

| | |
|---|--|
|  | Министерство образования и науки Российской Федерации |
| | федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования <i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i> |
| | Рабочая программа дисциплины |
| | Факультет подготовки специалистов высшей квалификации |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе

_____ Н.Ю.Бабанов
«____» _____ 2015 г

Кафедра «Нанотехнологии и биотехнологии»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ОД.1**

«ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ, МАТЕРИАЛОВ И ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

Образовательная программа: основная профессиональная образовательная программа высшего образования – программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки: 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи
(код и наименование направления подготовки в аспирантуре)

Направленность (профиль): Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники
(наименование направленностей (профилей) подготовки в аспирантуре)

Присваиваемая квалификация:
«Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Форма обучения

_____ очная _____

Нижний Новгород 2015

Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» для аспирантов направления подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (профиль: Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники) / авт. В.М. Воротынцев – Нижний Новгород: НГТУ, 2015. - 22 с.

Рабочая программа предназначена для методического сопровождения преподавания дисциплины (модуля) «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» аспирантам очной формы обучения по направлению подготовки кадров высшей квалификации 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи» (профиль: Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 г. N 876.
2. Паспорт научной специальности 05.27.06 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», разработанный экспертами ВАК Минобрнауки России в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 г. № 59.
3. Программа-минимум кандидатского экзамена по научной специальности 05.27.06 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», утвержденная приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 № 274 «Об утверждении программ кандидатских экзаменов».
4. Учебные планы подготовки аспирантов НГТУ по направленностям (профилям) основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Автор _____ В.М. Воротынцев
(подпись)

_____ 2015 г.

© Воротынцев В.М., 2015

© ФГБОУВПО НГТУ, 2015

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

СОДЕРЖАНИЕ

| | | стр |
|-------|--|-----|
| 1 | Цель и задачи освоения дисциплины..... | 4 |
| 2 | Место дисциплины в структуре ОПОП ВО..... | 4 |
| 3 | Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)..... | 5 |
| 4 | Структура и содержание дисциплины (модуля)..... | 6 |
| 4.1 | Структура дисциплины (модуля)..... | 6 |
| 4.2 | Содержание дисциплины (модуля)..... | 7 |
| 4.2.1 | Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий..... | 7 |
| 4.2.2 | Содержание разделов дисциплины (модуля)..... | 7 |
| 4.3 | Практические занятия (семинары)..... | 12 |
| 4.4 | Лабораторные работы..... | 12 |
| 4.5 | Самостоятельная работа аспиранта при изучении разделов дисциплины | 12 |
| 5 | Образовательные технологии..... | 13 |
| 6 | Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины..... | 11 |
| 7 | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины ... | 16 |
| 7.1 | Основная литература..... | 16 |
| 7.2 | Дополнительная литература..... | 17 |
| 7.3 | Периодические издания..... | 18 |
| 7.4 | Интернет-ресурсы..... | 18 |
| 7.5 | Нормативные документы..... | 18 |
| 7.6 | Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта | 19 |
| 8 | Материально-техническое обеспечение дисциплины..... | 19 |
| | Лист согласования рабочей программы дисциплины..... | 21 |
| | Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины | 22 |

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

1 Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины: формирование и развитие у аспирантов компетенций в области специфических современных основ технологии производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники; обоснование выбора метода получения материалов, уяснение количественных связей между параметрами технологических процессов и свойствами материалов; знакомство с типовыми передовыми технологиями производства важнейших классов материалов, а также с новым технологическим оборудованием.

Задачи:

- формирование навыков и умений в области основных типов технологических процессов;
- изучение современных методов расчета процессов получения полупроводников, материалов и приборов электронной техники;
- освоение количественных расчетов технологических процессов.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина (модуль) «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» включена в вариативную часть Блока 1 Программы в качестве обязательной дисциплины. Шифр дисциплины - Б1.В.ОД.1.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных аспирантами в результате освоения образовательной программы высшего образования второго уровня (магистратура, специалитет), элективных дисциплин по направленности ОПОП ВО третьего уровня (аспирантура).

