МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Юго-Западный государственный университет

|  |  |
| --- | --- |
|  | УТВЕРЖДАЮ:  Проректор по научной работе и международной деятельности *(наименование должности полностью)*  Е.Г. Пахомова  *(подпись, инициалы, фамилия)*  «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г. |

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические процессы в полупроводниковых

материалах

*(наименование дисциплины)*

научная специальность

1.3.11 Физика полупроводников

форма обучения очная

Курск – 2023

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 № 951, на основании учебного плана научной специальности 1.3.11. Физика полупроводников, одобренного Ученым советом университета, протокол №12 от «29» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе для обучения аспирантов по научной специальности 1.3.11. Физика полупроводников на заседании кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики, протокол №1 от «31» августа 2023 г.

*(наименование кафедры, дата, номер протокола)*

Зав. кафедрой А.Е. Кузько

Разработчик программы д.ф.-м.н., профессор А.П. Кузьменко

*( ученая степень и ученое звание, Ф.И.О.)*

Согласовано:

Директор научной библиотеки В.Г. Макаровская

Заведующая сектором аспирантуры и докторантуры \_\_\_\_\_\_\_\_\_М.В. Калинина

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, одобренного Ученым советом университета протокол №\_ «\_\_»\_\_\_\_\_\_20\_г. на заседании кафедры\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*(наименование кафедры, дата, номер протокола)*

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, одобренного Ученым советом университета протокол №\_ «\_\_»\_\_\_\_\_\_20\_г. на заседании кафедры\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*(наименование кафедры, дата, номер протокола)*

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, одобренного Ученым советом университета протокол №\_ «\_\_»\_\_\_\_\_\_20\_г. на заседании кафедры\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*(наименование кафедры, дата, номер протокола)*

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**1 Планируемые результаты обучения, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП**

* 1. **Цель преподавания дисциплины** – учебной дисциплины является изучение студентами физических эффектов и процессов лежащих в основе принципов действия полупроводниковых, электровакуумных и оптоэлектронных устройств.
  2. **Задачи изучения дисциплины**

Основными задачами дисциплины является:

– усвоение основных представлений о физических процессах в твердых и газообразных диэлектриках, проводниках и магнитных материалах, вытекающих из основ физики конденсированного состояния;

– знакомство аспирантов с основными технологиями создания полупроводниковых материалов разных классов и модификации их свойств;

– формирование у аспирантов представления о физических процессах лежащих в основе современных технологий производства полупроводниковых материалов;

– приобретение аспирантами практических навыков анализа кинетики протекающих в полупроводниковых материалах физических процессов;

– формирование представлений об основах технологических процессов синтеза полупроводниковых материалов и их практического применения.

**знaть:**

– принципы действия, характеристики и области применения основных типов полупроводниковых приборов;

– сущность физических явлений в полупроводниках и соотношения, устанавливающие связь между физическими, физико-химическими и электрическими параметрами полупроводниковых материалов;

**уметь:**

– качественно объяснить и математически описать физические процессы, протекающие в полупроводниковых приборных структурах различного типа;

– качественно объяснить и математически описать параметры и характеристики полупроводниковых материалов и их зависимость от состава полупроводника и внешних воздействий различного типа;

**влaдеть:**

– навыками экспериментального определения и расчетов параметров и характеристик полупроводниковых материалов.

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физические процессы в полупроводниковых материалах» относится к факультативным дисциплинам раздела 2.1 образовательного компонента (2.1.6.1(Ф)) учебного плана научной специальности 1.3.11, курс 4, семестр 8.

### **Содержание и объем дисциплины»**

#### 3.1 Содержание дисциплины и лекционных занятий

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 2 зачетных единицы (з.е.), 72 часа.

