



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**

**«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Физический факультет

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Технологические основы микро- и нанoeлектроники

Кафедра физической электроники

Образовательная программа  
11.04.04. – Электроника и нанoeлектроника

Профиль подготовки:  
Физическая электроника


Уровень высшего образования:  
Магистратура

Форма обучения:  
Очная

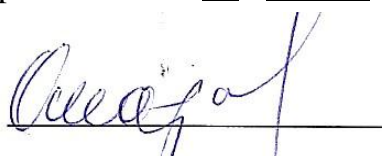
Статус дисциплины:  
Вариативная

Махачкала 2018

Рабочая программа дисциплины Технологические основы микро- наноэлектроники составлена в 2018 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04. –Электроника и наноэлектроника (уровень магистратуры) от 30 октября 2014 г. № 1407.

Разработчик: кафедра физической электроники,  
к.ф.-м.н., доцент Исмаилов А.М. 

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физической электроники от «18» июня 2018г., протокол № 11

Зав.кафедрой  Омаров О.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «29» июня 2018г., протокол № 11.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 30 » июня 2018 г.

Начальник УМУ  Гасангаджиева А.Г

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Технологические основы микро- и наноэлектроники» входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры, по направлению подготовки 11.04.04. – Электроника и наноэлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физической электроники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных со строением и свойствами твердых тел (кристаллических и аморфных) и происходящих в них физических явлениях.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: профессиональных - ОК-2, ОПК-4, ПК-2, ПК-8.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: *тестирование, контрольные работы, устный опрос, защита рефератов, итоговый контроль в форме зачета.*

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экза- мен	Форма промежу- точной аттеста- ции (зачет, диф- ференцированный зачет, экзамен
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экза- мен		
		всего	из них						
		Лек- ции	Лабора- торные занятия	Практи- ческие занятия	КСР	консуль- тации			
7	108	32	10	22	-	-	-	76	зачет

### 1. Цели и задачи дисциплины

**Целью** освоения дисциплины «Технологические основы микро- и наноэлектроники» является:

- изучение закономерностей протекания основных технологических операций, применяемых при изготовлении материалов и изделий электроники и наноэлектроники;
- изучение расчетных и экспериментальных методов определения режимов технологических операций;
- изучение принципов действия основных элементов вакуумного оборудования и технологических устройств;
- формирование у студентов навыков работы на технологическом оборудовании.
- изучение магистрами типовых технологических процессов изготовления изделий электроники и наноэлектроники;

- ознакомление студентов с проблемами и перспективными направлениями в микроэлектронике (переход к наноэлектронике).

**Основными задачами** дисциплины являются:

- формирование знаний о физических принципах работы приборов микро- и наноэлектроники изучение основных физических, физико-химических процессов и закономерностей сплошных сред, которые используются при проектировании, производстве и эксплуатации электронных средств;
- формирование навыков экспериментальных исследований материалов и приборных структур электронной, микроэлектронной техники, наноэлектроники;
- формирование у студентов практических навыков работы с технологическим оборудованием, используемым в технологии производства интегральных схем и полупроводниковых приборов.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры**

Дисциплина «Технологические основы микро- и наноэлектроники» входит в *вариативную* часть образовательной программы *магистратуры* по направлению 11.04.04. –Электроника и наноэлектроника.

Дисциплина «Технологические основы микро- и наноэлектроники» относится к профессиональному циклу по магистерской программе «Физическая электроника» и направлена на изучение физических основ работы полупроводниковых приборов, которые являются основой современной микро и наноэлектроники, с целью выработки умений и навыков их использования в профессиональной деятельности.

Дисциплина «Технологические основы микро- и наноэлектроники» логически и содержательно взаимосвязана с такими дисциплинами как «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», «Твердотельная электроника», «Физика твердого тела» и др.

Дисциплина связана с предшествующими ей курсами математики и физики. Требуется знания разделов: дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, уравнения математической физики, электричество и магнетизм, основы квантовой механики и статистической физики. К «входным» знаниям можно отнести также вопросы «Кристаллографии», «Основы зонной теории твердого тела», «Статистика носителей заряда в полупроводниках» и др.

