

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 нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины

«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 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 осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании приборов современной электроники и нанoeлектроники

Задачами дисциплины являются

- освоение способности учитывать физические основы твердотельных структур для создания новых и совершенствованием существующих твердотельных электронных приборов, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах;
- развитие способности аргументированно выбирать информацию о физических основах структур и их влияния на характеристики твердотельных электронных приборов, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.

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

- 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 следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- 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:

знать:

- классификацию твердых тел с точки зрения атомной структуры и зонной теории с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников, информационных технологий (ПК-1);
- особенности электронной структуры, электрических, оптических и фотоэлектрических свойств полупроводниковых материалов и структур с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта путем

подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников, информационных технологий (ПК-1).

уметь:

- критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области твердотельной электроники, радиоэлектронных компонент, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах (УК-1);
- планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);
- анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);
- формулировать цели и задачи научных исследований, а также способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-2).

владеть:

- этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- приемами и методами оценки параметров и характеристик структур твердотельной электроники, радиоэлектронных компонент, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- навыками работы с информационными базами данных и поиска информации о свойствах приборов твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах (ОПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Формула специальности:

«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника на квантовых эффектах» – специальность, занимающаяся созданием новых и совершенствованием существующих твердотельных электронных приборов, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах, включающая проблемы и задачи, связанные с разработкой научных основ, физических и технических принципов создания и совершенствования указанных приборов, компонентов, изделий, отличающаяся тем, что основным ее содержанием являются научные и технические исследования и разработки в области физики, схемотехники, конструкции, технологии, моделирования, измерения характеристик, испытания, применения указанных приборов, компонентов, изделий. Значение решения научных и технических проблем данной специальности для народного хозяйства состоит в разработке новых и совершенствовании существующих перечисленных приборов, компонентов, изделий, повышении их функциональных и эксплуатационных характеристик, а также эффективности применения.

Области исследований:

1. Разработка и исследование физических принципов создания новых и совершенствования традиционных приборов твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах, включая оптоэлектронные приборы и преобразователи физических величин (сенсоры).

2. Разработка и исследование схемотехнических и конструктивных основ создания и методов совершенствования изделий по п. 1.

3. Разработка и исследование технологических основ создания и методов совершенствования изделий по п. 1.

4. Разработка и исследование физических и математических моделей изделий по п.1, в том числе для систем автоматизированного проектирования.

5. Исследование и моделирование функциональных и эксплуатационных характеристик изделий по п.1., включая вопросы качества, долговечности, надежности и стойкости к внешним воздействующим факторам, а также вопросы эффективного применения.

2. Примечание:

Специальность не включает исследования в области: лазеров, трансформаторов, переключателей, разъемов, соединителей, систем автоматизированного проектирования указанных приборов, компонентов, изделий, технологического оборудования и метрологического обеспечения измерений. Эти области исследований включают соответственно специальности: 01.04.21, 05.27.03, 05.09.01, 05.11.15, 05.13.12, 05.27.06.

Отрасль науки

технические науки (за исследования по пп. 2-5), физико-математические науки (за исследования по пп. 1 и 4).

Основная образовательная программа

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика полупроводников и полупроводниковых приборов; технология полупроводниковых приборов и интегральных схем; микросхемотехника; контроль качества и надежность полупроводниковых приборов; радиокомпоненты, а также обзорно-обобщающие работы по новым достижениям в области оптоэлектроники, акустоэлектроники, наноэлектроники и приборов на квантовых эффектах.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи при участии СТИ РАН, МИЭМ, МИРЭА, МИЭТ, МЭИ (ТУ) и ГУП «Пульсар».

1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники.

Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный ($p-n$) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика $p-n$ перехода. Токи носителей заряда в $p-n$ переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в $p-n$ переходе. Барьерная и диффузионная емкость.

Частотные и импульсные свойства. Пробой $p-n$ перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными $p-n$ переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.

Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с $p-n$ переходом.

Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.

Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- $p-n$ перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в $p-n$ переходе. Эффекты, вызываемые поглощением высокоэнергетического ядерного излучения в полупроводниках.

Излучение полупроводников. Прямые и непрямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо-, фотолюминесценция. Спектры излучения. Правило Стокса, антистоксова люминесценция. Квантовый выход. Вывод излучения из полупроводников.

Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток.

Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Акустоэлектронные волны.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Устройство и основные параметры. Выпрямительные и импульсные диоды. Варикапы. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Диоды СВЧ: детекторные и смесительные, диоды Шоттки, pin – диоды, умножительные и параметрические, лавинно-пролетные, диоды Ганна. Полупроводниковые датчики ядерных излучений.

Полупроводниковые транзисторы. Биполярные транзисторы. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные характеристики. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. Мощные транзисторы, в том числе СВЧ. Транзисторы с изолированным затвором (IGBT).

Тиристоры и их разновидности. Основные параметры. Полевые транзисторы, принцип действия, основные параметры. Полевые транзисторы с p - n переходом, с барьером Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами p - и n - типов.

Шумы в транзисторах.

Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И²Л-ИС); Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС; GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ)

Многослойные (объемные) ИС. Интеграция на пластине. Микросистемы (общее представление).

Микросхемотехника. Цифровые и аналоговые ИС. Базовые логические элементы: ТТЛ, ЭСЛ, МОП, КМОП, ПТШ. Микропроцессоры. Полупроводниковые ЗУ. Программируемые логические матрицы. Базовые матричные кристаллы. ЦАП – АЦП. Сигнальные микропроцессоры. ВИП и стабилизаторы напряжения. Операционные усилители. Специфика интегральных СВЧ-устройств.

Оптоэлектроника. Фотоприемники: фото- резисторы, -диоды, - транзисторы, -матрицы. Основные параметры и характеристики.

Фотоприемники ИК-диапазона, тепловизоры. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Солнечные батареи: на монокристаллическом и аморфном кремнии, на поликристаллических пленках, с гетероструктурами.

Полупроводниковые лазеры (общее представление).

Светодиоды, параметры и характеристики. Суперяркие светодиоды. ИК-излучатели. Светодиодные дисплеи. Полимерные светодиоды (общее представление).

Оптроны и оптоэлектронные ИС.

Оптические дисковые и голографические ЗУ. Волоконнооптические линии связи. Элементы оптической вычислительной техники. Интегральная оптика.

Акустоэлектроника и акустооптика. Физические основы взаимодействия акустической волны с электронами твердого тела и взаимодействия оптических и акустических волн в твердых телах и жидкостях. Основные материалы акустоэлектроники и акустооптики и устройства на их основе для обработки аналоговых сигналов.

Магнитоэлектроника, криоэлектроника, твердотельные датчики (общее представление).

Краткий очерк истории твердотельных приборов и микроэлектроники. Даты важнейших открытий и изобретений. Ученые, внесшие вклад в развитие твердотельной микроэлектроники и примыкающих к ней областей.

3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов

Планарная технология – общая схема техпроцесса. Групповая обработка. Минимальный топологический размер (МТР) – основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура. Перспективы развития планарной технологии. Гибридная технология. Микросборки и БИС на подложках.

Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин.

Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния. Методы контроля качества эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок A^3B^5 . Оборудование для эпитаксиального выращивания пленок. Сравнение газотранспортной, жидкофазной, МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии.

Создание диэлектрических покрытий на кремнии. Термодинамика процесса окисления кремния. Физическая модель процесса окисления кремния. Кинетика активного и пассивного окисления полупроводников. Структура окисла на кремнии. Перераспределение примеси при термическом окислении кремния. Формирование диэлектрических пленок методами осаждения из металлоорганических соединений.

Зарядовое состояние системы полупроводник—диэлектрик; факторы, влияющие на величину и знак заряда в системе. Связь параметров полупроводниковых приборов и ИС с зарядовым состоянием системы кремний—окисел.

Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Особенности диффузии в соединениях A^3B^5 .

Электронно-ионная технология. Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Имплантация ионов. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, их устранение. Конструктивные схемы ионных имплантеров и оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

4. Моделирование, испытания, надежность приборов твердотельной электроники, радиоэлектроники и изделий микро- и нанoeлектроники

Моделирование как основа проектирования приборов твердотельной, микро- и нанoeлектроники. Методики построения физических и математических моделей. Двух- и трехмерное моделирование. Примеры моделей транзисторов, элементов микросхем. Системы моделирования и автоматизированного проектирования (общее представление).

Испытание изделий на устойчивость к воздействию внешних факторов: механических, климатических, радиационных, Виды испытаний: приемосдаточные, периодические, квалификационные. Особенности поведения полупроводниковых приборов и микросхем при различных видах радиационных и космических воздействий. Методы повышения радиационной стойкости приборов.

Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Статистические методы оценки и прогнозирования показателей надежности и долговечности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем. Катастрофические (внезапные) и деградиационные

(постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний.

5. Радиоэлектронные компоненты

Физические явления, определяющие электропроводность толсто пленочных резистивных материалов.

Толсто пленочные резисторы.

Основные типы постоянных и переменных резисторов.

Физические явления, определяющие емкостные свойства конденсаторов.

Типы, параметры и конструкции конденсаторов постоянной и переменной емкости.

Физические основы работы линий задержек на поверхностных акустических волнах.

Полупроводниковые термо- и фототранзисторы, позисторы, варисторы, болометры (общее представление)

6. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы нанoeлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах

Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона.

Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Модулированное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT). Гетеропереходный биполярный транзистор.

Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла.

Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

Представления об элементной базе квантовых компьютерах – кубитах. Свойства кубита. Управление эволюцией кубита. Элементарные однокубитовые и двухкубитовые операции как основа квантовых вычислений. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр – зачет, 6 семестр – кандидатский экзамен.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Типы химических связей. Структура кристаллов. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др.
2. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках.
3. Зона проводимости и валентная зона. Эффективная масса электрона.
4. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.
5. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости.
6. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.
7. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты.
8. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

9. Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле.
10. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок.
11. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна.
12. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках.
13. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.
14. Электронно-дырочный ($p-n$) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.
15. Вольт-амперная характеристика $p-n$ перехода. Токи носителей заряда в $p-n$ переходе, квазиуровни Ферми.
16. Генерация и рекомбинация носителей в $p-n$ переходе. Барьерная и диффузионная емкость.
17. Полупроводниковые диоды.
18. Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными $p-n$ переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.
19. Полупроводниковые транзисторы
20. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные характеристики.
21. Мощные транзисторы, в том числе СВЧ.
22. Транзисторы с изолированным затвором (IGBT).
23. Тиристоры и их разновидности. Основные параметры.
24. Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика.
25. Полевые транзисторы, принцип действия, основные параметры.
26. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения

27. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами p - и n - типов.
28. Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- p - n перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры.
29. Полупроводниковые лазеры (общее представление).
30. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.
31. Излучение полупроводников.
32. Светодиоды, параметры и характеристики.
33. Лазерный эффект в полупроводниках.
34. Приборы на основе наноструктур.
35. Перспективы развития планарной технологии.
36. Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния.
37. Зарядовое состояние системы полупроводник-диэлектрик; факторы, влияющие на величину и знак заряда в системе.
38. Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения.
39. Электронно-ионная технология. Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование.
40. Литография. Фотолитография. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография.
41. Моделирование как основа проектирования приборов твердотельной, микро- и нанoeлектроники.
42. Физические явления, определяющие электропроводность толсто пленочных резистивных материалов.
43. Полупроводниковые термо- и фототранзисторы, позисторы, варисторы, болометры (общее представление).
44. Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки.
45. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона.

46. Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Модулированное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT).

47. Квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла.

48. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

49. Представления об элементной базе квантовых компьютерах – кубитах.

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. Воронков, Э.Н. Твердотельная электроника: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/[Э.Н. Воронков, А.М. Гуляев, И.Н. Мирошникова, Н.А. Чарыков]. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 320 с. ISBN 978-5-7695-4618-1.

3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников изд. СПб. : изд-во Лань., 2008., 615 с. ISBN 978-5-8114-0762-0.

4. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. – М.: Наука, 2006. – 490 с.

5. 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:

6. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника" / [В. И. Старосельский](#) . – М. : Юрайт, 2011 . – 463 с. – (Основы наук) . - ISBN 978-5-9916-0808-4 . .

7. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок –СПб, изд-во «Лань», 2008. ISBN 978-5-8114-0766-8.

8. 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

9. Коваленко А.А. Основы микроэлектроники. – М.: ИЦ «Академия», 2008. ISBN 978-5-7695-7040-7.

10. Алешкин В.Я. Курс лекций «Современная физика полупроводников» Нижний Новгород. 2013. 132 с. (http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Aleshkin_lectures.pdf)

Дополнительная литература:

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

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

1. SCOPUS (<http://www.scopus.com/>)

2. ISI Web of Knowledge (<http://www.isiknowledge.com/>)

3. Журнал Физика и техника полупроводников (<http://journals.ioffe.ru/ftp/>)