

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
_____/ В.А. Небольсин /
25 ноября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Материалы электронной техники»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

Е.Ю. Плотникова

И.о.заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники

А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

А.В. Арсентьев

Воронеж 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: изучение основ строения материалов электронной техники, формирование у студентов представлений о физических закономерностях, определяющих свойства и поведение материалов во взаимосвязи с конкретными применениями в приборах и устройствах микро- и нанoeлектроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- сформировать представления об общих физических закономерностях, определяющих свойства материалов электронной техники;
- установить взаимосвязь между составом, структурой, свойствами и условиями синтеза полупроводниковых материалов;
- иметь представления об основных физико-химических, электрических, магнитных и оптических свойствах материалов электронной техники;
- сформировать у студента общую картину существующих материалов электронной техники, классифицировать по видам металлы, полупроводники, диэлектрики, магнитные материалы;
- ознакомить с тенденциями развития и основными направлениями полупроводникового материаловедения в связи с современными требованиями микро- и нанoeлектроники;
- сформировать навыки экспериментальных исследований свойств материалов электронной техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.О.21 «Материалы электронной техники» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Материалы электронной техники» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1: способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

ОПК-2: способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать основные виды кристаллических решеток; проводники, полупроводники и диэлектрики;
	уметь рассчитывать фазовые диаграммы; проводить исследования на кристаллах и пластинах полупроводников (кремний и германий);

	владеть навыками анализа твердотельных структур; основами работы на различных видах микроскопов.
ОПК-2	знать принципы построения сложных фазовых диаграмм; методы анализа экспериментальных данных;
	уметь строить и рассчитывать кристаллические решетки различных веществ; исследовать поверхность пластины на наличие дефектов;
	владеть навыками анализа кристаллических структур твердых тел; технологией создания шлифов.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Материалы электронной техники» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
Аудиторные занятия (всего)	96	96
В том числе:		
Лекции	48	48
Лабораторные работы (ЛР)	48	48
Самостоятельная работа	48	48
Контроль	36	36
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	16	16
В том числе:		
Лекции	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	155	155
Контроль	9	9
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. раб.	СРС	Всего, час
1	Основные сведения о материалах электронной техники. Виды химической связи. Особенности строения твердых тел. Структурные дефекты реальных кристаллов.	Основные сведения о МЭТ: проводниковые, полупроводниковые и диэлектрические материалы. Гомеоплярная (ковалентная) связь. Гетероплярная (ионная) связь. Металлическая связь. Молекулярная (Ван-дер-Ваальса) связь. Кристаллы. Моно- и поликристаллы. Индексы Миллера плоскости. Индексы Миллера направлений. Число эквивалентных плоскостей. Расстояние между плоскостями. Дефекты структуры. Динамические и статические дефекты. Атомные, протяженные дефекты. Дислокации.	4	4	6	14
2	Полиморфизм. Стеклообразные и аморфные вещества. Элементы зонной теории твердых тел.	Аллотропные модификации. Аморфная структура вещества. Ближний порядок кристаллической решетки. Стекло. Зонная теория. Дискретный энергетический спектр. Обменное взаимодействие. Принцип Паули. Валентная зона и зона проводимости. Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры. Примеси и дефекты структуры. Энергия активации примеси.	6	4	4	14
3	Фазовые равновесия в полупроводниковых, диэлектрических и металлических системах.	Гетерогенная и гомогенная системы. Фаза. Кристаллическая решетка, тип и период. Аллотропные модификации. Полиморфизм. Химические соединения и твердые растворы. Растворитель и растворимый компонент. Неограниченная и ограниченная растворимость в твердых растворах. Раствор замещения, внедрения и вычитания. Механическая смесь. Эвтектика. Перитектика. Компоненты системы.	4	4	6	14
4	Фазовые равновесия. Основные представления, используемые при построении фазовых диаграмм двухкомпонентных систем.	Химический потенциал. Правило фаз Гиббса. Вариантность системы. Мерность пространства. Ликвидус. Солидус. Диаграмма неограниченной растворимости жидкой в твердой фазе. Фигуративная точка. Однофазная и двухфазная области. Конода. Правило рычага. Изовалентные твердые растворы замещения. Коэффициент распределения. Закон Вегарда.	6	4	4	14
5	Диаграммы фазовых равновесий с эвтектическим и перитектическим превращением.	Эвтектическая линия. Кривая растворимости. Эвтектические превращения. Эвтектика. Первичные, вторичные кристаллы. Дозэвтектические и заэвтектические сплавы. Перитектическое превращение. Перитектоидное превращение.	4	4	4	12
6	Диаграммы фазовых равновесий химических соединений. Основные представления, используемые при построении фазовых диаграмм трехкомпонентных систем.	Конгруэнтно-плавящиеся (стойкие) соединения. Инконгруэнтно-плавящиеся (нестойкие) соединения. Гомогенность. Нормальные (вырожденные) эвтектики. Дальтонид. Бертоллид. Концентрационный треугольник Гиббса. Переменные трехкомпонентных систем. Точки на сторонах и внутри треугольника. Свойства равностороннего треугольника. Два способа количественных расчетов. Метод трех отрезков. Правило рычага. Правило фаз.	4	8	4	16
7	Основные параметры и классификация проводниковых материалов.	Материалы высокой проводимости. Влияние примесей и других структурных дефектов на удельное сопротивление металлов. Сверхпроводящие металлы и сплавы. Материалы высокого сопротивления и сплавы для термопар. Металлы и сплавы различного назначения. благородные металлы. Металлы со средним значением температуры плавления. Припои. Неметаллические проводниковые материалы. Композиционные проводниковые материалы. Контактные материалы. Контактные материалы на основе оксидов.	6	4	6	16
8	Основные параметры и классификация полупроводниковых материалов.	Основные параметры и характеристики полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Классификация полупроводниковых материалов. Элементарные полупроводники – кремний и германий. Полупроводниковые соединения и твердые растворы на их основе. Карбид кремния. Полупроводниковые соединения A ₃ B ₅ . Химические соединения A ₂ B ₆ . Соединения типа A ₄ B ₆ .	6	8	6	20
9	Основные параметры и классификация диэлектриков.	Электрическое поле. Механизмы поляризации. Характеристики диэлектрика. Электропроводность. Ионная проводимость. Шунтирование тока. Тепловой и диэлектрический пробой. Ударная ионизация. Классификация диэлектриков. Состав, свойства и структура основных пассивных диэлектриков.	4	4	4	12