Знания, умения и навыки, полученные в результате освоения дисциплины, необходимы и используются при проведении экспериментальных исследований, в том числе при выполнении курсовых и диссертационных работ магистрами 1 и 2 года обучения.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ОК-2	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химические явления, протекающие при проведении технологических процессов микро- и нанозлектроники;</li> <li>- методику проведения базовых технологических операций: эпитаксии, легирования, литографии, нанесения тонких пленок, химической, ионно-плазменной, электронной, лазерной, зондовой обработки.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять на практике полученные знания при организации научно-исследовательских работ.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью управлять коллективом.</li> </ul>
ОПК-4	Способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологические основы и принципы современной науки.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- готовить методологическое обоснование научного исследования и технической разработки в области электроники.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками методологического анализа научного исследования и его результатов.</li> </ul>
ПК-2	Способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологические операции микроформообразования и формирования наносистем;</li> <li>- базовые физические принципы функционирования компонентов микро- и наносистемной техники;</li> <li>- элементы, компоненты и устройства микросистемной техники;</li> <li>- основы проектирования изделий микро- и наносистемной техники.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проектировать изделия микро- и наносистемной техники.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с современным программным обеспечением для проектирования устройств микро-системной техники.</li> </ul>
ПК-8	Способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструктивные особенности и методы расчета электронных приборов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструировать электронную компонентную базу.</li> </ul>

		<b>Владеть:</b> - современными методами системы автоматизированного проектирования (САПР) электронных приборов.
--	--	--

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 108 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
<b>Модуль 1.</b>									
1	Введение, предмет и задачи курса. Наука о материалах, полупроводниковое материаловедение. Классификация полупроводниковых материалов.	7		1		2		8	Устный опрос
2	Структурное совершенство вещества (монокристалл, поликристалл, текстура, аморфное состояние). Основные электрофизические свойства полупроводников.	7		1		2		8	Устный опрос
3	Основы кристаллохимии полупроводников. Управление дефектами в кристаллах.	7		2		3		10	Устный опрос
4	Элементарные полупроводники (структура, свойства, применение).	7		2		3		10	Устный опрос
	<i>Итого по модулю 1:</i>			6		10		36	Контрольная работа, коллоквиум.
<b>Модуль 2.</b>									
1	Широкозонные по-	7		1		3		10	Устный опрос

	лупроводники.								
2	Технология объемных полупроводниковых материалов.	7		1		3		10	Устный опрос
3	Полупроводниковые пленки, наноструктуры.	7		1		3		10	Устный опрос
4	Перспективные полупроводниковые материалы.	7		1		3		10	Устный опрос
	<i>Итого по модулю 2:</i>			4		12		40	Контрольная работа, коллоквиум.
	<b>Всего за семестр</b>			10		22		76	Зачет

### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

#### Модуль 1.

**Тема 1.** Предмет и задачи курса. Наука о материалах, полупроводниковое материаловедение. Классификация полупроводниковых материалов (элементарные, оксидные, широкозонные, двойные полупроводниковые вещества, тройные полупроводниковые соединения, четверные полупроводниковые фазы, некристаллические полупроводники). Чистота полупроводниковых материалов и их маркировка. Роль полупроводниковых материалов в развитии элементной базы электроники.

**Тема 2.** Понятие о кристалле (кристаллическая решетка, кристаллическая структура, базис, элементарная ячейка). Поликристалл, кристаллит, межкристаллитные границы и их влияние на свойства материала. Преимущественная ориентация кристаллитов, текстура. Аморфное состояние вещества (аморфный кремний, металлические стекла). Качественная оценка структурного совершенства вещества по данным электронной и рентгеновской дифракции.

**Тема 3.** Основные понятия кристаллохимии (атомные и ионные радиусы, координационное число, плотнейшие упаковки частиц в структурах, основные типы кристаллических структур). Классификация дефектов. Линейные и винтовые дислокации, границы зерен. Управление дефектами в кристаллах, зависимость физических свойств от дефектности кристалла (структурно-чувствительные свойства). Квазихимический метод описания дефектов, закон действующих масс. Равновесная концентрация точечных дефектов (термодинамический расчет дефектов по Френкелю и Шоттки).

**Тема 4.** Элементарные полупроводники (структура, свойства, применение). Получение и основные свойства германия, кремния, арсенида галлия. Теллур (тонкие пленки, наноструктуры) – перспективный материал для газовых сенсоров.

