

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 специальности
«Электронные приборы и устройства»

2012

Аксенов, Александр Иванович

Вакуумная и плазменная электроника = Вакуумная и плазменная электроника: методические указания по самостоятельной работе для студентов специальности «Электронные приборы и устройства» / 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, 2012. - 19 с.

Целью преподавания дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» является подготовка инженеров 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.

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по специальности «Электронные приборы и устройства» 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
«__» _____ 2012 г.

ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов специальности «Электронные приборы и устройства»

РАЗРАБОТЧИК
Доцент каф. ЭП
_____ А.И. Аксенов
_____ 2012 г

2012

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 6 |
| Раздел 1 Электронная эмиссия | 6 |
| 1.1 Содержание раздела | 6 |
| 1.2 Методические указания по изучению раздела..... | 6 |
| Раздел 2 Термоэлектронная эмиссия..... | 6 |
| 2.1 Содержание раздела..... | 6 |
| 2.2 Методические указания по изучению раздела..... | 6 |
| 2.3 Вопросы для самопроверки | 7 |
| Раздел 3 Фотоэлектронная эмиссия. Вторичная электронная эмиссия..... | 7 |
| 2.1 Содержание раздела..... | 7 |
| 2.2 Методические указания по изучению раздела..... | 7 |
| 2.3 Вопросы для самопроверки | 7 |
| Раздел 4 Автоэлектронная эмиссия. Взрывная эмиссия | 7 |
| 4.1 Содержание раздела..... | 7 |
| 4.2 Методические указания по изучению раздела..... | 8 |
| 4.3 Вопросы для самопроверки | 8 |
| Раздел 5 Электронный поток | 8 |
| 5.1 Содержание раздела..... | 8 |
| 5.2 Методические указания по изучению раздела..... | 8 |
| Раздел 6 Управление электронными потоками..... | 9 |
| 6.1 Содержание раздела..... | 9 |
| 6.2 Методические указания по изучению раздела..... | 9 |
| Раздел 7 Элементарные процессы в плазме | 9 |
| 7.1 Содержание раздела..... | 9 |
| 7.2 Методические указания по изучению раздела..... | 9 |
| Раздел 8 Основные свойства плазмы | 10 |
| 8.1 Содержание раздела..... | 10 |
| 8.2 Методические указания по изучению раздела..... | 10 |
| Раздел 9 Методы измерений параметров плазмы..... | 10 |
| 9.1 Содержание раздела..... | 10 |
| 9.2 Методические указания по изучению раздела..... | 10 |
| Раздел 10 Применение плазмы | 11 |
| 10.1 Содержание раздела..... | 11 |
| 10.2 Методические указания по изучению раздела..... | 11 |
| 11. Лабораторные занятия | 11 |
| 12. Практические занятия..... | 12 |
| Методические указания по решению задач..... | 13 |
| 13. Рекомендации по выполнению курсового проекта | 13 |
| 13.1 Цель и задачи курсового проектирования..... | 14 |
| 13.2 . Тематика курсовых проектов..... | 14 |
| 13.3 Структура курсового проекта | 15 |
| 13.4 Календарный график выполнения курсового проекта..... | 16 |
| 14. Темы для самостоятельного изучения | 16 |

| | |
|-------------------------|----|
| Заключение | 17 |
| Список литературы | 17 |

Введение

Целью преподавания дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» является подготовка инженеров 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.

Задачей дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» является изучение явлений, происходящих при эмиссии электронов, протекании тока в газах, вакууме и твердом теле. В курсе рассмотрены вопросы формирования и транспортировки электронных пучков, методы генерации и диагностики плазмы, а также применение ионно-плазменных устройств в технологических процессах.

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.

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 Термоэлектронная эмиссия

2.1 Содержание раздела

Термоэлектронная эмиссия металлов. Термоэлектронная эмиссия при наличии ускоряющего поля на поверхности металла. Пленочные термоэлектронные катоды. Оксидный катод и другие металлические термоэлектронные катоды.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Термоэлектронная эмиссия» следует обратить внимание на физические процессы эмиссии электронов из нагретых твердых тел, влияние внешнего электрического поля на эмиссию электронов из твердого тела, типы и параметры термокатодов, а также их применение в электронных приборах.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Запишите основное уравнение термоэлектронной эмиссии.
2. Что такое проникаемость потенциального барьера?
3. Что такое эффективная работа выхода?
4. Что такое критическая напряженность электрического поля?
5. Назовите типы термокатодов.
6. Назовите параметры термокатодов.
7. Опишите конструкцию оксидного катода.

