

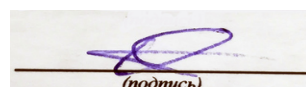
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Материалы электронной техники»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль «Интегральная электроника и нанoeлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры МЭОФ  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол №5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «**Материалы электронной техники**» являются:

- изучение закономерностей формирования функциональных материалов электронной техники с заданными свойствами;
- формирование умений и навыков использования теоретических знаний в области материаловедения для практических задач применения в изделиях электронной техники.

### 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «**Материалы электронной техники**» относится к обязательной части и имеет индекс Б1.О.21.

Данная дисциплина требует для своего изучения знания общего курса физики (разделы «Электричество», «Молекулярная физика»), «Основы кристаллографии и кристаллохимии».

Дисциплина «**Материалы электронной техники**» является основой для изучения последующих курсов, таких как «Нанoeлектроника», «Физические основы электроники», «Микроэлектроника», «Актуальные вопросы микро- и нанoeлектроники».

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
ПК- 5 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ИД_ПК-5.1. Знает физические характеристики материалов и изделий электронной техники	<b>Знает:</b> - основные понятия электронного материаловедения, основные методы получения и исследования свойств материалов, свойства и области применения перспективных материалов электроники;  <b>Умеет:</b> - применять полученные знания для анализа параметров и характеристик материалов электроники, использовать физические законы для предсказания поведения материалов в разных условиях, оперировать физическими и технологическими терминами и величинами;  <b>Владеет навыками:</b> - практических приемов при работе с материалами твердотельной электроники и микроэлектроники, измерения основных параметров материалов, самостоятельной работы на установках контроля физических характеристик.

	<p>ИД_ПК-5.2. Знает технологические процессы создания материалов, приборов и устройств электроники и наноэлектроники</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные технологические процессы материаловедения, основные подходы к получению материалов электроники;</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять полученные знания для формирования материалов электроники с заданными свойствами, использовать физические законы для предсказания поведения материалов в разных технологических условиях;</li> </ul> <p><b>Владеет навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практических приемов контроля свойств материалов твердотельной электроники и микроэлектроники в процессе их получения.</li> </ul>
	<p>ИД_ПК-5.3. Осуществляет настройку приборов и оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные правила безопасной работы с приборами и оборудованием;</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- производить настройку приборов и оборудования в соответствии с технической документацией;</li> </ul> <p><b>Владеет навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практических приемов работы с измерительным оборудованием при контроле свойств материалов твердотельной электроники.</li> </ul>

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение	5	2					4	Дискуссия
2	Физико-химические принципы технологии материалов электроники. Диаграммы состояний	5	2			1		6	Дискуссия
3	Полупроводниковые материалы электроники	5	2		6	1		6	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
4	Диэлектрические материалы электроники	5	2		8			6	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
5	Проводящие и резистивные материалы электроники	5	2		8	1		6	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
6	Полупроводниковые твердые растворы	5	2					6,7	Дискуссия
7	Всего за 5 семестр		12		22	3		34,7	
8							0,3		зачет
9	<b>Всего</b>		<b>12</b>		<b>22</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>34,7</b>	

*Примечание. Формы ЭО и ДОТ не предусмотрены. В случае перехода на дистанционное обучение будут использованы возможности LMS Moodle и других ресурсов.*

#### Содержание разделов дисциплины:

##### РАЗДЕЛ 1. Введение

Классификация материалов электронной техники. Функциональное назначение и основные параметры. Закономерности образования полупроводниковых, сверхпроводящих, диэлектрических, магнитных и металлических фаз с заданными свойствами для электронной техники.

## РАЗДЕЛ 2. Физико-химические принципы технологии материалов электроники.

### Диаграммы состояний

Термодинамические основы технологических процессов. Управление фазовыми превращениями материалов. Диаграммы состояния бинарных систем. Диаграммы состояний простого типа. Диаграммы состояний эвтектического типа. Примеры использования диаграмм состояния в технологии электроники. Управление точечными дефектами в кристаллах.