Дисциплина направлена на сдачу кандидатского минимума, осуществление научно-исследовательской деятельности аспиранта по направленности программы аспирантуры и подготовку научного доклада о результатах НКР (диссертации).

| Блок | Базовая или вариативная часть | Семестр, в котором преподается дисциплина | Трудоемкость дисциплины | | | | Вид промежуточной аттестации |
|--------------|-------------------------------|---|-------------------------|-------|-------------|-----|------------------------------|
| | | | Зачетные единицы | Часы | | | |
| | | | | Общая | В том числе | | |
| | | Аудиторная | СРО | | | | |
| Б1.В.ОД.1 | Вариативная часть | 5 | 3 | 108 | 12 | 96 | экзамен |
| | | 6 | 3 | 108 | 12 | 96 | |
| ИТОГО | | | 6 | 216 | 24 | 192 | экзамен |

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

Область профессиональной деятельности выпускников:

- теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, конструирование и проектирование материалов, приборов, устройств, установок, комплексов оборудования электро- и теплотехнического назначения, а также совокупность технических средств, способов и методов человеческой деятельности по производству, распределению электрической и тепловой энергии, управлению ее потоками и преобразованию иных видов энергии в теплоту;
- проектирование, конструирование, создание, монтаж и эксплуатацию электрических и электронных аппаратов;
- эксплуатация современных промышленных предприятий, транспортных систем, тепловых, гидро- и атомных электростанций, заводов, линий электропередач.

Объекты профессиональной деятельности:

- тепловые и атомные электрические станции, системы энергообеспечения предприятий, объекты малой энергетики нетрадиционные источники энергии;
- энергоблоки, парогазовые и газотурбинные установки;
- тепловые насосы;
- топливные элементы, установки водородной энергетики;
- тепло- и массообменные аппараты различного назначения;
- тепловые и электрические сети;
- теплоносители и рабочие тела энергетических и теплотехнологических установок;
- системы стандартизации;
- системы и диагностики автоматизированного управления технологическими процессами в тепло- и электроэнергетике.

Дисциплина «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» направлена на освоение следующих **видов профессиональной деятельности:**

- сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбор и обоснование методик и средств решения поставленных задач;
- разработки методик и организации проведения экспериментов и испытаний, анализ их результатов;

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

– разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере.

| № пп. | Формируемые компетенции | Номер/ индекс компетенции |
|-------|--|---------------------------|
| 1 | Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности | ОПК-1 |
| 2 | Способность выявлять проблемные места в области технологии и оборудования для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники, формулировать проблемы для исследования; ставить цель и конкретизировать ее на уровне задач; выстраивать научный аппарат исследования; строить модели исследуемых процессов или явлений | ПК-1 |
| 3 | Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области технологии и оборудования для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники с использованием передовых технологий | ПК-2 |

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

| Шифр компетенции | Шифр результата обучения | Результат обучения |
|------------------|--------------------------|---|
| ОПК-1 | З ¹ (ОПК-1)-4 | знать: основные принципы использования современных методов исследования в области технологии и оборудования для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники |
| ПК-1 | З ¹ (ПК-1)-1 | знать: современные тенденции и основные направления исследований в развитии технологии и оборудования для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники |
| ПК-2 | З ¹ (ПК-2)-3 | знать: основные методы и подходы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области технологии и оборудования для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники с использованием передовых технологий |

4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 часов).

4.1 Структура дисциплины (модуля)

| № п/п | Наименование дисциплины | Объем учебной работы (в часах) | | | | | | Вид итогового контроля | |
|-------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|------|-------|------|------------------------|-------------|
| | | Всего | Всего аудит. | Из аудиторных | | | | | Сам. работа |
| | | | | Лекц. | Лаб. | Прак. | КСР. | | |
| 1 | Технология и оборудование для | 216 | 24 | 24 | - | - | - | 192 | Экзамен |

**НГТУ****Рабочая программа дисциплины**

СК-РП-15.1-04-15

**Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1
«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»**

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|

4.2 Содержание дисциплины (модуля)**4.2.1 Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий**

| № раздела | Наименование раздела Дисциплины | Виды учебной работы и трудоемкость (в часах) | | | | Самостоятельная работа (СР) | Шифр результата обучения |
|-----------|---|--|------|-----|-----|-----------------------------|--|
| | | Лек. | Лаб. | Пр. | КСР | | |
| 1 | Физические и физико-химические основы электронной техники | 6 | - | - | | 48 | 3 ¹ (ОПК-1)-4 3 ¹ (ПК-1)-1 3 ¹ (ПК-2)-3 |
| 2 | Материалы электронной техники и технологии их получения | 6 | - | - | | 48 | 3 ¹ (ОПК-1)-4 3 ¹ (ПК-1)-1 3 ¹ (ПК-2)-3 |
| 3 | Физические основы приборов электронной техники | 6 | - | - | | 48 | 3 ¹ (ОПК-1)-4 3 ¹ (ПК-1)-1 3 ¹ (ПК-2)-3 |
| 4 | Технология получения структур микроэлектроники | 6 | - | - | | 48 | 3 ¹ (ОПК-1)-4 3 ¹ (ПК-1)-1 3 ¹ (ПК-2)-3 |
| ИТОГО: | | 24 | - | - | | 192 | |