10	Основные параметры и классификация магнитных материалов.	Магнито-мягкие материалы. Магнито-твердые материалы. Основные свойства магнитных материалов. Ферромагнетики. Магнито-мягкие низкочастотные материалы. Магнито-мягкие высокочастотные материалы. Магнитные материалы специального назначения.	4	4	4	12
Всего			48	48	48	144
Контроль						36
Итого						180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. раб.	СРС	Всего, час
1	Основные сведения о материалах электронной техники. Виды химической связи. Особенности строения твердых тел. Структурные дефекты реальных кристаллов.	Основные сведения о МЭТ: проводниковые, полупроводниковые и диэлектрические материалы. Гомеоплярная (ковалентная) связь. Гетероплярная (ионная) связь. Металлическая связь. Молекулярная (Ван-дер-Ваальса) связь. Кристаллы. Моно- и поликристаллы. Индексы Миллера плоскости. Индексы Миллера направлений. Число эквивалентных плоскостей. Расстояние между плоскостями. Дефекты структуры. Динамические и статические дефекты. Атомные, протяженные дефекты. Дислокации.	2	4	15	21
2	Полиморфизм. Стеклообразные и аморфные вещества. Элементы зонной теории твердых тел.	Аллотропные модификации. Аморфная структура вещества. Ближний порядок кристаллической решетки. Стекло. Зонная теория. Дискретный энергетический спектр. Обменное взаимодействие. Принцип Паули. Валентная зона и зона проводимости. Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры. Примеси и дефекты структуры. Энергия активации примеси.	2	4	15	21
3	Фазовые равновесия в полупроводниковых, диэлектрических и металлических системах.	Гетерогенная и гомогенная системы. Фаза. Кристаллическая решетка, тип и период. Аллотропные модификации. Полиморфизм. Химические соединения и твердые растворы. Растворитель и растворимый компонент. Неограниченная и ограниченная растворимость в твердых растворах. Раствор замещения, внедрения и вычитания. Механическая смесь. Эвтектика. Перитектика. Компоненты системы.	2	-	15	17
4	Фазовые равновесия. Основные представления, используемые при построении фазовых диаграмм двухкомпонентных систем.	Химический потенциал. Правило фаз Гиббса. Вариантность системы. Мерность пространства. Ликвидус. Солидус. Диаграмма неограниченной растворимости жидкой в твердой фазе. Фигуративная точка. Однофазная и двухфазная области. Конода. Правило рычага. Изовалентные твердые растворы замещения. Коэффициент распределения. Закон Вегарда.	2	-	15	17
5	Диаграммы фазовых равновесий с эвтектическим и перитектическим превращением.	Эвтектическая линия. Кривая растворимости. Эвтектические превращения. Эвтектика. Первичные, вторичные кристаллы. Доэвтектические и заэвтектические сплавы. Перитектическое превращение. Перитектоидное превращение.	-	-	15	15
6	Диаграммы фазовых равновесий химических соединений. Основные представления, используемые при построении фазовых диаграмм трехкомпонентных систем.	Конгруэнтно-плавящиеся (стойкие) соединения. Инконгруэнтно-плавящиеся (нестойкие) соединения. Гомогенность. Нормальные (вырожденные) эвтектики. Дальтонид. Бертоллид. Концентрационный треугольник Гиббса. Переменные трехкомпонентных систем. Точки на сторонах и внутри треугольника. Свойства равностороннего треугольника. Два способа количественных расчетов. Метод трех отрезков. Правило рычага. Правило фаз.	-	-	16	16
7	Основные параметры и классификация проводниковых материалов.	Материалы высокой проводимости. Влияние примесей и других структурных дефектов на удельное сопротивление металлов. Сверхпроводящие металлы и сплавы. Материалы высокого сопротивления и сплавы для термопар. Металлы и сплавы различного назначения. благородные металлы. Металлы со средним значением температуры плавления. Припой. Неметаллические проводниковые материалы. Композиционные проводниковые материалы. Контактные материалы. Керметы. Проводниковые материалы на основе оксидов.	-	-	16	16
8	Основные параметры и классификация полупроводниковых материалов.	Основные параметры и характеристики полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Классификация полупроводниковых материалов. Элементарные полупроводники – кремний и германий. Полупроводниковые соединения и твердые растворы на их основе. Карбид кремния. Полупроводниковые соединения A3B5. Химические соединения A2B6. Соединения типа A4B6.	-	-	16	16
9	Основные параметры и	Электрическое поле. Механизмы поляризации. Характеристики	-	-	16	16