## РАЗДЕЛ 3. Полупроводниковые материалы электроники

Общая классификация полупроводниковых материалов. Основные параметры важнейших полупроводников. Сравнительная характеристика германия, кремния, арсенида галлия, карбида кремния и областей их применения. Кремний как базовый материал современной электроники. Кристаллическая решетка, основные физико-химические свойства.

Химические свойства кремния. Кремний в расплавленном состоянии. Пористый кремний. Формирование и структура пористых полупроводников и пористого кремния.

Поликристаллический и аморфный кремний. Нанокристаллический кремний. Уникальные свойства семейства кремния.

## РАЗДЕЛ 4. Диэлектрические материалы электроники

Классификация диэлектрических материалов. Основные характеристики диэлектриков. Примеры использования диэлектрических материалов в электронике. Диоксид кремния, основные методы получения и свойства. Нитрид кремния, методы нанесения и свойства. Сравнительная характеристика областей применения  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$  в кремниевой технологии. Диэлектрические подложки в технологии гибридных интегральных схем.

## РАЗДЕЛ 5. Проводящие и резистивные материалы электроники

Классификация проводящих и резистивных материалов электроники. Физические основы проводимости металлических и резистивных материалов. Температурный коэффициент сопротивления. Примеры использования проводящих и резистивных материалов в гибридных интегральных схемах. Металлизация в полупроводниковых схемах.

## РАЗДЕЛ 6. Полупроводниковые твердые растворы

Полупроводниковые твердые растворы. Твердые растворы замещения, внедрения, вычитания. Неограниченная растворимость. Пример системы  $\text{PbTe-SnTe}$ . Правило Вегарда. Ограниченная растворимость. Система  $\text{PbSe-SnSe}$ . Бесщелевые полупроводники и полуметаллы. Четверные твердые растворы. Применение твердых растворов.

## Список лабораторных работ по курсу «Материалы электронной техники»

### Лабораторная работа № 1

Параметры монокристаллических кремниевых пластин

### Лабораторная работа №2

Измерение температурного коэффициента сопротивления резистивных пленок

### Лабораторная работа № 3

Изучение емкостных свойств диэлектрических пленок

### Лабораторная работа № 4

Измерение электропроводности диэлектриков

### Лабораторная работа № 5

Исследование гистерезиса ферромагнетиков в переменном магнитном поле

Лабораторная работа № 6

Измерение удельного сопротивления материалов электроники

Лабораторная работа № 7

Прозрачные проводящие пленки ZnO в электронике

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции обсуждаются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Лабораторная работа** – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения (при необходимости) используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Материалы электронной техники» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены материалы по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

**6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

**7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»

[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

**8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

**а) основная литература:**

1. Бялик А. Д. Материалы электронной техники. Полупроводники. Проводниковые материалы. Магнитные материалы : учебное пособие - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 99 с. - ISBN 978-5-7782-3222-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778232228.html>
2. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Руководство по проведению лабораторных работ «Материалы электронной техники». Лабораторный практикум. ЯрГУ, 2012
3. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Материалы электронной техники. Практикум. Ярославль: ЯрГУ.- 2019

**б) дополнительная литература:**

1. Бялик А. Д. Материалы электронной техники. Диэлектрики : учебное пособие - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 42 с. - ISBN 978-5-7782-3153-5. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778231535.html>
2. Юзова В. А., Семенова О.В., Харлашин П.А. Материалы и компоненты электронных средств - Красноярск : СФУ, 2012. - 140 с. - ISBN 978-5-7638-2496-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763824964.html>

**в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для лабораторных – списочному составу группы обучающихся.

В лабораторном практикуме в составе измерительных стендов используется оборудование и лабораторные образцы:

измерительный комплекс JG ST2258C;  
микроскопы МИИ-4, МИР-12, МБС-2, МБИ-11, ОГМЭ-2П;  
источники питания Б5-46, Б5-49, Б5-50, Агат, Электроника;  
вольтметры В7-21А, В7-22А, В2-34, В2-36, В7-18, В7-18А, В7-35;  
генераторы Г3-102, Г3-111;  
измерители Л2-28, Щ68009, Щ68200, Щ4313;  
омметры Е6-17, Щ30, Щ43;

наборы экспериментальных и тестовых образцов кремниевых пластин, полупроводниковых и гибридных интегральных схем, тестовых резистивных сборок, тонких пленок на различных подложках, наборы измерительных головок и термостабилизирующих устройств.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники  
и общей физики, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ С.П.Зимин



**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Материалы электронной техники»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Темы для дискуссии**

**Тема № 1 «Введение»:**

Классификация материалов электронной техники. Функциональное назначение и основные параметры. Закономерности образования полупроводниковых, сверхпроводящих, диэлектрических, магнитных и металлических фаз с заданными свойствами для электронной техники.

