

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
Драгунов В.К.
«16» июня 2015 г.



Программа аспирантуры
Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Фотоэлектрические явления и приборы на их основе»

Индекс дисциплины по учебному плану Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часа – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 876, и паспорта специальности 05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование научной основы для изучения особенностей оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках, применяемых в современных оптоэлектронных приборах.

Задачами дисциплины являются:

- освоение способности учитывать физические основы полупроводниковых оптоэлектронных приборов и применять методы расчета их характеристик, особенности приборов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов;
- готовность рассчитывать, моделировать и исследовать параметры и характеристики оптоэлектронных приборов.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);

- способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);
- готовность формулировать цели и задачи научных исследований, а также способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач. (ПК-2).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны демонстрировать следующие результаты образования:

Знать:

- состояние научно-технической проблемы в области фотоэлектрических явлений в полупроводниках и приборах на их основе путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ОПК-3).

Уметь:

- анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);
- формулировать цели и задачи научных исследований фотоэлектрических явлений в полупроводниках и приборах на их основе, а также обосновывать выбор теоретических и экспериментальных методов и средств решения сформулированных задач (ПК-2);
- разрабатывать новые методы исследования и их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности (ОПК-3).

Владеть:

- методами исследования и навыками их применения при исследовании фотоэлектрических явлений в полупроводниках и приборах на их основе (ОПК-3).

- навыками работы с информационными базами данных и поиском информации о фотоэлектрических явлениях в полупроводниках и приборах на их основе (ПК-1).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Оптические свойства полупроводников и их влияние на параметры фотоприемников

Задачи курса. Характеристики излучения. Законы Планка, Стефана-Больцмана, Вина. Пропускание атмосферы и спектральные области применения ФП. Оптические свойства полупроводников и их влияние на параметры фотоприемников.

2. Люминесценция полупроводников

Основные понятия и определения. Рекомбинационное излучение. Теория Ван Русбрека-Шокли. Условие инверсной населенности. Усиление излучения. Условия получения лазерного режима.

3. Светодиоды и оптроны

Диодные источники излучения. Инжекционная электролюминесценция. Материалы, используемые для конструирования светодиодов. Коэффициенты инжекции, пропускания и вывода.

Оптроны и оптоэлектронные схемы. Определение оптрона, его устройство, принцип действия. Классификация оптронов. Системы параметров оптронов.

4. Полупроводниковые лазеры

Устройство и типы приборов. Вклад российских ученых в развитие квантовой электроники. Основные параметры лазеров: диаграмма

направленности, ВАХ и КПД и применения лазерных диодов. Старение источников излучения.

5. Основные параметры и характеристики ФП

Основные параметры и характеристики ФП. Понятие об идеальном ФП. Приемники излучения с внутренним фотоэффектом. Поглощение свободными носителями. ФП на «горячих» электронах.

6. Фоторезисторы

Физические явления в фоторезисторах. Схема измерения. Вольт-амперная характеристики собственных фоторезисторов (СФР). Чувствительность СФР. Спектральные характеристики СФР. Коэффициент усиления по фототоку. Выбор степени легирования. Частотные характеристики СФР, случай линейной и квадратичной рекомбинации. Основы теории шумов фоторезисторов.

Факторы, определяющие чувствительность примесных фоторезисторов (ПФР). Шумы ПФР.

Фоторезисторы на «горячих» электронах

7. Конкретные СФР

Характеристики СФР, изготовленных из различных полупроводниковых материалов. Селенисто-висмутовые (Sb₂Te). Германиевые ФР. Кремниевые ФР. ФР из антимонида индия. ФР из арсенида индия. ФР на основе CdS и CdSe. ФР на основе PbS, PbSe и PbTe. ФР на основе КРТ (Cd_xHg_{1-x}Te).. SPRITE-фоторезисторы

8. Основы работы фотоприемников с потенциальными барьерами

Фотодиод (ФД) на основе *pn*-перехода. Принцип работы ФД. Режимы работы фотодиода. Вольт-амперные характеристики фотодиода. Темновые токи через *pn*-переход. Фототок. Люкс-амперные характеристики фотодиода. Квантовый выход фотодиода. Чувствительность фотодиода. Спектральные характеристики ФД. Частотные характеристики фотодиодов. Шумы фотодиодов.

9. Конкретные типы фотодиодов (ФД)

Дрейфовые фотодиоды. Фотоэлементы (солнечные элементы). PIN-фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Особенности технологии изготовления лавинных фотодиодов. Квантовый выход фотодиода с *pn*-переходом, индуцированным полем. Фотодиоды Шоттки.

10. Матричные полупроводниковые приёмники изображений

История развития полупроводниковых матричных приёмников изображения. Понятие электронного сканирования. Сравнение с другими видами сканирования. Способы преобразования заряда в электрический сигнал. Варианты архитектуры приёмника. Принцип работы ПЗС с поверхностным каналом. Структуры ПЗС с поверхностным каналом. Принцип работы ПЗС с ОК. Энергетические диаграммы. Сравнение ПЗС с поверхностным каналом и объемным каналом. Режим временной задержки - накопления Простейшая структура КМОП приёмника изображения.

11. Светодиоды и оптроны

Диодные источники излучения. Инжекционная электролюминесценция. Материалы, используемые для конструирования светодиодов. Коэффициенты инжекции, пропускания и вывода.

Оптроны и оптоэлектронные схемы. Определение оптрона, его устройство, принцип действия. Классификация оптронов. Системы параметров оптронов.