4.2.2 Содержание разделов дисциплины (модуля)

| № п/п | Наименование раздела (темы) | Содержание раздела (темы) | Форма проведения занятий |
|-------|---|--|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Физические и физико-химические основы электронной техники | Основы кристаллографии. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Химическая связь. Соотношение ионных радиусов и структура кристаллов. Типы структур кристаллов. Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры. Политипизм и полиморфизм. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Температурная зависимость равновесных концентраций дефектов. Влияние дефектов на физические и химические свойства кристаллов – параметры решетки, плотность, пластичность, диффузию, электропроводность, оптические и магнитные свойства, теплопроводность, теп- | Лекции |



| | | | |
|---|---|--|--------|
| | | <p>лостойкость, коррозионную устойчивость и др.</p> <p>Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние примесей на равновесие собственных дефектов. Физико-химические основы процессов легирования. Изменение валентности примесных ионов. Взаимосвязь ионной и электронной разупорядоченности в кристаллах. Взаимное влияние примесей на их растворимость в кристаллической фазе. Современные методы исследования концентрации и распределения дефектов, вызванных нарушениями стехиометрии кристалла. Взаимодействие дефектов.</p> <p>Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов. Особенности диффузии по вакансиям, дислокациям и по поверхности кристаллов. Связь между подвижностью носителей заряда и коэффициентом диффузии. Проявление зависимости: электропроводность – концентрация дефектов – давление -температура. Процессы, контролируемые дефектами при спекании кристаллов. Кинетика гетерогенных процессов и ее методы в технологии получения кристаллов с дефектами. Основные закономерности топохимических реакций. Методы определения кинетических констант.</p> <p>Дифракция в кристаллах и обратная решетка; упругие колебания в кристаллах, оптические и акустические фононы; тепловые свойства кристаллов; модель свободных электронов, основы зонной теории, классификация твердых тел, статистика электронов.</p> | |
| 2 | Материалы электронной техники и технологии их получения | <p>Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов; сверхпроводящие металлы и сплавы; характеристика проводящих и резистивных материалов во взаимосвязи с их применением в электронной технике.</p> <p>Элементарные полупроводники. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. Принципы выращивания структурно-совершенных монокристаллов. Микродефекты в монокристаллах кремния. Механическая, химико-механическая, химическая обработка и очистка поверхности полупроводников.</p> <p>Полупроводниковые соединения АШВV. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства</p> | Лекции |



ва. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений $A^{III}B^V$ в связи с Р-Т-Х диаграммами. Методы кристаллизации и легирования. Тройные диаграммы состояния $A^{III}B^V$ – примесь. Компенсация и получение полуизолирующих кристаллов. Специфика подготовки подложек различных соединений $A^{III}B^V$. Влияние кристаллографических ориентаций. Травление жидкостное, расплавленное, газовое.

Получение широкозонных материалов – нитриды галлия, алюминия, бора. Эпитаксия арсенида галлия, фосфида галлия, арсенида индия, антимонида индия и твердых растворов. Применение соединений $A^{III}B^V$ в СВЧ-технике, оптоэлектронике, квантовой электронике.

Полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$ и $A^{IV}B^{VI}$. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание монокристаллов соединений с двумя летучими компонентами. Методы выращивания монокристаллов из газовой фазы и из расплава. Эпитаксия соединений. Методы управления стехиометрическим составом. Термообработка. Особенности получения соединений: сульфида кадмия, селенида кадмия, теллурида кадмия, сульфида свинца, твердых растворов. Области применения кристаллов: лазеры, оптические модуляторы, акустоэлектронные приборы, ИК-фотоприемники.

Применение аморфного кремния в фотоэлектрических преобразователях. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Понятие о физико-химических механизмах переключения памяти и оптической записи информации в халькогенидных стеклах. Особенности стеклообразования в халькогенидных системах и в оксидных системах. Синтез стеклообразных полупроводников и их свойства.

