

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » сентября 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Контактные явления в полупроводниках»

Индекс дисциплины по учебному плану Б1.В.ДВ.4.2

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 наноэлектроника, 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 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:**

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

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

- 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 научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);
- готовность обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления (ПК-5).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- новые методы исследования контактных явлений на границах металл-полупроводник, металл-диэлектрик, полупроводник- диэлектрик с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);

Уметь:

- критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области контактных явлений в полупроводниках (УК-1);
- анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);
- разрабатывать новые методы исследования и их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности (ОПК-3);
- обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления (ПК-5).

Владеть:

- навыками обеспечения технологичности изделий электронной техники и процессов их изготовления (ПК-5).

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.

Контакт электронного и дырочного полупроводника

Контакт электронного и дырочного полупроводника в термодинамическом равновесии, распределение потенциала, напряженности электрического поля, концентрации. Ширина запертого слоя. Выпрямление на $p-n$ переходе. Теория ВАХ тонкого $p-n$ перехода, учет генерации-рекомбинации в запертом 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: 7 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

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

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

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

30.

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..