

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

«16» июня 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

«Физика МДП структур и приборов на их основе»

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 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 изучения физических процессов в МДП–структурах, методов измерения и расчета их основных параметров, принципов работы приборов на основе МДП-структур

Задачами дисциплины являются:

- освоение способности учитывать особенности физики полупроводниковых МДП–приборов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов,
- освоение методов исследования и моделирования полупроводниковых МДП–приборов;
- развитие способности эффективно использовать особенности свойств и МДП-структур при последующих разработках и исследованиях приборов и устройств на основе этих материалов.

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:

- терминологию в области МДП-структур; особенности МДП-структур, изготовленных на базе различных материалов; классификацию зарядов в диэлектрике, их влияние на свойства приборов и современные достижения в данной области с использованием изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);

уметь:

- рассчитывать параметры и характеристики МДП-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 МДП-структур (ПК-3);
- собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию новейшего отечественного и зарубежного опыта по МДП-структурам на базе различных полупроводников с

помощью современной аппаратуры и информационных технологий (ПК-3);

владеть:

- приемами и методами оценки параметров и характеристик МДП-структур с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- навыками работы с информационными базами данных и поиска информации о свойствах МДП-структур на базе различных полупроводников (ПК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. МДП-структура как объект изучения

Теория области пространственного заряда (ОПЗ). Связь заряда в ОПЗ с поверхностным потенциалом. Режимы обогащения, обеднения, инверсии. Поверхностные избытки свободных носителей заряда (снз). Поверхностная проводимость, эффект поля. Дифференциальная поверхностная емкость, ее связь с поверхностным потенциалом. ОПЗ в условиях вырождения.

2. Теория ОПЗ

Зависимость заряда в ОПЗ от поверхностного потенциала, режимы обогащения, обеднения, инверсии. Особенности энергетического спектра электронов в режимах сильного обогащения и инверсии, поверхностное квантование, двумерный электронный газ. Распределение свободных носителей заряда в ОПЗ в условиях поверхностного квантования.

3. Эффект поля. Дифференциальная поверхностная проводимость

Поверхностные избытки электронов и дырок. Поверхностная проводимость. Дифференциальная поверхностная емкость, зависимость от поверхностного потенциала.

4. Идеальная МДП-структура

Идеальная МДП-структура, энергетические диаграммы, высоко- и низкочастотные, распределение потенциала, электрического поля, заряда; энергетические диаграммы при различных полярностях напряжений на затворе. Связь напряжения на затворе с поверхностным потенциалом.

5. Реальные МДП-структуры, анализ зарядов

Заряды в структуре: поверхностные состояния (ПС), природа, спектр ПС, заряд ПС, емкость ПС; динамика заполнения ПС, «быстрые» и «медленные» ПС; эквивалентные схемы МДП-структуры; фиксированный заряд в диэлектрике, природа, способы управления, треугольник Дила; заряд в объеме диэлектрика, центр масс заряда, кинетика захвата заряда в объеме диэлектрика; подвижный заряд в диэлектрике. Связь напряжения на затворе с зарядами в МДП-структуре; пороговое напряжение, напряжение «плоских зон».

6. Явления переноса в МДП-структуре

Термоэлектронная эмиссия, эффект Шоттки; туннельная эмиссия Фаулера-Нордгейма; внутренняя фотоэмиссия; эффект Пула-Френкеля; захват и освобождение носителей заряда в диэлектрике Монополярная фотоинжекция. Лавинная инжекция.

7. Методы управления пороговым напряжением

Пороговое напряжение МДП-транзистора, связь с зарядами в МДП-структуре; способы управления пороговым напряжением: выбор материала затвора, создание необходимых концентрационных профилей в канале, захват и освобождение заряда в диэлектрике как физическая основа создания приборов с переменным пороговым напряжением.

8. МДП транзисторы

МДП-транзисторы, их принцип действия, основные параметры и характеристики; проблемы масштабирования, короткоканальные эффекты, эффекты «горячих»носителей и методы их подавления.

9. Приборы на основе МДП-структуры

Неравновесное обеднение, приборы с зарядовой связью. Элементы памяти на основе МДП-структуры, флеш-память, МНОП-структуры.

10 Метрология МДП-структур

Измерение параметров МДП-структур из измерений высоко- и низкочастотных вольт-фарадных характеристик; метод зарядовой накачки. Вольтфарадные характеристики (ВФХ). Неравновесные ВФХ.

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. Теория области пространственного заряда (ОПЗ)
2. Связь заряда в ОПЗ с поверхностным потенциалом, режимы обогащения, обеднения и инверсии.
3. Поверхностные избытки электронов и дырок. Поверхностная проводимость.
4. Эффект поля.
5. Дифференциальная поверхностная емкость, ее зависимость от поверхностного потенциала.
6. Локализация свободных носителей заряда в ОПЗ в режимах сильного обогащения и инверсии.
7. Поверхностное квантование.
8. Двумерный электронный газ.
9. Особенности кинетических явлений в ОПЗ.

10. Идеальная МДП- структура.
11. Вольтфарадные характеристики (ВФХ), зависимость от условий измерения.
12. Низкочастотная ВФХ.
13. Высокочастотная ВФХ.
14. Неравновесная ВФХ.
15. Реальные МДП- структуры.
16. Заряды в МДП-структуре.
17. Поверхностные состояния (ПС), заряд в ПС.
18. Динамика заполнения ПС, быстрые и медленные ПС.
19. Емкость ПС.
20. Встроенный заряд.
21. Заряд в объеме диэлектрика.
22. Подвижный заряд. Природа зарядов, методы управления.
23. Механизмы инжекции свободных носителей заряда в диэлектрик МДП-структуры: термоэлектронная эмиссия, туннельная эмиссия, фотоинжекция. Эффект Пула-Френкеля.
24. Связь напряжения на затворе с зарядами в МДП- структуре, пороговое напряжение, напряжение «плоских зон», методы управления пороговым напряжением.
25. Метрология МДП- структур. Определение параметров структур из измерений ВФХ.
26. Определение параметров МДП- структуры из измерений ВЧ и НЧ ВФХ и совместных измерений.
27. Метод зарядовой накачки.
28. Система основных параметров МДП транзистора. ВАХ МДП транзистора.
29. Короткоканальные эффекты.
30. Эффект «горячих» носителей.
31. Физика неравновесного обеднения.

32. Приборы с зарядовой связью.
33. Приборы энергонезависимой памяти.
34. Прибор с плавающим затвором.
35. Приборы с захватом заряда.

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. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок – “Лань “, 2008. ISBN 978-5-8114-0766-8
3. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие/ - М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2011. – 463 с. – (Основы наук). ISBN 978-5-9916-0808-4
4. Гуртов В.А. Твердотельная электроника : учебное пособие / В. А. Гуртов. – 2-е изд., доп . – М. : Техносфера, 2008. - 520 с. : ил. ISBN 978-5-94836-187-1
5. Королёв М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Электронный ресурс]: в 2 ч. Ч. 1 / М.А. Королёв, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; под общей ред. чл.-корр. РАН проф. Ю. А. Чаплыгина. - 2-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 397 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=476068> электронно-библиотечная система.
6. Королёв М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Электронный ресурс]: в 2ч. Ч.2 / М.А. Королёв, Т.Ю. Крупкина, М. Г. Путря, В. И. Шевяков; под общей ред. чл.-корр. РАН проф. Ю.А. Чаплыгина. – 2-е изд. (эл.) – М. БИНОМ. Лаборатория

знаний, 2012. – 422 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=366622>
электронно-библиотечная система.

Дополнительная литература:

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

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