Магнитные материалы. Металлы и сплавы, ферриты, магнитодиэлектрики, магнитные полупроводники, аморфные интерметаллические соединения. Магнитные пленки. Цилиндрические магнитные домены (ЦМД). Методы их получения и контроля. Принцип действия запоминающих устройств на ЦМД.

Материалы вакуумной электроники. Требования к чистоте материалов и их газосодержанию. Основные требования, предъявляемые к материалам для получения вакуумплотных соединений. Особенности техно-



НГТУ

Рабочая программа дисциплины

СК-РП-15.1-04-15

Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1
«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

| | | | |
|---|--|--|--------|
| | | <p>логии изготовления корпусов ИС на основе металлов и стекловидных материалов: стекол, ситаллов и композиционных материалов.</p> <p>Материалы оптоэлектроники. Излучательные свойства твердых тех. Излучение света в полупроводниках. Полупроводники с прямой и непрямой запрещенной зоной. Материалы полупроводниковых светодиодов, лазеров и фотоприемников. Активные диэлектрики (LiNbO_3, LiTaO_3, KTiOPO_4), их физико-химические и оптико-физические свойства. Их применение в оптоэлектронике. Материалы для изготовления волоконных и планарных оптических волноводов.</p> | |
| 3 | Физические основы приборов электронной техники | <p>Свойства р-п перехода. Кинетические явления в полупроводниках. Электро- и теплопроводность полупроводников. Рассеяние носителей заряда. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Диффузия носителей и примесей. Невыпрямляющие контакты. Работа выхода. Эмиссия электронов. Термо-ЭДС. Эффект Пельтье.</p> <p>Физические основы работы основных типов полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, диодов Ганна.</p> <p>Явления переноса в твердых телах, контактные явления в полупроводниках, контакт металл—полупроводник и металл—диэлектрик—полупроводник (МДП), электронно-дырочный переход, изотипные и анизотипные гетеропереходы; полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, тиристоры, МДП-транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом.</p> <p>Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; траектория движения частиц в комбинированных полях. Электровакуумные и газоразрядные приборы: приемно-усилительные лампы, приборы СВЧ, фотоумножители, лучевые приборы, электронно-оптические преобразователи, газоразрядные приборы.</p> <p>Источники излучения. Физические основы работы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры. Полупроводниковые светодиоды и лазеры. Классификация и принцип работы. Полупроводниковые лазеры на гетеропереходах. Технология изготовления.</p> <p>Оптические волноводы. Принципы каналирования излучения. Волоконные, планарные и канальные волноводы. Основные компоненты систем оптической</p> | Лекции |



НГТУ

Рабочая программа дисциплины

СК-РП-15.1-04-15

Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1
«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

| | | | |
|---|--|---|--------|
| | | <p>связи со спектральным уплотнением. Оптические усилители. Интегрально-оптические элементы. Способы управления оптическим излучением. Электрооптические эффекты, фотоупругий эффект, магнитооптический эффект. Принципы нелинейной оптики. Преобразование частоты оптического излучения в волноводных структурах. Пьезоэффект. Основные принципы акустоэлектроники. Принцип работы пьезоэлектрических резонаторов и монолитных пьезоэлектрических фильтров.</p> | |
| 4 | Технология получения структур микроэлектроники | <p>Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. Легирование и автолегирование. Особенности выращивания структур со скрытыми слоями. Газофазная эпитаксия. Хлоридный, хлоридно-гидридный и МОС-гидридный методы. Жидкостная эпитаксия и области ее применения. Механизм кристаллизации из раствора в расплаве Фазовое равновесие. Равновесная и неравновесная кристаллизация. Коэффициент распределения примесей. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Структуры для СВЧ-транзисторов, диодов Ганна и Шоттки. Особенности получения тонких слоев с заданной неоднородностью распределения примесей. Структуры со скрытыми слоями. Получение структур с диэлектрическими и поликристаллическими слоями. Получение структур «кремний на изоляторе» (КНИ). Методы формирования КНИ структур. Методы прямого и непрямого сращивания для формирования структур КНИ. Глубокая имплантация ионов кислорода и азота. Расчет требуемых доз и энергий. Отжиг рекристаллизации ионно-имплантированных структур. Дефекты в ионно-имплантированных структурах КНИ. Формирование КНИ-структур методом окисления пористого кремния. Технология получения гетерослоев кремния на сапфире. Особенности получения и электрофизические свойства слоев. Структуры полупроводник-диэлектрик. Методы получения и основные электрофизические свойства структур диэлектрик-германий. Структуры диэлектрик – антимонид индия. Технология получения структур электрохимическим окислением. Электрофизические свойства структур. Основные нестабильности и методы их уменьшения. Структуры диэлектрик-арсенид галлия. Методы получения и электрофизические свойства. Основные трудности изготовления структур.</p> | Лекции |

