналитические решения следует проводить, используя общеизвестные физические законы, физические постоянные и физические системы единиц. Сначала надо написать исходные формулы, сделать, если это необходимо, соответствующие преобразования, получить конечные формулы, а затем подставить в эти формулы числовые значения и найти результат. Помните, что все физические величины в формуле должны быть в одной системе единиц. Не забывайте в ответе давать размерность полученной величины.

Ход всех преобразований и вычислений должен быть четко показан в решении задачи. Вычисления, как правило, достаточно делать до третьего знака, а в ряде случаев и до второго.

Полученный в виде числа ответ надо постараться проверить каким-либо способом. Полезно обратиться к справочной литературе и сравнить полученную величину с известными подобными величинами в справочнике. Если отличие в несколько порядков, то ищите ошибку в своем решении.

Примеры решения типичных задач и задачи для самостоятельного решения приведены в [12].

10 Подготовка к контрольной работе

Студенты выполняют две контрольных работы. Контрольные работы проводятся по следующим темам:

1. Электронная эмиссия.
2. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях

При выполнении контрольной работы каждому студенту выдается индивидуальное задание, включающее в себя теоретическую часть (тестовый опрос) и три задачи, выбранные из предложенных задач для

самостоятельного решения (задачи представлены в методическом указании к практическим занятиям по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника»).

11 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижепредложенных тем.

1. Использование электронных потоков в приборах вакуумной электроники
 2. Управление электронными потоками.
 3. Ионизованный газ и плазма.
 4. Основные методы генерации плазмы.
 5. Типы газовых разрядов, явление переноса.
- Студент пишет реферат по выбранной теме.

Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Электронная эмиссия;
2. Основы электронной теории твердого тела;
3. Термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия;
4. Электронный поток,
5. Формирование и транспортировка электронных потоков;
6. Электронные пушки и прожекторы;
7. Примеры использования электронных пушек и прожекторов в приборах вакуумной электроники;
8. Электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов;
9. Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии;
10. Эффекты взаимодействия (катодолюминисценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев);
11. Ионизованный газ и плазма;
12. Основные методы генерации плазмы;
13. Типы газовых разрядов;
14. Эмиссионные свойства плазмы;
15. Диагностика параметров плазмы;
16. Применение плазмы в электронике.

Рекомендуемая литература

- 1 Аксенов А.И., Злобина А.Ф., Окс Е.М. Вакуумная и плазменная электроника. Учебное пособие. – Томск ; ТУСУР, 2007 – 164 с.
- 2 Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы : учебное пособие для вузов - СПб. : Лань, 2004. - 462 с
- 3 Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения: монография; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: Издательство научно-технической литературы, 2005. – 212 с.
- 4 Окс Е.М. Основы физики низкотемпературной плазмы. Методическое пособие. – Томск: ТУСУР, 1997. – 87 с.
- 5 Соболев В.Д. Физические основы электронной техники: Учебник для ВУЗов.- М.: Высшая школа, 1979. – 448 с.
- 6 Фридрихов С.А., Мовнин С.Н. Физические основы электронной техники: Учебник для ВУЗов.-М.: Высшая школа, 1982. – 608 с.
- 7 Царев Б.М. Расчет и конструирование электронных ламп: учебное пособие . - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Энергия, 1967. – 670 с
- 8 Аксенов А.И., Злобина А.Ф. Измерение контактной разности потенциалов. Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 19 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
- 9 Аксенов А.И., Злобина А.Ф. Исследование термоэлектронной эмиссии. Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 21 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
- 10 Аксенов А.И., Злобина А.Ф. Исследование вторичной электронной эмиссии. Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 12 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
- 11 Аксенов А.И., Злобина А.Ф. Проверка закона подобия разрядов (закон Пашена). Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 16 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
- 12 Аксенов А.И., Злобина А.Ф. Вакуумная и плазменная электроника: методические указания к практическим занятиям Томск: ТУСУР, 2013. – 38 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

Учебное пособие

Аксенов А.И.

Вакуумная и плазменная электроника

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40