Раздел 3 Фотоэлектронная эмиссия. Вторичная электронная эмиссия

2.1 Содержание раздела

Фотоэлектронная эмиссия металлов. Фотоэлектронная эмиссия полупроводников. Эффективные фотокатоды. Отражение электронов. Закономерности вторичной электронной эмиссии. Распределение электронов по энергиям. Эффективные эмиттеры вторичных электронов. Антидинаatronные покрытия.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Фотоэлектронная эмиссия, Вторичная эмиссия» следует обратить внимание на процессы передачи энергии фотонами и первичными электронами электронам кристаллической решетки, основным законам фотоэлектронной и вторичной эмиссии, типам и параметрам катодов, а также применению их в электронных приборах.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Какой процесс называется фотоэлектронная эмиссия?
2. Основные типы соударений
3. Что такое вторичная эмиссия?
4. Что такое «красная граница» фотоэффекта?
5. Что такое полный пробег электрона?
6. Опишите распределение вторичных электронов по энергиям.

Раздел 4 Автоэлектронная эмиссия. Взрывная эмиссия

4.1 Содержание раздела

Автоэлектронная эмиссия металлов. Автоэлектронная эмиссия полупроводников. Взрывная эмиссия металлов. Взрывная эмиссия полупроводников.

4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Автоэлектронная эмиссия. Взрывная эмиссия» следует обратить внимание на влияние внешнего электрического поля на высоту потенциального барьера, образование катодных пятен, распределение эмитированных электронов по энергиям, конструкциям и параметрам катодов, а также применению их в электронных приборах.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Объясните процесс уменьшения величины потенциального барьера при наложении внешнего электрического поля.
2. Назовите характерные величины критической напряженности внешнего электрического.
3. Опишите основные конструкции катодов, а также области их применения.

Раздел 5 Электронный поток

5.1 Содержание раздела

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 (катодоллюминесценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев). Примеры использования в приборах вакуумной электроники.

5.2 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.

5.3 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 6 Управление электронными потоками

6.1 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

6.2 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.

6.3 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 7 Элементарные процессы в плазме

7.1 Содержание раздела

Ионизованный газ и плазма. Элементарные процессы в плазме и на ограниченных поверхностях. Основные методы генерации плазмы. Модели 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.

7.2 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.

7.3 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 8 Основные свойства плазмы

8.1 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.

8.2 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.

8.3 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 9 Методы измерений параметров плазмы

9.1 Содержание раздела

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

9.2 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.

9.3 Вопросы для самопроверки

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

Раздел 10 Применение плазмы

10.1 Содержание раздела

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

10.2 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.

10.3 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.

11 Лабораторные занятия

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.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

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

12 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. 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. Зондовая диагностика.

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 своем решении.

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

13 Рекомендации по выполнению курсового проекта

В настоящее время электронные пучки широко используются в различных промышленных технологических установках для нагрева, сварки, плавки, размерной обработки, распыления и физических исследований. Одним из основных элементов электронных пушек является источник электронов – катод. Существует большое количество различных типов

катодов, отличающимися друг от друга используемыми материалами, структурой активного слоя, температурным режимом и способом нагрева.

Сравнение катодов и их эксплуатационных данных ведут по таким параметрам, как удельная эмиссия, удельная мощность накала, эффективность и долговечность (срок службы).

13.1 Цель и задачи курсового проектирования

Курсовая работа является заключительным этапом изучением студентами курса «Вакуумная и плазменная электроника».

Целью курсовой работы является:

- 1) расширение теоретических и практических знаний по данному курсу;
- 2) применение полученных знаний для решения конкретных технологических задач;
- 3) развитие навыков самостоятельной работы при проектировании конкретных устройств;
- 4) освоение методов расчета и проектирования с применением вычислительной техники;
- 5) получение навыков патентного поиска и работы с научно – технической литературой.

Курсовая работа должна отражать достижения современной науки и техники, а принятые технические решения должны быть рациональными в технико-экономическом отношении.

Самостоятельный расчет данной курсовой работы облегчает выполнение курсового проекта по курсу «Вакуумные и плазменные приборы» и является важным этапом в формировании специалиста в области электронной техники.

13.2 Тематика курсовых проектов

Курсовая работа по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника» посвящена большому разделу курса – эмиссионная электроника. Студентам предлагается широкий спектр тем по разработке катодных узлов для электроннолучевых установок технологического назначения.

Темы курсовых работ должны удовлетворять следующим критериям:

- 1) катодный узел должен быть рассчитан и спроектирован для определенного технологического устройства;
- 2) катодный узел должен быть функционально законченным и иметь самостоятельное эксплуатационное значение;
- 3) проектируемое устройство должно отвечать современным требованиям вакуумной техники;
- 4) катодный узел должен иметь такую компоновку, которая позволяла бы быструю замену вышедших из строя деталей.