	классификация ди- электриков.	диэлектрика. Электропроводность. Ионная проводимость. Шунти- рование тока. Тепловой и диэлектрический пробой. Ударная иони- зация. Классификация диэлектриков. Состав, свойства и структура основных пассивных диэлектриков.				
10	Основные параметры и классификация маг- нитных материалов.	Магнито-мягкие материалы. Магнито-твердые материалы. Основ- ные свойства магнитных материалов. Ферромагнетики. Магнито- мягкие низкочастотные материалы. Магнито-мягкие высокоча- стотные материалы. Магнитные материалы специального назна- чения.	-	-	16	16
Всего			8	8	155	171
Контроль						9
Итого						180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Кристаллическая структура твердых тел. Индексы Миллера плоскости и направлений.

2. Решетки Браве. Число эквивалентных плоскостей (направлений). Способы описания кристаллических структур.

3. Координационное число и плотность упаковки. Связь между типом структуры, координационным числом и электрофизическими свойствами.

4. Определение ретикулярной плотности плоскостей различных кристаллических структур. Определение плотности упаковки кристаллических решеток.

5. Основные фазы в сплавах. Твердые растворы. Химические соединения. Механические смеси. Диаграммы состояния двойных сплавов. Правило фаз Гиббса.

6. Построение диаграмм состояния. Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси чистых компонентов (первого рода).

7. Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы (второго рода). Правило отрезков и правило рычага. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику (третьего рода).

8. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и перитектику. Диаграмма состояния сплавов, образующих химические соединения (четвертого рода). Диаграмма состояния сплавов с полиморфными превращениями.

9. Проведение визуального контроля образца монокристаллического кремния на наличие макроскопических дефектов. Определение типа электропроводности образца методом термозонда. Определение типа электропроводности образца методом точно-контактного выпрямления.

10. Проведение селективного травления кремниевой пластины заданной ориентации. Определение плотности дислокаций в кристалле.

11. Изучение металлографическим методом влияния геттерирования на плотность структурных дефектов в малодислокационном кремнии. Точечные дефекты. Типы точечных дефектов. Кластеры точечных дефектов. Перестройка точечных дефектов. Методы геттерирования точечных дефектов.