**Тема № 2 «Физико-химические принципы технологии материалов электроники.  
Диаграммы состояний»:**

Термодинамические основы технологических процессов. Управление фазовыми превращениями материалов. Диаграммы состояния бинарных систем. Диаграммы состояний простого типа. Диаграммы состояний эвтектического типа. Примеры использования диаграмм состояния в технологии электроники. Управление точечными дефектами в кристаллах.

**Тема № 3 «Полупроводниковые материалы электроники»**

Общая классификация полупроводниковых материалов. Основные параметры важнейших полупроводников. Сравнительная характеристика германия, кремния, арсенида галлия, карбида кремния и областей их применения. Кремний как базовый материал современной электроники. Кристаллическая решетка, основные физико-химические свойства. Химические свойства кремния. Кремний в расплавленном состоянии. Пористый кремний. Формирование и структура пористых полупроводников и пористого кремния. Поликристаллический и аморфный кремний. Нанокристаллический кремний. Уникальные свойства семейства кремния.

**Тема № 4 «Диэлектрические материалы электроники»:**

Диэлектрические материалы электроники

Классификация диэлектрических материалов. Основные характеристики диэлектриков. Примеры использования диэлектрических материалов в электронике. Диоксид кремния, основные методы получения и свойства. Нитрид кремния, методы нанесения и свойства. Сравнительная характеристика областей применения  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$  в кремниевой технологии. Диэлектрические подложки в технологии гибридных интегральных схем.

**Тема № 5 «Проводящие и резистивные материалы электроники»:**

Классификация проводящих и резистивных материалов электроники. Физические основы проводимости металлических и резистивных материалов. Температурный коэффициент

сопротивления. Примеры использования проводящих и резистивных материалов в гибридных интегральных схемах. Металлизация в полупроводниковых схемах.

#### **Тема № 6 «Полупроводниковые твердые растворы»:**

Полупроводниковые твердые растворы. Твердые растворы замещения, внедрения, вычитания. Неограниченная растворимость. Пример системы PbTe-SnTe. Правило Вегарда. Ограниченная растворимость. Система PbSe-SnSe. Бесщелевые полупроводники и полуметаллы. Четверные твердые растворы. Применение твердых растворов.

#### **Правила выставления оценки по результатам индивидуального собеседования и дискуссии**

Оценка по результатам индивидуального собеседования и дискуссии считается в баллах по каждому заданию по следующему принципу:

- задание выполнено в полном объеме без замечаний преподавателя – 3 балла;
- при выполнении задания применены правильные подходы, но имеются неточности в изложении материала – 2 балла;
- при выполнении задания применены правильные подходы, но имеются значительные физические и/или математические ошибки – 1 балл;
- при выполнении задания применены ошибочные подходы, отсутствует понимание обсуждаемого материала – 0 баллов.

Количество баллов 3 соответствует оценке «отлично», 2 баллов – оценке «хорошо», 1 балла – оценке «удовлетворительно», 0 баллов – оценке «неудовлетворительно» (умения и навыки на данном этапе освоения дисциплины не сформированы).

#### **Правила защиты лабораторных работ**

При выполнении лабораторного цикла студент обязан представить для защиты отчеты по лабораторным работам в соответствии с утвержденными рекомендациями кафедры и ГОСТовскими требованиями по составлению научных отчетов. Отчеты должны содержать название работы, применяемое оборудование и стенды, краткий литературный обзор, экспериментальный материал в виде таблиц и графических зависимостей, выводы по работе. В процессе защиты лабораторной работы студент должен показать уверенное владение теоретическим материалом, методикой проведения каждого эксперимента, умение и навыки проведения экспериментальных измерений на автоматизированных стендах, владение приемами машинной обработки экспериментальных данных при изучении пленочных систем. Преподаватель считает работу сданной, если у него в ходе индивидуального обсуждения нет претензий к студенту по теоретическому блоку, блоку экспериментальных исследований и сделанными обучающимся выводами по работе. В случае наличия претензий отчет направляется на доработку.