#### Модуль 2.

**Тема 1.** Широкозонные полупроводники. Нитриды галлия, алюминия, индия. Технологические аспекты, проблемы выращивания объемных кри-

сталлов). Гетероэпитаксия и подложки (МЛЭ, химическое осаждение из паровой фазы с использованием металлоорганических соединений). Приборы на основе III-нитридов, светодиодное освещение. Карбид кремния, мощные светодиоды. Оксид цинка, проблемы технологии, наноструктуры, применения, перспективы. Перспективные области применения широкозонных материалов и приборов, экстремальная электроника.

**Тема 2.** Выращивание монокристаллов полупроводников методом Чохральского. Влияние условий выращивания на размеры и качество монокристаллов. Очистка полупроводниковых материалов методом зонной плавки. Легирование полупроводников. Получение объемных кристаллов полупроводников из газовой фазы. Метод химических транспортных реакций.

**Тема 3.** Полупроводниковые тонкие пленки, определения. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм роста *Фольмера-Фебера*; послойный механизм роста *Франка-ван-дер-Мерве*; смешанный механизм роста *Странского-Кростанова*). Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины. Система кремний на изоляторе (КНИ), кремний на сапфире (КНС), технология, свойства, преимущества. Основные методы получения тонких пленок.

Полупроводниковые наноструктуры (квантовая яма, квантовая нить, квантовая точка). Технология получения полупроводниковых наноструктур, свойства, применения.

**Тема 4.** Перспективные полупроводниковые материалы в различных областях электроники (микроэлектроника, солнечная энергетика, фотоэлектроника, функциональная электроника, экстремальная электроника, светодиодная техника).

### Содержание лекционных занятий

<b>Модуль 1.</b>	
<b>Тема 1</b>	<b><u>Лекция 1.</u></b> Предмет и задачи курса. Наука о материалах, полупроводниковое материаловедение. Классификация полупроводниковых материалов (элементарные, оксидные, широкозонные, двойные полупроводниковые вещества, тройные полупроводниковые соединения, четверные полупроводниковые фазы, некристаллические полупроводники).
<b>Тема 2</b>	<b><u>Лекция 2.</u></b> Понятие о кристалле (кристаллическая решетка, кристаллическая структура, базис, элементарная ячейка). Поликристалл, кристаллит, межкристаллитные границы и их влияние на свойства материала. Преимущественная ориентация кристаллитов, текстура. Аморфное состояние вещества (аморфный кремний, металлические стекла).



<b>Тема 3</b>	<b><u>Лекция 3.</u></b> Основные понятия кристаллохимии (атомные и ионные радиусы, координационное число, плотнейшие упаковки частиц в структурах, основные типы кристаллических структур). Классификация дефектов. Линейные и винтовые дислокации, границы зерен. Управление дефектами в кристаллах, зависимость физических свойств от дефектности кристалла (структурно-чувствительные свойства).
<b>Тема 4</b>	<b><u>Лекция 4.</u></b> Элементарные полупроводники (структура, свойства, применение).
<b>Модуль 2.</b>	
<b>Тема 1.</b>	<b><u>Лекция 5.</u></b> Широкозонные полупроводники. Нитриды галлия, алюминия, индия. Технологические аспекты, проблемы выращивания объемных кристаллов). Гетероэпитаксия и подложки (МЛЭ, химическое осаждение из паровой фазы с использованием металлорганических соединений).
<b>Тема 2.</b>	<b><u>Лекция 6.</u></b> Выращивание монокристаллов полупроводников методом Чохральского. Влияние условий выращивания на размеры и качество монокристаллов. Очистка полупроводниковых материалов методом зонной плавки.
<b>Тема 3.</b>	<b><u>Лекция 7.</u></b> Полупроводниковые тонкие пленки, определения. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм роста <i>Фольмера-Фебера</i> ; послойный механизм роста <i>Франка-ван-дер-Мерве</i> ; смешанный механизм роста <i>Странского-Кростанова</i> ). Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины. Система кремний на изоляторе (КНИ), кремний на сапфире (КНС), технология, свойства, преимущества. Основные методы получения тонких пленок.
<b>Тема 4.</b>	<b><u>Лекция 8.</u></b> Перспективные полупроводниковые материалы в различных областях электроники (микроэлектроника, солнечная энергетика, фотоэлектроника, функциональная электроника, экстремальная электроника, светодиодная техника).