12. Изучение порядка подготовки образцов монокристаллического кремния к проведению контроля дефектов. При помощи металлографического мик-

роскопа проведение оценки плотности микродефектов в образце кремния. Свирлевая картина на торце монокристаллического кремния. Ямки травления, образующие свирлевую картину.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Материалы электронной техники» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать основные виды кристаллических решеток; проводники, полупроводники и диэлектрики;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь рассчитывать фазовые диаграммы; проводить исследования на кристаллах и пластинах полупроводников (кремний и германий);	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками анализа твердотельных структур; основами работы на различных видах микроскопов.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать принципы построения сложных фазовых диаграмм; методы анализа экспериментальных данных;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь строить и рассчитывать кристаллические решетки различных веществ; исследовать поверхность пластины на наличие дефектов;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками анализа кристаллических структур твердых тел; технологией создания шлифов.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре для очной формы обучения; в 5 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;
 «хорошо»;
 «удовлетворительно»;
 «неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-1	знать основные виды кристаллических решеток; проводники, полупроводники и диэлектрики;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь рассчитывать фазовые диаграммы; проводить исследования на кристаллах и пластинах полупроводников (кремний и германий);	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками анализа твердотельных структур; основами работы на различных видах микроскопов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать принципы построения сложных фазовых диаграмм; методы анализа экспериментальных данных;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь строить и рассчитывать кристаллические решетки различных веществ; исследовать поверхность пластины на наличие дефектов;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками анализа кристаллических структур твердых тел; технологией создания шлифов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Гомеоплярная связь – это:

1. объединение атомов в молекулу достигается за счет электронов, которые становятся общими для пар атомов;
 2. - связь, которая возникает вследствие перехода валентных электронов от атома металла к атому металлоида, и электростатического притяжения разноименно заряженных ионов друг к другу;
 3. связь, которая существует в системах, построенных из положительных атомных остовов, находящихся в среде свободных коллективизированных электронов;
 4. связь, которая имеет характер притяжения и возникает между любыми молекулами как полярными, так и неполярными.
2. Гетерополярная связь – это:
1. объединение атомов в молекулу достигается за счет электронов, которые становятся общими для пар атомов;
 2. связь, которая возникает вследствие перехода валентных электронов от атома металла к атому металлоида, и электростатического притяжения разноименно заряженных ионов друг к другу;
 3. связь, которая существует в системах, построенных из положительных атомных остовов, находящихся в среде свободных коллективизированных электронов;
 4. связь, которая имеет характер притяжения и возникает между любыми молекулами как полярными, так и неполярными.
3. Металлическая связь – это:
1. объединение атомов в молекулу достигается за счет электронов, которые становятся общими для пар атомов;
 2. связь, которая возникает вследствие перехода валентных электронов от атома металла к атому металлоида, и электростатического притяжения разноименно заряженных ионов друг к другу;
 3. связь, которая существует в системах, построенных из положительных атомных остовов, находящихся в среде свободных коллективизированных электронов;
 4. связь, которая имеет характер притяжения и возникает между любыми молекулами как полярными, так и неполярными.
4. Молекулярная связь – это:
1. объединение атомов в молекулу достигается за счет электронов, которые становятся общими для пар атомов;
 2. связь, которая возникает вследствие перехода валентных электронов от атома металла к атому металлоида, и электростатического притяжения разноименно заряженных ионов друг к другу;
 3. связь, которая существует в системах, построенных из положительных атомных остовов, находящихся в среде свободных коллективизированных электронов;
 4. связь, которая имеет характер притяжения и возникает между любыми молекулами как полярными, так и неполярными.
5. Выберите обозначения индексов Миллера плоскости:
1. (111);
 2. {111};
 3. [111];
 4. [[111]];
 5. <111>.
6. Выберите обозначения индексов Миллера направления:
1. (111);