## Таблица 3.1 –Объём дисциплины по видам учебных занятий

|  |  |
| --- | --- |
| Объём дисциплины, | Всего, часов |
| Общая трудоемкость дисциплины | 72 |
| Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего) | 36 |
| в том числе: |  |
| лекции | 18 |
| лабораторные занятия | не предусмотрено |
| практические занятия | 18 |
| экзамен | не предусмотрен |
| зачет | 0 |
| курсовая работа (проект) | не предусмотрено |
| расчетно-графическая (контрольная) работа | не предусмотрено |
| Аудиторная работа (всего): | 36 |
| в том числе: |  |
| лекции | 18 |
| лабораторные занятия | не предусмотрено |
| практические занятия | 18 |
| Самостоятельная работа обучающихся (всего) | 36 |

Таблица 3.2 – Содержание дисциплины и ее методическое обеспечение

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Раздел, темы дисциплины | Виды деятельности | | | Учебно-методические материалы | Формы текущего контроля успеваемости *(по неделям семестра)* Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)* |
| № лек., час | № лаб., час | № пр., час |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Электропроводность и подвижность.  Механизмы рассеяния носителей заряда. | 1,  2 часа | 0 | 1,  2 часа | У-1, У-2, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | С |
| 2 | Термоэлектрические явления и электронная теплопроводность. | 2,  2 часа | 0 | 2,  2 часа | У-1, У-2, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 3 | Межзонная рекомбинация. | 3,  2 часа | 0 | 3,  2 часа | У-1, У-2, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 4 | Размерное квантование в полупроводниковых структурах. | 4,  2 часа | 0 | 4,  2 часа | У-3, У-4, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | К |
| 5 | Поглощение электромагнитного излучения в полупроводниках. | 5,  2 часа | 0 | 5,  2 часа | У-3, У-4, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 6 | Процессы излучения в полупроводниках. | 6,  2 часа | 0 | 6,  2 часа | У-3, У-4, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 7 | Индуцированное излучение в полупроводниках. | 7,  2 часа | 0 | 7,  2 часа | У-3, У-4, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 8 | Воздействие радиации на полупроводники. | 8,  2 часа | 0 | 8,  2 часа | У-3, У-4, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 9 | Физические основы наноэлектроники. | 9,  2 часа | 0 | 9,  2 часа | У-3, У-4, МУ-1, МУ-2, МУ-3 | КО |
| 13 | ИТОГО | 18 | 0 | 18 |  | З |

