

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июля 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 16.06.01 Физико-технические науки и технологии

Направленность (специальность) 01.04.10 Физика полупроводников

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Контактные явления в полупроводниках»

Индекс дисциплины по учебному плану Б1.В.ДВ.3.1

Всего: 72 часов

Семестр 5, в том числе

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

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 16.06.01 Физико-технологические науки и технологии, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 882, и паспорта специальности 01.04.10 Физика полупроводников, 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 углубленного изучения особенностей физики полупроводниковых приборов, базирующихся на контактных явлениях различной природы.

Задачами дисциплины являются:

- освоение способности учитывать особенности физики контактных явлений различной природы в полупроводниковых приборах,
- освоение методов исследования и моделирования контактных явлений, а также методов управления их свойствами;
- развитие способности эффективно использовать особенности свойств контактных явлений, наблюдающиеся в полупроводниковых приборах, при последующих разработках и исследованиях приборов и устройств.

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

- способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- способность анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);

- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики полупроводников и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- основные контактные явления на границах металл-полупроводник, металл-диэлектрик, полупроводник- диэлектрик с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников, информационных технологий (ПК-2);
- структуры границ, основные типы дефектов на контактных границах, методы анализа дефектов путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2).

уметь:

- рассчитывать параметры контактных полупроводниковых структур с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);
- применять методы расчета и моделирования полупроводниковых структур и контактных явлений и современные достижения в данной области с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ПК-3);

- собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по контактными явлениям на границах полупроводников (ПК-2).

владеть:

- приемами и методами оценки контактных явлений с использованием с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);

- навыками работы с информационными базами данных и поиском информации о контактных явлениях в полупроводниках (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Основные понятия

Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность квантовых состояний у дна зоны проводимости и потолка валентной зоны. Эффективная масса плотности состояний для электронов и дырок.

Функции распределения Ферми-Дирака и Больцмана. Уровень Ферми. Электропроводность металлов и полупроводников Кинетические явления в полупроводниках. Приложение теории Друде-Зоммерфельда к полупроводникам. Время свободного пробега электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации. Рассмотрение электропроводности полупроводников на основе кинетического уравнения Больцмана. Эффект Зеебека и эффект Пельтье. Туннельный эффект.

2. Контакт металл - металл

Контакт металл - металл. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. Полупроводник во внешнем электрическом поле. Дебаева длина экранирования. Слои обогащения, обеднения, инверсии. Контакт металл - полупроводник в термодинамическом равновесии. Распределение

потенциала, напряженности электрического поля, концентрации (в приближении обедненного слоя Шоттки). Ширина обедненного слоя. Энергетические диаграммы контакта металл - полупроводник в равновесии. Выпрямление на контакте металл - полупроводник. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Емкость запирающего слоя.

3. Контакт электронного и дырочного полупроводника

Контакт электронного и дырочного полупроводника в термодинамическом равновесии, распределение потенциала, напряженности электрического поля, концентрации. Ширина запирающего слоя. Выпрямление на $p-n$ переходе. Теория ВАХ тонкого $p-n$ перехода, учет генерации - рекомбинации в запирающем слое, ВАХ реального $p-n$ перехода. Туннелирование на контакте вырожденных электронного и дырочного полупроводников. Гетеропереходы.

4. Поверхностные явления в полупроводниках

Идеальная и реальная поверхности. Поверхностные состояния Тамма и Шокли. Теория слоя пространственного заряда. Поверхностный потенциал. Поверхностные избытки электронов и дырок. Эффект поля, подвижность при эффекте поля. Структуры металл - диэлектрик - полупроводник (МДП). Дифференциальная поверхностная емкость. Зависимость емкости МДП-структуры от напряжения. Скорость поверхностной рекомбинации, ее зависимость от поверхностного потенциала. Влияние поверхностной рекомбинации на распределение концентрации и время жизни носителей заряда. Роль поверхностных состояний в контактных явлениях.

5. Электронные свойства дислокационных границ

Малоуровневые и среднеуровневые границы зерен. Приборы на основе дислокационных структур. Фотоэлектрические (микрометрические) применения. Фотоэлектрические преобразователи частоты. Полевой дислокационный транзистор. Датчики упругих напряжений и деформаций.

Дислокации и электронные свойства полупроводниковых приборов. Образовании дислокаций при гомоэпитаксии и гетероэпитаксии. Дислокации приборов с $p-n$ переходами. Дислокации и деградации полупроводникового лазера.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Контакт металл-металл. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов.
2. Дебаевская длина экранирования.
3. Слои обогащения, обеднения, инверсии.
4. Контакт металл-полупроводник в термодинамическом равновесии. Распределение потенциала, напряженности электрического поля, концентрации (в приближении обедненного слоя Шоттки).
5. Ширина обедненного слоя. Энергетические диаграммы контакта металл - полупроводник в равновесии.
6. Выпрямление на контакте металл-полупроводник.
7. Диодная и диффузионная теории выпрямления.
8. Емкость запирающего слоя.
9. Контакт электронного и дырочного полупроводника в термодинамическом равновесии, распределение потенциала, напряженности электрического поля, концентрации. Ширина запирающего слоя.
10. Выпрямление на $p-n$ переходе. Теория ВАХ тонкого $p-n$ перехода, учет генерации-рекомбинации в запирающем слое, ВАХ реального $p-n$ перехода.
11. Туннелирование на контакте вырожденных электронного и дырочного полупроводников.
12. Гетеропереходы.

13. Идеальная и реальная поверхности.
14. Поверхностные состояния Тамма и Шокли.
15. Теория слоя пространственного заряда. Поверхностный потенциал
16. . Поверхностные избытки электронов и дырок.
17. Эффект поля, подвижность при эффекте поля.
18. Структуры металл - диэлектрик - полупроводник (МДП).
19. Дифференциальная поверхностная емкость.
20. Зависимость емкости МДП - структуры от напряжения.
21. Скорость поверхностной рекомбинации, ее зависимость от поверхностного потенциала.
22. Влияние поверхностной рекомбинации на распределение концентрации и время жизни носителей заряда.
23. Малоуровневые и среднеуровневые границы зерен.
24. Приборы на основе дислокационных структур.
25. Фотоэлектрические (микрометрические) применения.
26. Дислокации и электронные свойства полупроводниковых приборов.
27. Образовании дислокаций при гомоэпитаксии и гетероэпитаксии.
28. Дислокации приборов с $p-n$ переходами.

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

29.

Основная литература:

1. Шалимова К.В. /Физика полупроводников. СПб.: изд-во Лань. 2010. 384 с. ISBN 978-5-8114-09228-8.
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника : учеб. пособие / В. А. Гуртов. - 3-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2008. - 512 с. - ISBN 978-5-94836-187-1.

3. Коледов Л. Технологии и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр., и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 400 с.: ил.

4. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие/ - М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009. – 463 с. – (Основы наук). ISBN 978-5-9692-0962-6.

5. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела Серия: Физика в техническом университете. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 г. 360 с. ISBN 978-5-7038-2459-72008

Дополнительная литература:

6. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с. ISBN 978-5-9221-0995-6.

7. Sze S.M., Kwok Kwok Ng Physics of semiconductor devices John Wiley and Sons, 2007 – 815 p..