## 5. Образовательные технологии

1. Формы проведения занятий: лекции, лабораторные занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачет.
2. Предусмотрено проведение проблемной лекции с приглашением спе-

циалистов из Дагестанского научного центра РАН, занимающихся исследованиями в области физики полупроводников.

### 3. Лекционные демонстрации:

- коллекция природных и искусственных кристаллов (кварц, оксид цинка (гидротермальный метод), монокристаллические пластинки кремния, германия, арсенида галлия, антимонида индия (метод Чохральского), галлий-гадолиниевого граната и др.).

### 4. Выполнение лабораторных работ в следующих лабораториях:

- Научно-исследовательская лаборатория физики тонких пленок (электронограф ЭГ-75 – демонстрация дифракции быстрых электронов на отражение; технологические установки для синтеза кристаллов, слоев и тонких пленок различных веществ (метод термовакuumного напыления, метод магнетронного распыления, метод химических транспортных реакций).

- Лаборатория рентгеновской дифракции (порошковый дифрактометр Empyrean Series 2 (PANalytical, Нидерланды) – демонстрация метода порошка).

- Лаборатория зондовой микроскопии (комплекс Ntegra\_Spectra HT-МДТ, Россия – общие принципы работы атомно-силового микроскопа (АСМ) и сканирующего туннельного микроскопа (СТМ)).

- Лаборатория растровой электронной микроскопии (общее ознакомление с принципом работы растрового электронного микроскопа)

### 5. Тематические коллекции видеороликов из сети Интернет.

6. По лекционному материалу подготовлено учебное пособие, конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе PowerPoint. Не всегда удается изложить весь материал на лекциях, поэтому вывод формул, более детальное рассмотрение некоторых вопросов выносятся студентам на самостоятельное изучение. Трудно проводить четкую грань между лекционными и практическими занятиями. Поэтому допускается комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистров.**

На самостоятельную работу выносятся часть лекционного материала для более полного освоения. Например, вывод формул целесообразно перенести на самостоятельную работу, сэкономив время лекции для охвата вопросов общего характера. Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более

эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

Самостоятельная работа студента:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций, учебной литературе);
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;
- изучение теоретического материала при подготовке к лабораторным занятиям;
- итоговое повторение теоретического материала при подготовке к зачету.

Для самостоятельного изучения дисциплины выносятся часть материала по всем темам дисциплины с самоконтролем по контрольным вопросам. Кроме того, для контроля самостоятельной работы на лекционных занятиях предусматриваются экспресс-опросы.

### **Вопросы для самостоятельного изучения.**

#### ***Модуль 1.***

##### Лабораторная работа № 1.

1. Понятие о паре и газе.
2. Температурная зависимость упругости паров различных веществ.
3. Температура испарения вещества как критерий ее пригодности для получения тонких пленок термовакuumным методом.
4. Критическая плотность атомного пучка, критическая температура.
5. Типы испарителей. Преимущества и недостатки термовакuumного метода (молекулярно-лучевой метод).
6. Понятие о вакууме, степени вакуума (критерии Кнудсена).
7. Основное уравнение вакуумной техники.
8. Получения вакуума. Типы вакуумных насосов (форвакуумные: масляные, сухие; высоковакуумные: диффузионные, криогенные).
9. Измерения вакуума, вакуумметры и датчики (механические, тепловые, ионизационные).
10. Начертить схемы вакуумных систем технологических установок (с использованием принятого стандарта обозначений элементов вакуумных систем).

##### Лабораторная работа № 2.

1. Стадии формирования тонких пленок на поверхности подложек.

2. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования.
3. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм роста *Фольмера-Фебера*; послойный механизм роста *Франка-ван-дер-Мерве*; смешанный механизм роста *Странского-Кростанова*).
4. Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты.
5. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний.
6. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины.

#### Лабораторная работа № 3.

1. Монокристаллические подложки Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaAs, слюда (структура, свойства, применение).
2. Эпитаксиальный рост, правило Руайе, псевдоморфный слой.
3. Кристаллическая структура, физико-химические свойства теллура.
4. Температурная зависимость упругости паров.
5. Парциальный молекулярный состав паровой фазы теллура.