КО – контрольный опрос

Таблица 3.3 – Краткое содержание лекционного курса

| № п/п | Раздел (тема) дисциплины | Содержание |
| --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Электропроводность и подвижность.  Механизмы рассеяния носителей заряда. | Движение носителей заряда в электрическом поле. Дрейфовая скорость и подвижность носителей заряда. Плотность дрейфового тока. Удельная проводимость.  Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках  Диффузионное движение носителей заряда в полупроводниках. Плотность диффузионного тока. Связь коэффициента диффузии и подвижности.  Выражение для полного тока носителей заряда в полупроводниках. Диффузия носителей заряда. Коэффициент диффузии и диффузионная длина. Работа выхода. Локализованные состояния электронов в кристаллах Поверхностные уровни, примесные состояния, функции Ванье, поляроны. Электрон-электронное взаимодействие. Экранирование статическое и динамическое. Плазменные колебания, затухание Ландау. Диэлектрическая проницаемость полупроводника. Переход Мотта.  Поведение полупроводников в сильных электрических полях. Насыщение дрейфовой скорости. Эффект Ганна. Ударная ионизация в полупроводниках. Туннельные явления в полупроводниках. Электропроводность в сильных электрических полях. Горячие электроны. Лавинная и туннельная ионизация. |
| 2 | Термоэлектрические явления и электронная теплопроводность. | Температурные зависимости электропроводности и подвижности. Зависимость подвижности от типа носителей заряда, температуры и материала. Соотношение Видемана-  Франца. Термоэдс фононного увлечения. Эффекты Зеебека, Пелтье и Томсона. Эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Диффузионные технологии. Термодинамический прогноз свободного диффузионного массообмена на границе фаз. Диффузионное легирование. Профили распределения примесей. Элементы микроскопической теории диффузии. Атомные механизмы диффузии. Расчет коэффициентов самодиффузии, диффузии вакансий и примесей. Основные механизмы диффузии в элементарных и сложных полупроводниках. Реактивная диффузия. Эффекты Киркендалла и Френкеля. Исследование магнитотранспорта в наноструктурах при милликельвиновых температурах. Дробный квантовый эффект Холла. Кулоновская блокада. Переход металл-диэлектрик. Хаос и убегающие траектории, резонансы соизмеримости в системах электронных биллиардов. Осцилляции Ааронова-Бома в кольцевом интерферометре |
| 3 | Межзонная рекомбинация. | Уравнение непрерывности. Концентрация носителей заряда в невырожденных полупроводниках.  Зависимость концентрации носителей заряда и уровня Ферми от концентрации примесей и температуры. Вырожденные полупроводники.  Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках. Неравновесные носители заряда. Механизмы рекомбинации. Межзонная рекомбинация и рекомбинация через глубокие уровни. Излучательная рекомбинация. Оже-рекомбинация. Поверхностная рекомбинация. Время жизни неравновесных носителей заряда Инжекция в контакте металл- полупроводник. Динамика избыточной концентрации носителей при линейной, квадратичной и Оже-рекомбинации. Рекомбинация через глубокие центры (модель Шокли-Рида). Влияние центров рекомбинации и ловушек на время жизни. Межзонные и внутризонные оптические переходы. Поглощение света на фононах. Эффект Франца-Келдыша. Магнитооптика. Фотопроводимость и фотоЭДС. Полупроводниковые фотоприемники на структурах с квантовыми ямами. Транспорт фотоэлектронов в полупроводниковых сверхрешетках. Локализация Ванье-Штарка. |
| 4 | Размерное квантование в полупроводниковых структурах. | Роль поверхности полупроводника. Размерные эффекты. Электронные процессы у поверхности полупроводника. Атомарно-чистая поверхность. Реальная поверхность. Границы раздела полупроводник - металл и полупроводник - диэлектрик. Поверхностные состояния. Область поверхностного заряда. Зонная диаграмма ОПЗ. Барьер Шоттки. Гетеропереход. Структуры металл - диэлектрик - полупроводник. Двумерный электронный газ. Модулированные полупроводниковые структуры. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые макроскопические явления в низкоразмерных системах. Локализационные явления. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Электронный транспорт в квантовых проволоках. Двумерный электронный газ, квантовые нити и квантовые точки. Приборы на основе наноструктур |
| 5 | Поглощение электромагнитного излучения в полупроводниках. | Активное и неактивное поглощение света в полупроводниках. Закон Бугера-Ламберта. Спектры поглощения света в полупроводниках. Межзонное поглощение, примесное поглощение, прямые и непрямые переходы, поглощение свободными носителями заряда. Экситоны. Оптические эффекты во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша, циклотронный резонанс, магнитопоглощение при межзонных переходах. Фотовольтаические эффекты: р-п переход, барьер Шоттки, эффекты Дембера и Кикоина-Носкова. Фотогальванический эффект в средах без центра инверсии. |
| 6 | Процессы излучения в полупроводниках | Люминесценция полупроводников. Спонтанное и вынужденное излучение. Инверсная заселенность и условия Бернара-Дюрафура. Квазиуровни Ферми. Методы создания инверсной заселенности в полупроводниках. |
| 7 | Индуцированное излучение в полупроводниках. | Индуцированное излучение в резонаторе. Потери энергии и пороговая мощность накачки. Гетероструктуры для оптоэлектроники. Перенос вращательного в металлических и туннельных магнитных гетероструктурах. Эффект Слончевского-Берже. Переключение спинов и микроволновая генерация спиновых колебаний в спин-вентильных элементах. Спиновый наногенератор. Эффект Рашбы и спин-орбитальное вращение спинов с сверхтонких магнитных гетероструктрах. |
| 8 | Воздействие радиации на полупроводники. | Физические процессы при бомбардировке твердых тел быстрыми заряженными и нейтральными частицами, распределение пробегов ионов в твердых телах, эффект каналирования в монокристаллах, число смещенных атомов, распределение дефектов по объему облучаемых полупроводников. Действие на полупроводники ионизирующих излучений. Радиационные дефекты. Полупроводниковые счетчики жестких излучений. Ионная имплантация. Распределение внедренных ионов. Эффект каналирования. Дефектообразование и отжиг дефектов. Области использования технологии ионной имплантации. Легирование полупроводников с помощью ядерных реакций (трансмутационное легирование). |
| 9 | Физические основы наноэлектроники. | Способы получения новых полупроводниковых материалов на основе углерода: фуллерен, углеродные нанотрубки, графен. Технологии молекулярной электроники. Акустоэлектронные явления. Неупругое рассеяние света на колебаниях решетки. Генерация и детектирование гиперзвуковых волн в пьезоэлектрических полупроводниках. Барьерные эффекты и явления. Интерференционные явления. Перспективы миниатюризации и быстродействия электронных приборов. Наноэлектроника. Оптоэлектроника и криоэлектроника |