2. $\{111\}$;
 3. $[111]$;
 4. $[[111]]$;
 5. $\langle 111 \rangle$.
7. Выберите, что из перечисленного является дислокацией:
1. дефект Френкеля;
 2. дефект Шоттки;
 3. дефект Франка;
 4. пора.
8. InP – это:
1. химическое соединение;
 2. твердый раствор;
 3. механическая смесь;
 4. чистое вещество.
9. $\text{InO}, 2\text{GaO}, 5\text{ZnO}, 3\text{O}$ – это:
1. химическое соединение;
 2. твердый раствор;
 3. механическая смесь;
 4. чистое вещество.
10. Какая кристаллическая решетка у кремния?
1. ОЦК;
 2. ГЦК;
 3. Алмаз;
 4. ГПУ.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Плоскость отсекает на осях кубической решетки отрезки А, В и С, значения которых -1, 5, ∞ . Определить индексы Миллера плоскости и изобразить ее графически.
2. В кубической решетке изобразить направление $[hkl]$, значения h, k, l которых $\bar{1}$, 4, 5.
3. У каких плоскостей в решетке кристаллической структуры ГЦК максимальная плотность упаковки атомов? Сравнить ретикулярные плотности плоскостей (100), (110) и (111). В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
4. Определить, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку (кратность ячейки) в кристаллах со структурой Алмаз, и указать для этой структуры координационное число.
5. Для решетки ОЦК рассчитать плотность упаковки.
6. Плоскость отсекает на осях кубической решетки отрезки А, В и С, значения которых 2, -5, ∞ . Определить индексы Миллера плоскости и изобразить ее графически.
7. Определить, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку (кратность ячейки) в кристаллах со структурой ОЦК, и указать для этой структуры координационное число.

8. В кубической решетке изобразить направление $[hkl]$, значения h, k, l которых $\bar{1}, \bar{1}, 8$
9. Для решетки ГЦК рассчитать плотность упаковки.
10. Записать индексы Миллера направления, проходящего через два узла кубической решетки $[[h_1k_1l_1]]$ и $[[h_2k_2l_2]]$, координаты которых: $\bar{3}, 4, 5$ и $2, \bar{1}, 3$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. У каких плоскостей в решетке кристаллической структуры NaCl максимальная плотность упаковки атомов? Сравнить ретикулярные плотности плоскостей (100), (110) и (111). В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
2. Плоскость отсекает на осях кубической решетки отрезки A, B и C, значения которых $\infty, -1, -3$. Определить индексы Миллера плоскости и изобразить ее графически.
3. В кубической решетке изобразить направление $[hkl]$, значения h, k, l которых $\bar{2}, 5, \bar{1}$
4. Определить наименьшие отрезки, отсекаемые на осях кубической решетки плоскостью (hkl), значения h, k, l которой $\bar{1}, 3, 6$. Изобразить эту плоскость графически.
5. Определить ретикулярную плотность плоскостей (101) и (100) в кристаллической решетке кремния. У какой из плоскостей выше ретикулярная плотность?
6. У каких плоскостей в решетке кристаллической структуры ОЦК максимальная плотность упаковки атомов? Сравнить ретикулярные плотности плоскостей (100), (110) и (111). В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
7. Для решетки простой кубической рассчитать плотность упаковки.
8. Определить, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку (кратность ячейки) в кристаллах со структурой ГЦК, и указать для этой структуры координационное число.
9. У каких плоскостей в решетке кристаллической структуры Алмаз максимальная плотность упаковки атомов? Сравнить ретикулярные плотности плоскостей (100), (110) и (111). В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
10. Для решетки NaCl рассчитать плотность упаковки.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Типы МЭТ
2. Типы твердых тел
3. Проводниковые материалы

4. Полупроводниковые материалы
5. Диэлектрические материалы
6. Состав атома
7. Две основные модели атома
8. Гомеопольная связь
9. Гетеропольная связь
10. Металлическая связь
11. Молекулярная связь
12. Кристалл. Решетка Бравэ. Сингонии
13. Монокристаллы и поликристаллы
14. Индексы Миллера плоскостей с примерами
15. Индексы Миллера направлений
16. ЧЭП, $d(hkl)$
17. Динамические дефекты
18. Статические дефекты
19. Точечные, линейные и протяженные дефекты
20. Дислокации, виды дислокаций...
21. Полиморфизм
22. Аморфное состояние вещества. Расстеклование
23. Энергетический спектр отдельного атома
24. Расщепление спектра при обменном взаимодействии
25. Энергетические диаграммы пп, д и пр-ков
26. За счет чего при изменении температуры меняется ширина запрещенной зоны?
27. Что дают примеси и дефекты структуры в пп?
28. Энергия активации
29. Основные параметры и классификация проводниковых материалов.
30. Материалы высокой проводимости.
31. Влияние примесей и других структурных дефектов на удельное сопротивление металлов.
32. Сверхпроводящие металлы и сплавы.
33. Материалы высокого сопротивления и сплавы для термопар.
34. Металлы и сплавы различного назначения.
35. Благородные металлы.
36. Металлы со средним значением температуры плавления.
37. Припои.
38. Неметаллические проводниковые материалы.
39. Композиционные проводниковые материалы.
40. Контактные материалы.
41. Керметы.
42. Проводниковые материалы на основе окислов.
43. Основные параметры и классификация полупроводниковых материалов.
44. Основные параметры и характеристики полупроводников.
45. Собственные и примесные полупроводники.
46. Классификация полупроводниковых материалов.
47. Элементарные полупроводники – кремний и германий.
48. Полупроводниковые соединения и твердые растворы на их основе.
49. Карбид кремния.
50. Полупроводниковые соединения A₃B₅.
51. Химические соединения A₂B₆.
52. Соединения типа A₄B₆.
53. Основные параметры и классификация диэлектриков.
54. Электрическое поле.