Варианты заданий курсовых работ

Вариант №1

Рассчитать и спроектировать катодный узел.

Исходные данные к проекту:

- 1 Ток эмиссии - 400мА ;
- 2 Материал катода – вольфрам;
- 3 Режим работы – непрерывный.

Вариант №2

Рассчитать и спроектировать катодный узел.

Исходные данные к проекту:

- 1 Ток эмиссии - 1А ;
- 2 Материал катода – оксид;
- 3 Режим работы – непрерывный.

Вариант №3

Рассчитать и спроектировать катодный узел.

Исходные данные к проекту:

- 1 Ток эмиссии - 15А ;
- 2 Материал катода – LaB_6 ;
- 3 Режим работы – импульсный.

13.3 Структура курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и сборочного чертежа разработанного устройства. Пояснительная записка должна включать в указанной ниже последовательности следующие документы:

- 1) титульный лист;
- 2) реферат;
- 3) задание;
- 4) содержание;
- 5) введение
- 6) основную часть;
- 7) заключение;
- 8) список использованных источников;
- 9) приложения.

Общие требования к написанию и оформлению пояснительной записки и чертежей подробно изложены в образовательном стандарте ОС ТАСУР 6.1 - 97.

13.4 Календарный график выполнения курсового проекта

Календарный график предназначен для рационального распределения времени студента в период курсового проектирования, самоконтроля студентом результатов своей работы и контроля хода проектирования руководителем. График составляется руководителем совместно со студентом. Продолжительность курсового проектирования определяется учебным планом и составляет три месяца. Для компенсации непредвиденных затрат времени при составлении календарного графика необходимо предусмотреть резерв времени 5 - 7 дней раньше указанного срока.

Для достижения этого резерва времени необходимо:

- а) завести рабочую тетрадь, в которой отражать работу с литературой, патентами, а также зарисовать схемы, вести расчеты и другие сведения;
- б) систематически, ежедневно, работать над темой проекта.

13.5 Примерный график выполнения курсового проекта

| Недели | Наименование этапа | Объём, % |
|--------|--|----------|
| 3 | Подбор и изучение литературы. Составление обзора по литературным источникам. | 10 |
| 9 | Расчет идеального катода. | 30 |
| 12 | Расчет реального катода. | 20 |
| 15 | Разработка и компоновка сборочного чертежа катодного узла. | 20 |
| 16 | Обзор способ увеличения эмиссии. | 10 |
| 18 | Написание пояснительной записки. Сдача проекта на проверку. | 10 |

Методические материалы для выполнения курсового проекта изложены в [12].

14 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 защищает реферат, по выбранной теме, на практическом занятии.

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.

Список литературы

1. Основы физики плазмы: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. - СПб.: Издательство «Лань», 2011. - 448 с. ISBN 978-5-8114-1198-6. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1550
2. Рожанский В. А. Теория плазмы: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань». – 2012. – 320 с.: ил. – ISBN 978-5-8114-1233-4 Режим доступа http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2769
3. Кудрявцев А.А., Смирнов А.С., Цендин Л.Д. Физика тлеющего разряда: Учебное пособие. 1-е изд.— СПб.: Издательство «Лань». — 2010. — 512 с.: ил. ISBN 978-5-8114-1037-8 Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=552

4. Аксенов А.И., Злобина А.Ф., Окс Е.М. Вакуумная и плазменная электроника. Учебное пособие. – Томск ; ТУСУР, 2007 – 164 с.
5. 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.
6. Окс Е.М. Основы физики низкотемпературной плазмы. Методическое пособие. – Томск: ТУСУР, 1997. 87 с.
7. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники: Учебник для ВУЗов.- М.: Высшая школа, 1979. – 448 с.
8. Сушков А.Д.. Вакуумная электроника. Физико-технические основы : учебное пособие для вузов - СПб. : Лань, 2004. - 462 с.
9. Фридрихов С.А., Мовнин С.Н. Физические основы электронной техники: Учебник для ВУЗов .-М.: Высшая школа, 1982. – 608 с.
10. Царев Б.М. Расчет и конструирование электронных ламп : учебное пособие . - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Энергия, 1967. – 670 с
11. Аксенов А.И., Злобина А.Ф. Вакуумная и плазменная электроника: Методические указания к лабораторным работам; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 66 с.
12. Злобина А.Ф. Вакуумная и плазменная электроника: методические указания к курсовому проекту; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007.-70 с., (УМП для практических занятий).
13. Злобина А.Ф., Шангин А.С. Вакуумная, плазменная, квантовая и оптическая электроника: Учебное методическое пособие; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТМЦДО, 2004. - 20 с.

Учебное пособие

Аксенов А.И.

Вакуумная и плазменная электроника

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов специальности «Электронные приборы и устройства»

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