**3.2. Лабораторные работы и (или) практические занятия**

**3.2.1 Практические работы**

Таблица 3.4 – Практические работы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование практического занятия.** | **Объем, час.** |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Электропроводность и подвижность.  Механизмы рассеяния носителей заряда. | 2 |
| 2 | Термоэлектрические явления и электронная теплопроводность. | 2 |
| 3 | Межзонная рекомбинация. | 2 |
| 4 | Размерное квантование в полупроводниковых структурах. | 2 |
| 5 | Поглощение электромагнитного излучения в полупроводниках. | 2 |
| 6 | Процессы излучения в полупроводниках. | 2 |
| 7 | Индуцированное излучение в полупроводниках. | 2 |
| 8 | Воздействие радиации на полупроводники. | 2 |
| 9 | Физические основы наноэлектроники. | 2 |
|  | **Итого:** | 18 |

**3.2.2 Лабораторные работы**

Не предусмотрены.

**3.3 Самостоятельная работа аспирантов (СРС)**

Таблица 3.5 – Самостоятельная работа аспирантов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Наименование раздела дисциплины | Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час. |
| 1 | 2 | 4 |
| 1 | Электропроводность и подвижность.  Механизмы рассеяния носителей заряда. | 8 |
| 2 | Межзонная рекомбинация. Размерное квантование в полупроводниковых структурах.  Составление *индивидуального словаря научных терминов.* | 8 |
| 3 | Поглощение электромагнитного излучения в полупроводниках. Процессы излучения в полупроводниках. Индуцированное излучение в полупроводниках. Семинар-дискуссия. | 8 |
| 4 | Воздействие радиации на полупроводники. Физические основы наноэлектроники. Семинар-дискуссия. | 8 |
| 5 | Подготовка к *зачету.*  Вопросы для подготовки к зачету см. в Приложении А. | 4 |
| Итого | | 36 |

#### Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы

Аспиранты могут при самостоятельном изучении отдельных тем и вопросов дисциплин пользоваться учебно-наглядными пособиями, учебным оборудованием и методическими разработками кафедры в рабочее время, установленное Правилами внутреннего распорядка работников.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по данной дисциплине включает:

* библиотечный фонд укомплектован учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с УП и данной РПД;
* доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.
* обеспечение доступности всего необходимого учебно-методического и справочного материала;
* предоставление сведений о наличии учебно-методической литературы, современных программных средств.
* методические рекомендации, пособия по организации самостоятельной работы аспирантов;
* заданий для самостоятельной работы;
* темы рефератов и докладов;
* вопросы к зачету;
* помощь авторам в подготовке и издании научной, учебной и методической литературы;
* удовлетворение потребности в тиражировании научной, учебной и методической литературы.

### 

### **Образовательные технологии**

Таблица 3.6 – Образовательные технологии, используемые при проведении аудиторных занятий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование раздела (лекции, практического или лабораторного занятия) | Образовательные технологии | Объем, час. |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Электропроводность и подвижность. Механизмы рассеяния носителей заряда. | Семинар-тренинг | 2 |
| 2 | Межзонная рекомбинация. Размерное квантование в полупроводниковых структурах | Семинар-дискуссия | 2 |
| 3 | Воздействие радиации на полупроводники. Физические основы наноэлектроники. | Круглый стол | 2 |
| Итого: | | | 6 |

**6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

**6.1 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

**Опрос**

Раскрытие сути изучаемых физических эффектов и процессов в полупроводниковых материалах по мере освоения нового материала.