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | <p>Структуры оптоэлектроники. Технология получения гетероструктур для лазеров и светодиодов. Планарные и канальные оптические волноводы. Особенности получения многослойных структур. Технология получения структур для солнечных батарей.</p> <p>Процессы толсто пленочной технологии. Приготовление порошков и паст для проводников и резисторов на основе палладия, серебра, золота, рутения, иридия, кадмия. Получение резисторов на основе окислов редких металлов, боридов, карбидов и нитридов. Приготовление порошков и диэлектрических паст на основе титанатов бария, кальция, висмута и др.</p> <p>Процесс ионного распыления материалов. Особенности распыления металлов и диэлектриков. Зависимость коэффициентов распыления различных факторов. Закономерности удаления материала с распыляемой поверхности и особенности их использования в технологических процессах микроэлектронного производства. Моделирование процессов распыления.</p> <p>Применение ионно-плазменных распылительных систем для нанесения и травления материалов. Физико-технологические основы процессов осаждения пленок и травления материалов. Модели процессов осаждения и травления материалов.</p> | |
|--|--|---|--|

4.3 Практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

4.4 Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

4.5 Самостоятельная работа аспиранта при изучении разделов дисциплины

Самостоятельная работа аспиранта при изучении дисциплины «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» составляет 192 часа.

В ходе самостоятельной работы аспирант:

- изучает материалы, не освещенные в лекциях;
- готовится к экзамену.

| | | |
|---|--|------------|
| № | Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение | Кол-во ча- |
|---|--|------------|

**НГТУ****Рабочая программа дисциплины**

СК-РП-15.1-04-15

**Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1
«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»**

| раздела | | СОВ |
|---------|---|-----|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Электронная эмиссия. Основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия. Электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки. | 48 |
| 2 | Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые элементы и материалы, их роль в современной технике. Понятие о чистоте вещества, методы определения и оценка чистоты Физико-химические основы глубокой очистки веществ. Понятие о коэффициенте разделения и распределения. Методы очистки. Зонная очистка. Сублимация. Ректификация. Хроматографическая очистка. Экстракция, Электролиз. Методы получения гидридов, хлоридов металлов и металлорганических соединений. | 48 |
| 3 | Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения, крена, микрогироскопы, микрофоны. Микромеханические приводы движения: пьезоэлектрические, емкостные, термомеханические, электромагнитные, пневматические актюаторы. Устройства микросмещения, микропозиционирования и микрозахвата. Микро- и наноманипуляторы. | 48 |
| 4 | Активные индикаторы. Электронно-лучевые трубки, светоизлучающие диоды, электролюминесцентные, газоразрядные индикаторы и др. Пассивные индикаторы. Жидкокристаллические, электрохромные индикаторы, индикаторы на PLZT- керамике и др. Сравнительные характеристики активных и пассивных индикаторов. Жидкокристаллические материалы. Основные электрооптические эффекты в жидких кристаллах. Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур. Процессы самоорганизации и самоформирования в технологии наноструктур. Проблемы создания упорядоченных наноструктурированных материалов на большой площади. | 48 |
| ИТОГО: | | 192 |

5 Образовательные технологии

При освоении дисциплины «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» используются следующие образовательные технологии:

- активные (лекции);
- информационные (анализ и обзор источников информации);
- компьютерные (виртуальные и сетевые интернет-технологии),
- информационно-коммуникативные (компьютеры, телекоммуникационные сети),

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

- коммуникативные (обсуждение проблем на аудиторных занятиях, круглые столы, диспуты, участие в аспирантских научных и научно-практических конференциях),
- проблемные задания аспирантам, и их представление, разбор конкретных ситуаций.

6 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

По итогам освоения дисциплины аспирантом сдается экзамен.

Текущий контроль освоения материала по каждому разделу дисциплины осуществляется тестированием.

