



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВПО «ИГУ»
Кафедра общей и космической физики

Кафедра общей и космической физики



УТВЕРЖДАЮ

2013 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля) Вакуумная и плазменная электроника

Код дисциплины БЗ.Б.10

Рекомендуется для направления (ий) подготовки специальности (ей)
210100.62 – «Электроника и нанoeлектроника» профиль «Материалы и компоненты твердотельной электроники»

Степень (квалификация) выпускника бакалавр

Согласовано с УМК факультета (института)

Протокол № от «30» 12. 12 2013 г.
Председатель _____

Рекомендовано кафедрой:
электроники твёрдого тела

Протокол № 4
От «12» 12 2013 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н. А.А. Гаврилюк _____

Иркутск 2013 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)	5
5. Содержание дисциплины (модуля)	6
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	6
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами	7
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	7
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):	8
<i>а) основная литературы:</i>	8
<i>б) дополнительная литература:</i>	8
<i>в) программное обеспечение:</i>	9
<i>г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:</i>	9
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):	9
10. Образовательные технологии:	9
11. Оценочные средства (ОС)	9
11.1. Оценочные средства для входного контроля	9
11.2. Оценочные средства текущего контроля	9
11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации	10

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ГОС по специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и предназначена для обеспечения курса «Вакуумная и плазменная электроника», изучаемого студентами в течение седьмого семестра.

Цель курса – дать студентам целостное представление о поведении заряженных частиц в вакууме и плазме в рамках существующих естественнонаучных представлений; способствовать развитию их интеллектуальных, творческих способностей и критического мышления в ходе проведения исследований, анализа явлений, восприятия и интерпретации информации.

Для достижения данной цели были поставлены **задачи**:

- изучить основные понятия вакуумной и плазменной электроники, закономерности процессов токопереноса, протекающих в вакууме и плазме, а также современные теоретические представления о механизмах этих явлений;
- показать действие фундаментальных физических законов в процессах вакуумной и плазменной электроники;
- изучить физические методы исследований объектов вакуумной и плазменной электроники;
- познакомиться с современными проблемами вакуумной и плазменной электроники

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Курс вакуумной и плазменной электроники относится к базовой части цикла профессиональных дисциплин. При изучении данного курса используются разделы и темы различных дисциплин естественнонаучного цикла:

- физика (молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, волновая оптика, атомная и ядерная физика, статистическая и квантовая физика, физика плазмы, физика элементарных частиц, теория относительности);
- высшая математика (дифференциальное и интегральное исчисление, методы математической физики);

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

В Федеральном компоненте ГОС подготовки бакалавра по направлению 210100.62 «Электроника и нанoeлектроника» (профиль «Материалы и компоненты твердотельной электроники») содержится ряд требования к результатам освоения дисциплины.

Выпускник должен обладать следующими **общекультурными компетенциями (ОК)**:

- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-11);
- способностью работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-13);
- способностью владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ОК-15);

Выпускник должен обладать следующими **профессиональными компетенциями (ОК)**:

- готовностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);
- готовностью осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-12);
- способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

В результате изучения курса вакуумной и плазменной электроники студенты должны **знать**

- основы физики вакуума, плазмы и твёрдого тела;
- принципы использования физических эффектов в вакууме, плазме и в твёрдом теле в приборах и устройствах вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники;
- их конструкции параметры и характеристики и методы их моделирования.

А также знать:

- общие сведения о механизмах образования заряженных частиц, процессах переноса заряда в вакууме и плазме, способах управления потоками заряженных частиц и плазмы
- основные теоретические представления современной физики газового разряда и сильноионизованной плазмы
- физические законы, лежащие в основе современных методов исследований физики пучков заряженных частиц и плазмы.