#### Лабораторная работа № 4.

1. Основы химической термодинамики. Основные термодинамические функции и соотношения между ними.
2. Условия фазового и химического равновесия, правило фаз Гиббса.
3. Тепловой эффект химической реакции, закон Гесса.
4. Закон действующих масс и константа химического равновесия.
5. Направление протекания химической реакции.
6. Зависимость константы равновесия от температуры и давления.
7. Примеры газотранспортных химических реакций (из технологии полупроводниковых материалов). Понятие о стандартном состоянии вещества.

### *Модуль 2.*

#### Лабораторная работа № 5.

1. Характеристика процесса ионного распыления.
2. Коэффициент распыления и его зависимость от условий распыления.
3. Распределение распыленных частиц по массам, углам, энергиям, зарядовому состоянию. Диодное, триодное, магнетронное распыление.
4. Физика тлеющего разряда, вольт-амперная характеристика, аномальный режим тлеющего разряда.
5. Движение заряженных частиц в магнетронном разряде.

6. Реактивное магнетронное распыление. Преимущества и недостатки магнетронного распыления, современное состояние, перспективы.

#### Лабораторная работа № 6.

1. Принцип действия ВЧ магнетронного распыления. Движение электрона в переменном ВЧ поле.
2. Рассчитать амплитуду движения иона в переменном ВЧ поле.
3. Постоянный потенциал ВЧ плазмы. Магнитное поле в устройствах ВЧ распыления.
4. Согласование и стабилизация ВЧ мощности в распылительных устройствах.
5. Преимущества и недостатки ВЧ магнетронного распыления по сравнению с магнетронной распылительной системой на постоянном токе и ВЧ-распылением без магнитного поля.

#### Лабораторная работа № 7.

1. Определение одномерных структур (нитевидные структуры, вис커сы, ленты и др.). Аспектное отношение.
2. Отличия структуры и свойств одномерных структур от объемных образцов.

### Итоговый контроль.

Зачет в конце семестра по результатам баллов двух модулей, итоговой тестовой контрольной, и выполненных лабораторных работ.

### 7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

#### 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОК-2	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллек-	<b>Знать:</b> - физико-химические явления, протекающие при проведении технологических процессов микро- и нанoeлектроники; - методику проведения базовых технологических операций: эпитаксии, легирования,	Устный опрос, письменный опрос.

	тивом	<p>литографии, нанесения тонких пленок, химической, ионно-плазменной, электронной, лазерной, зондовой обработки.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять на практике полученные знания при организации научно-исследовательских работ.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью управлять коллективом.</li> </ul>	
ОПК-4	Способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологические основы и принципы современной науки.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- готовить методологическое обоснование научного исследования и технической разработки в области электроники.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками методологического анализа научного исследования и его результатов.</li> </ul>	Устный опрос, письменный опрос.
ПК-2	Способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологические операции микроформообразования и формирования наносистем;</li> <li>- базовые физические принципы функционирования компонентов микро- и наносистемной техники;</li> <li>- элементы, компоненты и устройства микросистемной техники;</li> <li>- основы проектирования изделий микро- и наносистемной техники.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проектировать изделия микро- и наносистемной техники.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с современным программным обеспечением для проектирования устройств микросистемной техники.</li> </ul>	Устный опрос, письменный опрос.
ПК-8	Способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструктивные особенности и методы расчета электронных приборов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструировать электронную компонентную базу.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современными методами систе-</li> </ul>	Устный опрос, письменный опрос.

		мы автоматизированно-го проектирования (САПР) электронных приборов.	
--	--	---	--

## **7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 10 баллов,
- выполнение лабораторных заданий – 20,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 20 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 5 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 20 баллов.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

### **а) основная литература:**

1. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов. 3-ое изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2002, -424 с.
2. Гуртов, В. А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие/ В. А. Гуртов. – Москва, 2005. – 492 с.
3. Барыбин А.А., Сидоров В.Г. Физико-технологические основы электроники. – СПб.: Издательство «Лань», 2001. -272 с.
4. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. Физико-химические основы технологии микроэлектроники: учебное пособие для вузов / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, Т.1. – 2010. – 392 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Современное состояние и магистральные направления развития современной фотоэлектроники. –М.: Физматкнига, 2010. -128 с.
2. Медведев С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов. – М.: «Высшая школа», 1970. -504 с.