**Семинар-тренинг по** темам:

«Электропроводность и подвижность. Механизмы рассеяния носителей заряда».

Тестирование остаточных знаний усвоенных аспирантами в ходе изучения базового курса «Физика полупроводников»

**Сообщение аспиранта** в форме реферативного сообщения расширяющего и дополняющего лекционный материална темы:

Применение элементов и устройств, работающих на эффектах Зеебека, Пелтье и Томсона.

Транспортные и рекомбинационные фотоэлектронные процессы.

Построение элементов и устройств на сверхрешетках и наноструктурах.

Применение фотовольтаических и фотогальванических эффектов в полупроводниках.

Лазерные источники не гетероструктурных полупроводниках

Перспективы развития магноники.

**Семинар-дискуссия на тему**

«Межзонная рекомбинация. Размерное квантование в полупроводниковых структурах»

**Круглый стол** на тему

«Воздействие радиации на полупроводники. Физические основы наноэлектроники».

Примерный перечень вопросов к зачёту представлен в приложении А.

**7 Учебно-методическое и информaционное обеспечение дисциплины**

**7.1 Основная и дополнительная учебная литература**

**Основнaя литерaтурa**

1. Умрихин В. В.  Физические основы электроники [Текст]: учебное пособие / В. В. Умрихин; ЮЗГУ. - Курск: ЮЗГУ, 2011. - 316 с.

2. Умрихин В. В.  Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. В. Умрихин; ЮЗГУ. - Курск: ЮЗГУ, 2011. - 316 с.

**Дополнительная литерaтурa**

3. Марголин В. И.   Физические основы микроэлектроники [Текст]: учебник / В. И. Марголин, В. А. Жабрев, В. А. Тупик. - М.: Академия, 2008. - 400 с.: ил. - (Высшее профессиональное образование, Радиоэлектроника). - Библиогр: с. 395 (19 назв.).

4. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.Г. Зегря, В.И. Перель. - М.: Физматлит, 2009. - 336 с. Режим доступа – <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68394>

5. Лебедев, А.И. Физика полупроводниковых приборов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.И. Лебедев. - М. : Физматлит, 2008. - 488 с. Режим доступа – <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68403>

6. Кардона, Ю. П. Основы физики полупроводников [Текст] / Ю. П. Кардона. - 3-е изд. - М.: Физико-математической литературы, 2002. - 560 с.

**7.2 Учебно-методические разработки**

1. Исследование удельного сопротивления полупроводниковых материалов [Электронный ресурс] Мет.указания к лаб. работе по курсу «Физические основы микроэлектроники» // А.В. Кочура, В.В. Умрихин. – Курск: ЮЗГУ, 2012. - 12 с.

2. Исследование температурной зависимости проводимости полупроводников [Электронный ресурс] Мет.указания к лаб. работе по курсу «Физические основы микроэлектроники» // А.В. Кочура, В.В. Умрихин. – Курск: ЮЗГУ, 2012. - 11 с.

3. Кристаллическая решетка [Электронный ресурс] Мет.указания к лаб. работе по курсу «Физические основы микроэлектроники» // А.В. Кочура, В.В. Умрихин. – Курск: ЮЗГУ, 2012. - 17 с.

4. Исследование эффекта сильного поля в полупроводниках [Электронный ресурс] Мет.указания к лаб. работе по курсу «Физические основы микроэлектроники» // А.В. Кочура, В.В. Умрихин. – Курск: ЮЗГУ, 2012. - 12 с.

5. Исследование вольтамперной характеристики германиевого туннельного диода [Электронный ресурс] Мет.указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Физические основы микроэлектроники» // сост.: А.В. Кочура, В.В. Умрихин. – Курск: ЮЗГУ, 2012. - 11 с.