Студенты должны **иметь представление** о современных проблемах физики плазменных разрядов разных типов

уметь

- применять методы и средства измерения физических величин;
- применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования приборов и устройств вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники и наноэлектроники;
- производить оценку параметров пучков заряженных частиц и плазмы для данных экспериментальных условий,
- пользоваться современным аппаратом теоретических представлений о процессах, протекающих в плазменных структурах,
- проводить простейшие измерения параметров различных устройств вакуумной и плазменной электроники;

владеть

- методами обработки и оценки погрешностей результата измерений;
- методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов, приборов и устройств вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники и наноэлектроники, современными программными средствами их проектирования и моделирования.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		7			
Аудиторные занятия (всего)	63	63			
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции	30	30			
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)	30	30			
КСР	3	3			
Самостоятельная работа (всего)	54	54			
В том числе:	-	-	-	-	-
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)	10	10			
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Подготовка отчётов по лаб. работам	44	44			

Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	27	27			
Общая трудоемкость	144	144			
часы					
зачетные единицы	4	4			

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Раздел 1. Вакуумная электроника

1.1. Эмиссия заряженных частиц из поверхности твердого тела

- Основы электронной теории твердого тела.
- Природа сил, препятствующих выходу электронов из катода. Потенциальный барьер. Работа выхода.
- Термоэлектронная эмиссия: основной закон (формула Ричардсона – Дэшмана), эффект Шоттки, дробовой эффект.
- Автоэлектронная эмиссия: основной закон (формула Фаулера-Нордгейма), условия его реализации.
- Вторично-электронная и фотоэлектронная эмиссия: основные характеристики, области применения.
- Взрывная эмиссия, характеристики микровыступов на поверхности катода, вакуумный пробой, переход от АЭЭ к ВЭ.

1.2. Движение электронного потока в вакууме

- Движение заряженных частиц в однородном электрическом и магнитном полях. Виды траекторий, дрейф в скрещенных полях.
- Отклонение и фокусировка потока заряженных частиц в однородных полях. Электрические и магнитные линзы, основные параметры, построение изображения, матричная техника.
- Электронный пучок, ограниченный объемным зарядом (закон Чайльда – Ленгмюра).
- Формирование слаботочных электронных пучков: принципы, электростатические электронные линзы и прожекторы.
- Формирование сильноточных электронных пучков. Метод прямолинейной оптики. Пушки Пирса. Распределение потенциала в пучке. Виртуальный катод, условие возникновения, влияние на параметры пучка.
- Динамическое управление электронным потоком, фазовая фокусировка.

1.3. Преобразование энергии электронного пучка в электромагнитное излучение. Типы преобразующих устройств. Устройства на объемных резонаторах. СВЧ- генерация, приборы вакуумной СВЧ электроники: магнетрон, клистрон.

Раздел 2. Плазменная электроника

2.1. Ионизованный газ и плазма. Основные понятия

- Квазинейтральность, дебаевское экранирование, степень ионизации, уравнение ионизационного равновесия (формула Саха).
- Элементарные процессы в плазме: кулоновские столкновения, возбуждение и ионизация атомов, упругие и неупругие столкновения, каналы энергопотерь.
- Движение заряженных частиц в неоднородном магнитном поле. Дрейфовое приближение, виды дрейфа. Пример дрейфа: пробочная ловушка.

2.2. Газовые разряды

- Возникновение самостоятельного газового разряда: теория Таунсенда, критерий пробоя, кривые Пашена, вакуумный пробой, искровой пробой.

- Тлеющий разряд в условиях правой ветви кривой Пашена: прикатодная область, положительный столб. ВЧ- разряд.
- Явления переноса в тлеющем разряде: проводимость слабоионизованной плазмы, диффузия, амбиполярная диффузия и подвижность заряженных частиц, электронная теплопроводность.

2.3. Сильноионизованная плазма.

- Плазма в магнитном поле. Закон Ома в магнитном поле, основные уравнения магнитной гидродинамики. Простейшие случаи решения МГД уравнений.
- Кинетическое описание плазмы: функция распределения, кинетическое уравнение, учет столкновений, переход к гидродинамике.