12. Полупроводниковые лазеры

Физические явления в полупроводниковых лазерах. Устройство и типы приборов. Вклад российских ученых в развитие квантовой электроники. Основные параметры лазеров: диаграмма направленности, ВАХ и КПД и применения лазерных диодов. Старение источников излучения.

13. Оптические свойства полупроводниковых наноструктур

Лазеры с квантово-размерными слоями. Практическое применение квантовых точек. Лазеры для оптоволоконной связи.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 7 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Какие диапазоны длин волн электромагнитного излучения рассматриваются в оптоэлектронике?
2. Виды люминесценции.
3. Особенности поглощение света в полупроводниках. Основные механизмы поглощения. Коэффициент поглощения света.
4. Фундаментальное поглощение света в полупроводниках. Прямые и не прямые переходы. Зависимость коэффициента поглощения от энергии фотона.
5. Влияние электрического поля на край фундаментального поглощения света в полупроводниках. Эффект Келдыша-Франца, применение.
6. Фундаментальное поглощение света в сильно легированных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса, применение.
7. Экситонное поглощение света в полупроводниках.
8. Внутризонное поглощение света в полупроводниках.
9. Теория Ван Русбрека-Шокли.
10. Рекомбинационное излучение в полупроводниках. Время жизни излучательной рекомбинации.
11. Основные требования к полупроводниковым материалам, пригодным для изготовления источников излучения.
12. Спонтанное излучение в полупроводниках. Светодиоды.
13. Вынужденное излучение в полупроводниках.
14. Системы с инверсной населенностью.
15. Лазеры. Пороговый коэффициент усиления (для начала генерации) излучения.

16. Типы лазеров.
17. Условия достижения инверсной населенности в полупроводниках. Случаи прямых и непрямых переходов зона-зона.
18. Методы достижения инверсной населенности в полупроводниках (методы накачки).
19. Метод накачки с помощью инжекции p - n -переходом вырожденных полупроводников. Пороговое напряжение, соответствующее началу генерации.
20. Гетеролазеры. Проблема уменьшения порогового тока. Микрорезонаторные лазеры.
21. Полупроводниковые лазеры на квантовых ямах и квантовых точках.
22. Основные методы модуляции излучения. Полупроводниковые модуляторы и дефлекторы излучения.
23. Полупроводниковые фотоприемники.
24. Основные параметры и характеристики ФП.
25. Физические явления в фоторезисторах. Схема измерения.
26. Вольт-амперные характеристики собственных фоторезисторов (СФР). Чувствительность СФР.
27. Частотные характеристики СФР.
28. Спектральные характеристики СФР.
29. Фотодиод (ФД) на основе pn -перехода. Принцип работы ФД. Режимы работы фотодиода. Вольт-амперные характеристики фотодиода. Чувствительность фотодиода.
30. Спектральные характеристики ФД. Влияние поверхностной рекомбинации.
31. Частотные характеристики фотодиодов. Шумы фотодиодов.
32. Дрейфовые фотодиоды.
33. Фотоэлементы (солнечные элементы).
34. Фотодиоды Шоттки.

35. Фотоприемники для волоконно-оптических линий связи. *PIN*-фотодиоды: принцип работы, энергетические диаграммы.

36. Лавинные фотодиоды. Особенности технологии изготовления лавинных фотодиодов.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Шалимова К.В. /Физика полупроводников. СПб.: изд-во Лань. 2010. 384 с. ISBN 978-5-8114-09228-8.
2. Розеншер, Э. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер. – М. : Техносфера, 2006. – 592 с. ISBN: 5-94836-031-8.
3. Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения, Москва, Изд. «Логос», 2013 ISBN 978-5-98704-652-4
4. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника, учебник. - М.: "Высшая школа", 2012 г. 573 с. ISBN: 5-06-002703-1, 978-5-4372-0004-9
5. Тарасов, В. В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков . – М. : Университетская книга, 2007 . – 192 с. - ISBN 5-9870419-8-8.
6. Астайкин А. И. Основы оптоэлектроники: [учебное пособие для вузов] / А. И. Астайкин, М. К. Смирнов. - М., 2007. - 275, [2] с. : ил. ISBN 978-5-06-005551-1
7. Шуберт, Ф. Е. Светодиоды / Ф. Е. Шуберт ; пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. - М. : Физматлит, 2008. - 495 с. : ил. - Пер. изд.: Light-emitting diodes / Schubert, Fred. – Cambridge/ ISBN 978-5-9221-0851-5.
8. Панов М.Ф., Соломонов А.В., Филатов Ю.В. Физические основы интегральной оптики. – М.: ИД "Академия", 2010 г., 427 с. ISBN 978-5-7695-5976-1

9. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. – М.: Физматкнига, 2007. – 384 с. ISBN 978-5-89155-128-4.
10. Колкер Д. Б. Физические основы светодиодов и полупроводниковых лазеров : учебное пособие / Д. Б. Колкер ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2009. - 66, [1] с. : ил.. ISBN 978-5-7782-1308-1 - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2009/kolker.pdf>

Дополнительная литература:

11. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. – М.: Физматкнига, 2011. ISBN 978-5-89155-203-6
12. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. – М.: Физматкнига, 2010. ISBN 978-5-89155-191-6
13. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Фоторезистры и фотоприемные устройства. – М.: Физматкнига, 2011. – 368 с. ISBN 978-5-89155-210-4