Образцы оценочных средств для проведения текущего контроля в виде тестов

Тесты к разделу 1:

Вопрос 1: Основы кристаллографии.

Вопрос 2: Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств.

Тесты к разделу 2:

Вопрос 1: Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению.

Вопрос 2: Физическая природа электропроводности металлов.

Тесты к разделу 3:

Вопрос 1: Свойства p-n перехода.

Вопрос 2: Кинетические явления в полупроводниках..

Тесты к разделу 4:

Вопрос 1: Методы эпитаксии кремния из газовой фазы.

Вопрос 2: Легирование и автолегирование.

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

**Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации
по итогам освоения дисциплины (экзамен)**

Оценивание «знаниевой» составляющей компетенции

| Шифр компетенции | Шифр результата обучения | Номер темы | Вопросы |
|------------------|--------------------------|------------|---|
| ОПК-1 | З ¹ (ОПК-1)-4 | 1 | 1. Основы кристаллографии. 2. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. |
| | | 2 | 3. Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. 4. Элементарные полупроводники. |
| | | 3 | 5. Кинетические явления в полупроводниках. 6. |
| | | 4 | 7. Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. 8. Легирование и автолегирование. |
| ПК-1 | З ¹ (ПК-1)-1 | 1 | 9. Политипизм и полиморфизм. 10. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. |
| | | 2 | 11. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. 12. Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. |
| | | 3 | 13. Магнетосопротивление. 14. Диффузия носителей и примесей. |
| | | 4 | 15. Хлоридный, хлоридно-гидридный и МОС-гидридный методы. 16. Жидкостная эпитаксия и области ее применения. |
| ПК-2 | З ¹ (ПК-2)-3 | 1 | 17. Температурная зависимость равновесных концентраций дефектов. 18. Дифракция в кристаллах и обратная решетка; упругие колебания в кристаллах. |
| | | 2 | 19. Получение широкозонных материалов – нитриды галлия, алюминия, бора. 20. Эпитаксия арсенида галлия, фосфида галлия, арсенида индия, антимонида индия и твердых растворов. |
| | | 3 | 21. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. 22. Электровакуумные и газоразрядные приборы. |
| | | 4 | 23. Структуры для СВЧ-транзисторов, диодов Ганна и Шоттки. 24. Особенности получения тонких слоев с заданной неоднородностью распределения примесей. |

**Описание показателей и критериев оценивания компетенций,
а также шкал оценивания**

Категорий «знать» применяется в следующих значениях:

«**знать**» – воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты.

Интегральный уровень сформированности компетенции определяется по следующим критериям:

- пороговый уровень дает общее представление о виде деятельности, основных закономерностях функционирования объектов профессиональной деятельности, методов и алгоритмов решения практических задач;

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

-базовый уровень позволяет решать типовые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения по известным алгоритмам, правилам и методикам;

-повышенный уровень предполагает готовность решать практические задачи повышенной сложности, нетиповые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения в условиях неполной определенности, при недостаточном документальном, нормативном и методическом обеспечении.

Критерии оценивания компетенции следующие:

проверка уровня сформированности «знаниевой» составляющей компетенции по теме:

- «Неудовлетворительно» – не способен излагать материал последовательно, допускает существенные ошибки.
- «Удовлетворительно» – допускает нарушения логической последовательности в изложении программного материала, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, имеются затруднения с выводами.
- «Хорошо» – способен логично мыслить, системно выстраивает изложение материала, излагает его, не допуская существенных неточностей.
- «Отлично» - свободно и уверенно оперирует предоставленной информацией, отлично владеет навыками анализа и синтеза информации, знает все основные методы решения проблем, использует в ответе материал монографической литературы.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература

| № п/п | Автор(ы) | Заглавие | Издательство, год издания | Назначение, вид издания, гриф | Кол-во экз. в библ-ке |
|-------|--|---|------------------------------|---|-----------------------|
| 1. | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Водзинский В.Ю., Офрова О.В. | Современное состояние и перспективы КМОП технологии в производстве СБИС | Нижний Новгород.: НГТУ, 2009 | Учебное пособие для магистрантов направления «Электроника и микроэлектроника» | 108 |
| 2 | Воротынцев В.М., Водзинский В.Ю., Блохина Н.П. | Моделирование ионной имплантации методом Монте-Карло | Нижний Новгород.: НГТУ, 2008 | Учебное пособие для магистрантов направления «Электроника и микроэлектроника» | 50 |
| 3 | Воротынцев В.М., Перовщиков | Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: учебн. Пособие | Нижний Новгород.: НГТУ, 2006 | Учебное пособие для студентов специальности 210104 | 20 |