**7.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет**

1. nano-obr.ru – междисциплинарное обучение в сфере нанотехнологий;
2. http://www.ntmdt.ru – сайт крупнейшего в России производителя сканирующих зондовых микроскопов;
3. http://www.nanoscopy.org.
4. nist.gov/ (Национальный институт стандартов США);
5. isan.troitsk.ru/win/lsn\_01.htm (нанооптика);
6. nano-obr.ru – междисциплинарное обучение в сфере нанотехнологий
7. nano-obr.ru – междисциплинарное обучение в сфере
8. http://www.matter.org.uk/tem/
9. http://epmalab.uoregon.edullecture.htm
10. http://www.oxinst.com/wps/wcm/connect/Oxford+ Instruments/Groups/Product +Groups/N an oAnal ysis/EB SD/EB SD+Systems
11. http://mse.iastate.edu/microscopy/home.html
12. http://www.sfc.fr/Material/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/Electron Microscope/EMHistO verview.htm
13. http://profbeckman.narod.ru/RRO.htm
14. http://www.microscopy.ethz.ch/history.htm
15. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ guantum/moseley.html
16. <http://perst.issp.ras.ru>
17. <http://www.fnm.msu.ru>
18. http://www.nanaometer.ru

**7.4 Перечень информационных технологий**

Чтение лекций с использованием слайд-презентаций.

Консультирование посредством электронной почты.

Использование слайд-презентаций при проведении занятий, имеющихся на кафедре «Нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики» и в Региональном центре нанотехнологий:

– на электронных носителях в виде базы литературных источников электронной библиотеки для научной и учебной работы;

–в виде электронных текстов всех методических разработок и лекций по читаемой дисциплине;

– в виде демонстраций физико-химических явлений с использованием сайтов: <http://physics.nad.ru/> и <http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/comp.php>, а также в соответствии с пп. 8.3.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

* **Аудитории кафедры «Нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики»**

В учебном процессе по дисциплине «Физические процессы в полупроводниковых материалах» задействованы аудитории, предназначенные для проведения лекций.

* **Оборудование лекционных аудиторий**

1. Проектор
2. Ноутбук
3. Доска с маркерами (мелом)

* **Лабораторное оборудование (Региональный центр нанотехнологий)**

1. Система для малоуглового рентгеновского рассеяния Anton Paar SAXSess, оснащенная современным программным комплексом с выходом в Интернет.

2. Дифрактометр рентгеновского рассеяния GBM EMMA с высокотемпературной (1600 ̊С) камерой Anton Paar, оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет.

3. ИК-фурье спектрометры Thermo Scientific Nicolet IS550 и Agilent Technologies Cary 660 FTIR, оснащенные современными программными комплексами с выходом в Интернет.

4. Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM 6610 с модулем энергодисперсионного анализа Oxford X-Max (S1-XMX1002), оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет.

5. Сканирующий зондовый микроскоп, SmartSPM™, оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет, OmegaScope™ - СЗМ с конфокальным рамановским и флюоресцентным спектрометром, оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет.

6. Термостолик для зондового микроскопа и жидкостная ячейка с терморегулятором на эффекте Пельтье, AistNT SmartSPM.

7. На платформе АИСТ НТ СЗМ SmartSPM наноиндентор.

8. На платформе АИСТ НТ СЗМ SmartSPM 4-х зондовый измеритель электрического сопротивления.

8. Полуавтоматический однодисковый шлифовально-полировальный станок для металлографической пробоподготовки c насадкой Buehler Vector LC.

9. Установка лазерная для маркировки, гравировки и наноразмерного модифицирования поверхностей Argent.

10. Установка для плазменной очистки, синтезируемых наноматериалов и нанопокрытий промышленного назначения NICO.

11. Низкоскоростной прецизионный отрезной станок TECHCUT 4.

12. Установка для 3D реально-временной оптической микроскопии с опциями для внешних упругих, температурных, электрических и магнитных воздействий Lyncee Tes SA.

13. Установка для синтеза углеродных нанотрубок методом каталитического пиролиза жидких и газообразных углеродсодержащих смесей на подложках и сложных структурах CV DOMMA.

14. Эллипсометр с бинарной модуляцией состояния поляризации для определения оптических параметров наноматериалов ES-2LED.