#### **Контрольные вопросы, используемые при защите лабораторных работ**

##### **Лабораторная работа 1:**

1. Укажите основные параметры полупроводниковых пластин.
2. Перечислите основные донорные и акцепторные примеси для Si.
3. Чем диктуются высокие требования к контролю допусков на геометрические параметры кремниевых пластин?

4. В чем заключается эффект термоэдс и каким образом он используется в методе термозонда?

5. Поясните при каких условиях метод термозонда оказывается неприменим и назовите альтернативные подходы к определению типа проводимости полупроводниковых слоев.

#### Лабораторная работа 2:

1. Каковы основные электрофизические параметры резистивных пленок?

2. Поясните, как проводится расчет числа квадратов для резистивных пленок различной топологии.

3. Перечислите типичные материалы, используемые для получения тонко- и толстопленочных резистивных слоев. Укажите ключевые отличия по составу для толстопленочной технологии.

4. Объясните изменение величины и знака ТКС для пленок различного состава.

#### Лабораторная работа 3:

1. Перечислите основные диэлектрические материалы электронной техники, приведите типичные величины их диэлектрической проницаемости.

2. Каковы основные параметры пленочного конденсатора?

3. Поясните физический смысл добротности конденсатора.

4. Каким образом можно разделить пленочные диэлектрические материалы на конденсаторные и изоляционные?

5. Объясните зависимость емкости конденсатора от частоты.

6. Укажите факторы, влияющие на вариацию емкости конденсатора при изменении температуры.

7. Каким образом состав атмосферы (влажность, газы) может влиять на функционирование пленочных конденсаторов?

#### Лабораторная работа 4:

1. Назовите типичные величины удельного сопротивления диэлектрических материалов.

2. Почему различают объемное и поверхностное сопротивления диэлектриков?

3. Каковы основные виды электропроводности в диэлектриках и от каких условий зависит ее величина?

4. Будет ли отличаться значение сопротивления электроизоляционного материала, измеренное на постоянном и переменном сигнале?

5. Почему вода вызывает деградацию электрических характеристик изоляции?

6. Что такое гидрофильные и гидрофобные диэлектрики?

#### Лабораторная работа 5:

1. Перечислите основные типы магнитных материалов электронной техники. Приведите примеры.

2. Что такое жесткие и мягкие ферромагнетики, для каких устройств они могут быть использованы?

3. Что происходит с ферромагнетиком при достижении точки Кюри и с ферримагнетиком при достижении точки Нееля?

4. Что такое спонтанная намагниченность доменов?

5. Объясните вид кривой намагничивания. Какими параметрами характеризуется петля гистерезиса?

6. Каким образом можно наблюдать петлю гистерезиса на экране осциллографа?

#### Лабораторная работа 6:

1. При каких условиях может быть применен четырехзондовый метод? Когда имеет смысл пользоваться другими методами?
2. Перечислите основные преимущества и недостатки четырехзондового метода. Укажите причины использования поправочных коэффициентов. Оцените величину погрешности измерений.
3. Как можно определить концентрацию примесных атомов в кремнии?

#### Лабораторная работа 7:

1. Перечислите области применения прозрачных проводящих материалов в электронике.
2. Назовите основные прозрачные проводящие материалы. Их достоинства и недостатки?
3. Что нужно для того, чтобы широкозонный полупроводник ZnO стал проводящим материалом?

## **2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

### **Список заданий к зачету**

На зачете проверяется сформированность компетенции ПК-5 в части, касающейся материалов электронной техники. Зачет выставляется по результатам выполнения лабораторных работ и итогов финального собеседования. Для получения зачета необходимы выполнение и защита 5 лабораторных работ и прохождение индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов.