2.4. Излучение плазмы: тормозное, рекомбинационное, линейчатое. Простейшие излучательные модели: ЛТР, корональная

2.5. Источники плазменных потоков

- Ускорители с замкнутым дрейфом электронов: механизм ускорения, основные параметры, приложения.
- Вакуумно-дуговые ускорители металлической плазмы: механизм ускорения, основные параметры, приложения.
- Магнетронный разряд: механизм генерации, параметры потока.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспе-чиваемых (последую-щих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Физика	Все
2.	Высшая математика	Все

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					Всего
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	
1.	Вакуумная электроника	Эмиссия заряженных частиц из поверхности твердого тела	4			4	8	16
2.	Вакуумная электроника	Движение электронного потока в вакууме	4			4	8	16
3.	Вакуумная электроника	Преобразование энергии электронного пучка в электромагнитное излучение	2			6	4	12
4	Плазменная электроника	Ионизованный газ и плазма. Основные понятия	6			6	8	20
5	Плазменная электроника	Газовые разряды	6			4	8	18
6	Плазменная электроника	Сильноионизованная плазма	4			2	6	12
7	Плазменная электроника	Излучение плазмы	2			2	6	10
8	Плазменная электроника	Источники плазменных потоков	2			2	6	10

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства*	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	2.2, 2.5	Исследование тлеющего разряда	6	собесед.	ОК11
2.	2.2	Изучение токопереноса в вакуумном диоде	6	собесед.	ОК13
3.	1.1.	Изучение термоэлектронной эмиссии	4	собесед.	ОК15
4	1.2	Движение заряженных частиц в скрещенных полях	4	собесед.	ПК3 ПК12
5	2.2, 2.5	Исследование плазмы высокочастотного разряда	6	собесед.	ПК15
6	2.1, 2.5	Моделирование движения электронов в электрическом и магнитном полях	4	собесед.	ПК19 ПК23

Контроль знаний проводится во время защиты студентами своих отчетов по лабораторным работам.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовых работ и проектов не планируется.

Основные темы рефератов:

- Функционирование центра эмиссии на поверхности катод
- Формирование нестационарной потенциальной ямы во фронте расширяющегося в вакуум плазменного факела
- Фокусирующие свойства «тонких» плазменных линз

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

В программе определена последовательность изучения учебного материала, а содержание представлено в виде восьми блоков – разделов, отражающих *целостность* курса и *внутренние связи* учебного материала в курсе. Часть материала, касающаяся вопросов 2-й части курса методически поддерживается Учебным пособием, изданным с участием автора.

а) *основная литература:*

1. Сушков, А.Д. Вакуумная электроника: физико-технические основы: Учебное пособие / А. Д. Сушков. – СПб.: издательство «Лань», 2004. - 464 с.
2. Морозов, А.И. Введение в плазмодинамику / А.И. Морозов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 576 с.
3. Франк-Каменецкий, Д.А. Лекции по физике плазмы: Физтеховский учебник / Д.А. Франк-Каменецкий. – 3-е изд. – М.: Интеллект, 2008. – 280 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-91559-002-0

б) *дополнительная литература:*

4. Красов, В.И. Введение в плазменную технологию: Учеб. Пособие / В.И. Красов, В.Л. Паперный. – Иркутск: РИО ИГУ, 1996. - 56 с.
5. Смирнов Б.М. Введение в физику плазмы / Б.М. Смирнов. - М.: Наука, 1982. - 224 с.
6. Швилкин, Б.Н. Сборник задач по физике плазмы / Б.Н. Швилкин. - М.: Высшая школа, 1985. - 104 с.

7. Месяц, Г.А. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга / Г.А. Месяц. - М.: Наука, 2000. - 424 с.
8. Трубецков, Д.И., Храмов А.Е. Лекции по СВЧ-электронике для физиков в 2 т. / Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 496 с.

в) *програмное обеспечение:*

пакет MS OFFICE, среда программирования Delphi

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:*

методические описания лабораторных работ и краткое описание курса выложены на сайте кафедры общей и космической физики ИГУ по адресу
<http://www.physdep.isu.ru/kosm/method/index.htm>.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Лабораторный практикум включает в себя следующее оборудование: установки для исследования тлеющего разряда, токопереноса в вакуумном диоде, термоэлектронной эмиссии, заряженных частиц в скрещенных полях, плазмы высокочастотного разряда. Лабораторная работа «Моделирование движения электронов в электрическом и магнитном полях» представлена в виде виртуальной модели.