15. Установка для получения монослоев методом Лэнгмюра-Блоджетт KSV Nima.

16. Технологическая установка для нанесения нанослоев методом магнетронного распыления МВУ ТМ Магна.

17. Система напыления тонких токопроводящих покрытий JEOL JEOLJFC 1600.

18. Высокотемпературная камера (нагрев до 1600 С) Anton PAAR-HTK-16.

19. Энергодисперсионнный анализатор химических элементов Oxford Instrumnts EDX.

20. Спектрофотометр СФ-2000.

21. Установка для измерения электропроводности и диэлектрической проницаемости нанокомпозитных материалов, нанослоев и нанопокрытий на постоянном токе и в переменных полях Instek LCR-819, 2011.

**Приложение А**

**Перечень вопросов для подготовки к зачёту**

1. Элементы зонной теории твердых тел. Основные приближения зонной теории. Классификация твердых тел по ширине запрещенной зоны.
2. Типы химических связей, строение полупроводниковых кристаллов. Трактовка запрещенной зоны энергий.
3. Классификация твердых тел по проводимости. Основные понятия квантовой физики при изучении полупроводниковых веществ. Основы зоной теории.
4. Симметрия в твердом теле. Точечные элементы симметрии. Дальний и ближний порядки. Элементарная ячейка.
5. Периодичность в природе и в твердых телах. Типы кристаллической структуры. Кристаллическая решетка.
6. Индексы. Вектор трансляции. Параметры решетки. Операции с индексами.
7. Дефекты кристаллической решетки и их роль в формировании свойств полупроводника. Нульмерные. Одномерные. Двумерные. Трехмерные.
8. Основные понятия кристаллографии. Узел. Направление. Плоскость. Совокупность плоскостей.
9. Проводимость твердых тел. Движение электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха.
10. Квазиимпульс, зоны Бриллюэна.
11. Подвижность и эффективная масса.
12. Динамика электрона в идеальной кристаллической решетке. Энергетический спектр электрона в кристалле.
13. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние, рассеяние на ионизированных атомах примеси.
14. Температурная зависимость подвижности носителей. Температурная зависимость удельной электропроводности металлов и полупроводников.
15. Примесные атомы, примесная проводимость, доноры и акцепторы. Примесная проводимость с точки зрения зонной теории.
16. Примесные уровни. Энергия активации примесных атомов. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники.
17. Собственные полупроводники, условие электронейтральности, положение уровня Ферми, равновесная концентрация носителей заряда.
18. Примесные полупроводники, равновесная концентрация носителей заряда в области истощения примесных атомов, положение уровня Ферми.
19. Равновесная концентрация носителей заряда при низких температурах, положение уровня Ферми.
20. Случай сильного вырождения.
21. Проводимость полупроводников и ее температурная зависимость.
22. Механизмы рассеяния носителей заряда и температурная зависимость их подвижности.
23. Равновесные и неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми.
24. Рекомбинационные эффекты. Скорость генерации, рекомбинации и время жизни свободных носителей заряда.
25. Различные типы процессов рекомбинации. Рекомбинация зона-зона, время жизни свободных носителей. Рекомбинация через примеси и дефекты.
26. Стационарные состояния. Большой уровень возбуждения, малый уровень возбуждения, времена жизни свободных носителей.
27. Поверхностные явления в полупроводниках. Поверхностная рекомбинация.
28. Дрейф и диффузия носителей заряда. Соотношения Эйнштейна.
29. Уравнение непрерывности и уравнение диффузии.
30. Уравнение непрерывности для полупроводников с учетом дрейфового тока, генерации и рекомбинации носителей заряда.
31. Термоэлектрические и гальваномагнитные явления в полупроводниках. Оптические свойства полупроводников.
32. Фотопроводимость и фотоЭДС в полупроводниках.
33. Генерация когерентного излучения в полупроводниках.
34. Электрические свойства кремния, германия, арсенида галлия. Строение их кристаллической решетки, зонная структура. Подвижность носителей, их эффективная масса.
35. Перенос носителей заряда в тонких пленках.
36. Физические ограничения режимов работы полупроводниковых приборов.