**НГТУ****Рабочая программа дисциплины**

СК-РП-15.1-04-15

**Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1
«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»**

| | | | | | |
|---|-------------------------------|--|-------------------------------------|---|----|
| | В.А., Скупов В.Д. | | | | |
| 4 | Чистяков Ю. Д., Райнова Ю. П. | Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. Т. 1 | М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 | Учебное пособие для студентов технических университетов и вузов. Рекомендовано министерством образования и науки РФ | 30 |
| 5 | Акуленок М. В., Андреев В. М. | Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. Т. 2 | М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 | Учебное пособие для студентов физико-технических специальностей. Рекомендовано министерством образования и науки РФ | 8 |

7.2 Дополнительная литература

| № п/п | Автор(ы) | Заглавие | Издательство, год издания | Назначение, вид издания, гриф | Кол-во экз. в библ-ке |
|-------|---|---|-----------------------------------|--|-----------------------|
| 1 | Епифанов Г.И. | Физика твердого тела | СПб: «Лань», 2010 | Учебное пособие по спецкурсу "Физика твердого тела" и по ряду других учебных дисциплин ("Физические основы электронной техники", "Физические основы микроэлектроники" и др.) | 20 |
| 2 | Воротынцев В.М. | Наночастицы в двухфазных системах | М.: Издательство «Известия», 2010 | Научное издание | 10 на кафедре ФТМКЭТ |
| 3 | Воротынцев В.М., Перовщиков В.А., Скупов В.Д. | Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: учебн. пособие | Нижний Новгород.: НГТУ, 2006 | Учебное пособие для студентов ВУЗов | 85 |

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

7.3 Периодические издания

- Журнал «Физика и техника полупроводников»
- Журнал технической физики
- Журнал «Физика твердого тела»
- Журнал «Российские нанотехнологии»
- Журнал «Нанотехника»
- Journal of American chemical society
- Журнал прикладной химии
- Неорганический материалы

7.4 Интернет-ресурсы

- <http://www.edu.ru/> Российское образование. Федеральный портал
- <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/org.htm/> Химический факультет МГУ: лекции, практические занятия, методические указания
- <http://www.scopus.com> База цитирований
- <http://www.webofscience.com> База цитирований
- <http://www.rfbr.ru> Российский фонд фундаментальных исследований
- <http://www.rscf.ru> Российский научный фонд
- <http://www.elibrary.ru> Научная электронная библиотека
- Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева РАН <http://www.sei.irk.ru>
- Петербургский энергетический институт повышения квалификации Министерства энергетики Российской Федерации <http://www.peipk.spb.ru>
- Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения <http://www.niipr.ru>
- ОАО "Институт "ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ" <http://www.oaoesp.ru>
- Системный оператор Единой энергетической системы <http://www.so-ups.ru>

7.5 Нормативные документы

- Федеральный закон Российской Федерации «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29.12.2012 г.;
- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи», утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 876 от 30.07.2014 г.;
- Постановление правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013 г.;



- Распоряжение Правительства РФ от 23.07.2007 N 972-р «О Концепции федеральной целевой программы "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники" на 2008 - 2015 годы»
- Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. №1715-р
- Концепция интеллектуальной энергоэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью
- Федеральный закон № 261-ФЗ об энергосбережении и энергоэффективности (ред. от 13.07.2015)

7.6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта

Используются следующие виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, компьютерных классах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях.

Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе лекционных занятий.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные монографии, учебники и учебно-методические пособия, периодическую литературу, а также конспекты лекций.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа |
|--|---|--|
| Научно-исследовательская лаборатория анализа веществ а.1221, Лаборатория физики твердого тела а1330, Научно-исследовательская лаборатория а1334 Лекционные занятия – а.1334, «Лаборатория мембранных и каталитических процессов» а.1330, «Лаборатория метрологии и стандартизации», а. 1330а, «Научно-исследовательская лаборатория анализа веществ», а. 1221. Компьютерный класс ИВЦ а.6143 | Комплекс аппаратно-программный на базе газового хроматографа «Цветаналитик» с оригинальной проточно-вакуумной системой напуска анализа с набором детекторов (ПВД, ДТД, ДПР, ФИД, ПФД) - для проведения качественного анализа "in situ" по методу абсолютной градуировки и проведения кинетических исследований, а также определения количественного состава примесей и для проведения экспериментов по изучению сорбции методом обращенной газовой хроматографии Спектрометрическая лаборатория, Спектрофотометр ИК-Фурье, Shimadzu IRAffinity-1 - проведение ИК-Фурье исследований в газовой кювете PIKE 22 метра с возможностью прогрева реакционной зоны до 250 град С, для установления взаимодействия различных смесей хлоридов кремния в паровой | - Операционная система Windows XP, Prof, S/P3 (ПодпискаDreamSparkPremium действительна до 31.12.2017) - MSOffice 2007 лиц №43847744 (бес-срочная) - MS Access 2010 (ПодпискаDreamSparkPremium действительна до 31.12.2017). - MathCAD 14 (PKG-TL7517-FN, MMT-TL7517PN-T2 безсрочно) - Matlab R2008a Лиц №527840 - AutoCAD 2015 Серийный номер / ключ продукта 545-19358656 / 651G1 - Visual Studio 2008 (ПодпискаDreamSparkPremium действительна до 31.12.2017) - Dr.Web (срок лиц.2016-02-29 – 2017- |



НГТУ

Рабочая программа дисциплины

СК-РП-15.1-04-15

**Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1
«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»**

| | | |
|--|---|--|
| <p>Лекционные занятия – мультимедийный класс, лекционная аудитория а. 4207, 1329</p> | <p>фазе (анализ газовых потоков). Атомно-абсорбционный спектрофотометр Shimadzu AA-7000 снабженный автосемплером ASC-7000 и графитовой печью GFA-7000A. УФ-ВИД-спектрофотометр, Shimadzu UV mini-1240. Хромома-масс-спектрометр, Shimadzu GCMS-QP2010Plus - проведение количественного и качественного анализа с идентификацией основных компонентов и примесей хлорсиланов и других опасных газов на капиллярной колонке с большой толщиной неподвижной фазы для анализа агрессивных веществ с пределом обнаружения 10^{-5} об. % по исследуемым веществам. Многостадийный пиролизер Shimadzu EGA/PY3030D, инжектор и крана-дозатор фирмы Frontier Laboratories (Фронтье Лабораторис) для газового хромато-масс-спектрометра. Планетарная мельница Retsch PM100. Исследовательская лаборатория моделирования вакуумных процессов и компьютерный класс из 10 компьютеров объединенных в кластер для проведения физико-математических, квантово-химических исследований и 3D – моделирования. Вакуумный пост с турбомолекулярным и пластинчато-роторным вакуумным безмасляным насосами PFEIFFER Hi CUBE - для создания высокого вакуума в газовой кювете PIKE-22m используемой на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity Для исследования мембран: манометрические установки по определению газопроницаемости мембран (в стандартном исполнении и в исполнении для работы с агрессивными газами) Модельный стенд для приготовления газовых смесей волнометрическим методом, установка для ультразвуковой обработки, установка для определения смачиваемости, вакуумные насосы. Мультимедийные средства: проекторы, настенные экраны, ноутбуки. Доступ в Internet через локальную сеть 30 Мбит/с.</p> | <p>04-27) - Реферативные наукометрические базы (eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus), электронные библиотечные системы (издательства «Инженерные науки», «Лань», «Машиностроение», «Информатика», «НЭИКОН»).</p> |
| <p>Самостоятельная работа - залы электронных информационных ресурсов (Электронные классы) НТБ а.2210, 6119, 6162. Читальные залы а. 2202, 2203 - компьютерный класс ИВЦ а.1215</p> | <p>30 персональных компьютеров. Доступ к библиотечному фонду НГТУ. Доступ в Internet через локальную сеть 30 Мбит/с.</p> | |

| | |
|---|---|
|  | НГТУ |
| | Рабочая программа дисциплины |
| СК-РП-15.1-04-15 | Рабочая программа дисциплины Б1.В.ОД.1 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» |

**Дополнения и изменения в рабочей программе
дисциплины на 20__/20__ уч.г.**

Внесенные изменения на 20__/20__ учеб-
ный год

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе

(подпись, расшифровка подписи)

“ ____ ” _____ 20... Г

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

- 1)
- 2)

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на дан-
ный учебный год

СОГЛАСОВАНО:

Декан ФСВК

наименование факультета (института, где реализуется данное направление) личная подпись расшифровка подписи дата