### **Правила выставления оценки по результатам финального собеседования:**

Оценка по результатам индивидуального финального собеседования определяется в баллах по следующему принципу: обучающемуся выдается 5 вопросов из Списка вопросов к зачету. За каждый правильно раскрытый вопрос дается 1 балл, неправильное раскрытие материала - 0 баллов. Общее число баллов за каждый вопрос суммируется. Для получения зачета по результатам собеседования необходимо набрать не менее 3 баллов.

Студент освобождается от прохождения индивидуального финального собеседования и автоматически получает 5 баллов при условии, что при прохождении текущей аттестации у него имелась оценка «отлично» не менее чем по 4 темам из 6.

### **Список вопросов к зачету:**

1. Классификация материалов электронной техники. Функциональное назначение и основные параметры.
2. Закономерности образования полупроводниковых, сверхпроводящих, диэлектрических, магнитных и металлических фаз с заданными свойствами для электронной техники.
3. Термодинамические основы технологических процессов. Управление фазовыми превращениями материалов.
4. Диаграммы состояния бинарных систем. Диаграммы состояний простого типа. Диаграммы состояний эвтектического типа.
5. Примеры использования диаграмм состояния в технологии электроники.
6. Роль точечных дефектов в кристалле. Управление точечными дефектами в кристаллах.
7. Общая классификация полупроводниковых материалов. Основные параметры важнейших полупроводников.

8. Сравнительная характеристика германия, кремния, арсенида галлия, карбида кремния и областей их применения.
9. Кремний как базовый материал современной электроники. Кристаллическая решетка, основные физико-химические свойства. Химические свойства кремния. Кремний в расплавленном состоянии.
10. Пористый кремний. Формирование и структура пористых полупроводников и пористого кремния. Поликристаллический и аморфный кремний. Нанокристаллический кремний. Уникальные свойства семейства кремния.
11. Классификация диэлектрических материалов. Основные характеристики диэлектриков.
12. Примеры использования диэлектрических материалов в электронике.
13. Диоксид кремния, основные методы получения и свойства. Нитрид кремния, методы нанесения и свойства. Сравнительная характеристика областей применения  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$  в кремниевой технологии.
14. Диэлектрические подложки в технологии гибридных интегральных схем.
15. Классификация проводящих и резистивных материалов электроники.
16. Физические основы проводимости металлических и резистивных материалов. Температурный коэффициент сопротивления.
17. Примеры использования проводящих и резистивных материалов в гибридных интегральных схемах.
18. Металлизация в полупроводниковых схемах.
19. Полупроводниковые твердые растворы. Твердые растворы замещения, внедрения, вычитания. Неограниченная растворимость. Пример системы  $\text{PbTe-SnTe}$ . Правило Вегарда.
20. Ограниченная растворимость. Система  $\text{PbSe-SnSe}$ . Четверные твердые растворы.
21. Применение твердых растворов

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Материалы электронной техники»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине **«Материалы электронной техники»** являются лекции с использованием наглядных демонстраций. По темам дисциплины предусмотрены лабораторные занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом.

Для успешного освоения дисциплины очень важна самостоятельная работа студентов над конспектами прослушанных лекций и разделами курса для самостоятельного изучения. Следует уделять большое внимание подготовке к лабораторным занятиям. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы при самостоятельной проработке разделов курса.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде дискуссии на лекциях и в ходе самостоятельных работ (в аудитории) в процессе лабораторных занятий в семестре. Отдельным методом контроля является проверка знаний при защите лабораторных заданий. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору вопросов, которые вызвали затруднения.

Зачет принимается в форме собеседования, где рассматриваются вопросы из всех пройденных тем. Для получения зачета необходимы выполнение и защита 5 лабораторных работ и прохождение индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов. Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины **«Материалы электронной техники»** самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Для самостоятельной работы и для подготовки к выполнению лабораторных работ рекомендуется использовать учебную литературу, имеющуюся в полном объеме в Интернете и библиотеке ЯрГУ. К таким пособиям можно отнести следующие издания:

1. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Руководство по проведению лабораторных работ «Материалы электронной техники». Лабораторный практикум. ЯрГУ, 2012
2. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Материалы электронной техники. Практикум. Ярославль: ЯрГУ.- 2019