## **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

1. [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru) - Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия

2. Ресурсы Российской электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
3. Российские журналы по физике твердого тела: «Физика твердого тела», «Физика полупроводников», «Кристаллография», «Физика поверхности», «Журнал технической физики», «Успехи физики» и др.

#### **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- наглядные пособия;
- словарь терминов по твердотельной электронике;
- презентации лекций;
- образовательные интернет-ресурсы.

Самостоятельная работа студента:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций, учебной литературе);
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки.

Учебный материал дисциплины достаточно полно изложен в книгах списка основной литературы. Дополнительная литература рекомендуется с целью более глубокой проработки отдельных разделов программы для лучшего усвоения материала.

Большинство применяемых полупроводниковых материалов имеют кристаллическую структуру, поэтому необходимо уделить внимание изучению типов кристаллических решеток, особенно таких распространенных материалов микроэлектроники, как кремний, германий, арсенид галлия.

Структура реальных кристаллов характеризуется наличием равновесной концентрации различного рода дефектов. Примесные дефекты в полупроводниковых кристаллах оказывают значительное влияние на конструкцию и электрические характеристики пассивных и активных элементов полупроводниковых структур. Количество примесей может регулироваться в технологическом процессе формирования кристалла.

Изучение основ зонной теории твердых тел позволяет судить об энергетическом состоянии носителей зарядов в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Зонная структура и энергетический спектр электронов в кристалле описывается одноэлектронным уравнением Шредингера. Для лучшего усвоения этой темы рекомендуется повторить из раздела квантовой механики описание движения частиц волновым уравнением Шредингера. Рекомендуется сопоставлять движение свободного электрона в вакууме и в кристалле.

Поведение носителей заряда в твердом теле описывается статистической функцией распределения. Необходимо усвоить, какими функциями распределения описываются различные состояния электронного газа в кристалле.



Электропроводность кристаллической структуры представляет собой явление, связанное с переносом свободных носителей заряда под действием электрического поля. Перенос свободных носителей заряда характеризуется такими основными понятиями, как дрейф и диффузия.

Обогащение полупроводника носителями зарядов может происходить за счет введения их через контакт, генерации светом, потоком заряженных частиц и т.д. Все это приводит к появлению избыточных, неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Здесь следует обратить внимание на уравнение непрерывности, описывающее поведение избыточных носителей в полупроводниках, и такие явления, как генерация и различные виды рекомбинации, которые влияют на свойства полупроводниковых приборов.

При изучении физических принципов работы полупроводниковых приборов следует обратить внимание на связь их параметров с параметрами материалов, используемых для их изготовления.

### **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

1. Компьютерные и мультимедийное оборудование в ходе изложения лекционного материала (лекции в виде презентаций).
2. Конспекты лекций и справочной литературы.
3. Тематические видеоролики из интернета.

### **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

1. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием.
1. «Научно-исследовательская лаборатория физики тонких пленок». Возможность ознакомления магистров с тонкопленочной технологией получения твердотельных структур (метод термовакuumного напыления, метод магнетронного распыления, метод химических транспортных реакций) и демонстрация образцов при прохождении соответствующей темы (фоторезистор на основе ZnO, полевой транзистор на основе нитридного кристалла (вискера) теллура, тонкопленочный p-n- переход n-ZnO/p-Si).
2. Электронограф ЭГ-75. Демонстрация явления катодолюминесценции (образец: структура ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
3. Оптоволоконный спектрофотометрический комплекс AvaSpec-ULS2048x64-USB2 (дифракционная решетка - 300 мм<sup>-1</sup>, диапазон - 250-1160 нм, входная оптическая щель - 50 мкм, разрешение - 2,4 нм, 2048x64 пиксельный CCD детектор). Используется в качестве лекционной демонстрации для снятия спектров излучения светодиодов и по-

лупроводниковых лазеров, пропускания и поглощения пленок на прозрачных подложках (ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**Составитель:**

кандидат физ.-мат. наук,  
доцент кафедры  
физической электроники ДГУ

Исмаилов А.М.