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

10. Образовательные технологии:

Курс основан на оригинальных разработках автора. Проводятся следующие виды занятий: лекции, лабораторные работы. В качестве дополнительной самостоятельной студенты пишут реферат на выбранную преподавателем тему.

11. Оценочные средства (ОС)

11.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не предусмотрен.

11.2. Оценочные средства текущего контроля

Примерный список вопросов текущего контроля:

- электронная эмиссия;
- термоэлектронная эмиссия;
- автоэлектронная эмиссия;
- взрывная эмиссия;
- вторично-электронная эмиссия;
- фотоэлектронная эмиссия;
- формирование и транспортировка электронного потока;
- способы формирования электронных потоков различной интенсивности;
- способы ограничения поперечных размеров электронного потока;
- электрические способы управления плотностью электронов;
- магнитные способы управления скоростью электронов;
- преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии;
- катодолюминисценция, катодоусиление;
- рентгеновское излучение;
- ионизованный газ и плазма;
- элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях;
- основные методы генерации плазмы;
- модели для описания свойств плазмы;
- типы газовых разрядов;
- общие свойства плазмы;
- явления переноса;
- плазма в магнитном поле;

- колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы;
- излучение плазмы;
- методы ускорения плазменных потоков;
- диагностика параметров плазмы;
- применение плазмы в электронике.


Для допуска к **итоговому зачёту** от студента требуется защитить отчеты по всем лабораторным работам.

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список вопросов к зачёту:

- 1) Элементы зонной теории твердых тел. Понятие о валентной зоне и зоне проводимости. Динамика электронов в кристалле. Закон дисперсии, эффективная электронная масса.
- 2) Поверхностный потенциальный барьер. Зависимость энергии электрона от координаты вблизи поверхности кристалла.
- 3) Термоэлектронная эмиссия. Формула Ричардсона-Дэшмэна. Распределение термоэлектронов по энергиям. Зависимость тока термоэмиссии от задерживающего потенциала.
- 4) Термоэлектронная эмиссия с ускоряющим полем. Эффект Шоттки.
- 5) Автоэлектронная эмиссия. Модель потенциального барьера. Зависимость тока эмиссии от электрического поля.
- 6) Фотоэлектронная эмиссия. Спектральная зависимость фототока.
- 7) Вторичная электронная эмиссия. Энергетический спектр вторичных электронов. Качественная теория ВЭЭ. Взрывная эмиссия, качественная теория.
- 8) Появление и исчезновение заряженных частиц в газовом разряде. Упругие и неупругие столкновения частиц, каналы неупругих потерь. Ионизация и рекомбинация. Ионизационное равновесие, формула Саха. Закон Ома и отклонения от него.
- 9) Виды газовых разрядов: дуга, тлеющий разряд, корональный разряд. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Условие самоподдержания разряда. Кривая Пашена. Структура тлеющего разряда.
- 10) Токперенос в вакууме. Ограничение тока объемным зарядом. Закон Чайлда-Ленгмюра («закон $3/2$ »).
- 11) Параллельный пучок электронов в вакууме. Виртуальный катод.
- 12) Пространственный заряд в электронных пучках. Расширение пучка под действием объемного заряда. Фокусировка пучка электродами. Пушка Пирса.
- 13) Скорости электрического, градиентного и инерциального дрейфа.
- 14) Формула Саха как следствие принципа детального равновесия
- 15) Закон Ома из кинетического уравнения
- 16) Сохранение адиабатического инварианта в пробочной ловушке
- 17) Распределение потенциала вдоль столба в тлеющем разряде
- 18) Отличие корональной и ЛТР излучательных моделей

Разработчики:



(подпись)

профессор, зав.кафедрой, д.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

В.Л., Паперный
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры электроники твёрдого тела ИГУ
(наименование)

« 17 » 12 201__ г.

Протокол № 4 Зав.кафедрой  д.ф.-м.н. А.А. Гаврилюк