55. Механизмы поляризации.
56. Характеристики диэлектрика.
57. Электропроводность.
58. Ионная проводимость.
59. Шунтирование тока.
60. Тепловой и диэлектрический пробой.
61. Ударная ионизация.
62. Классификация диэлектриков.
63. Состав, свойства и структура основных пассивных диэлектриков.
64. Основные параметры и классификация магнитных материалов.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 1 баллом.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал 3 балла.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал 4 балла.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал 5 баллов.

При получении оценок «Отлично», «Хорошо» и «Удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные сведения о материалах электронной техники. Виды химической связи. Особенности строения твердых тел. Структурные дефекты реальных кристаллов.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
2	Полиморфизм. Стеклообразные и аморфные вещества. Элементы зонной теории твердых тел.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
3	Фазовые равновесия в полупроводниковых, диэлектрических и металлических системах.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
4	Фазовые равновесия. Основные представления, используемые при построении фазовых диаграмм двухкомпонентных систем.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
5	Диаграммы фазовых равновесий с эвтектическим и перитектическим превращением.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
6	Диаграммы фазовых равновесий химических соединений. Основные представления, используемые при построении фазовых диаграмм трехкомпонентных систем.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
7	Основные параметры и классификация проводниковых материалов.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ

8	Основные параметры и классификация полупроводниковых материалов.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
9	Основные параметры и классификация диэлектриков.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
10	Основные параметры и классификация магнитных материалов.	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Пасынков В.В.** Материалы электронной техники: учебник / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. - 6-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2004. - 368 с. - ISBN 5-8114-0409-3
2. **Новокрещенова Е.П.** Материалы и элементы электронной техники: учеб. пособие. Ч.1 / Е.П. Новокрещенова, Т.В. Свистова. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 221 с.
3. **Свистова Т.В.** Материалы и элементы электронной техники: учеб. пособие. Ч.2 / Т.В. Свистова, Е.П. Новокрещенова. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 159 с.
4. **Петров К.С.** Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: учеб. пособие / К.С. Петров. - СПб.: Питер, 2006. - 522 с. - ISBN: 5-94723-378-9
5. **Щука А.А.** Электроника: учеб. пособие / А.А. Щука; под ред. А.С. Сигова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с. - ISBN 5-94157-461-4
6. **Готтштайн Г.** Физико-химические основы материаловедения: учеб. пособие / Г. Готтштайн; пер с англ. К.Н. Золотовой, Д.О. Чаркина; под ред. В.П. Зломанова. - М.: Бин. Лаборатория знаний, 2013. - 400 с. - ISBN 978-5-94774-769-0

Дополнительная литература

7. **Сорокин В.С.** Материалы и элементы электронной техники: учебник: в 2 т.: допущено УМО. Т. 1: Проводники, полупроводники, диэлектрики. – М.: Academia, 2006. – 439 с. – ISBN 5-7695-2785-4 (т. 1). – ISBN 5-7695-2786-2

8. **Сорокин В.С.** Материалы и элементы электронной техники: учебник: рекомендовано УМО. Т. 2: Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. – 2-е изд., испр. – СПб.; М.; Краснодар.: Лань, 2016. – ISBN 978-5-8114-2002-5 : 935-09.

9. **Дудкин А.Н.** Электротехническое материаловедение [Электронный ресурс] / А.Н. Дудкин, В. Ким. – 4-е изд., стер. – : Лань, 2017. – 200 с. – Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. – ISBN 978-5-8114-2275-3. URL: <https://e.lanbook.com/book/96677>

10. **Бялик А.Д.** Материалы электронной техники. Полупроводники. Проводниковые материалы. Магнитные материалы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Д. Бялик, Р.П. Дикарева, Т.С. Романова. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 99 с. – Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). – ISBN 978-5-7782-3222-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/91703.html>

11. **Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов:** пер. сангл. Э.П. Домашевской. Т. 1: Электронная структура и свойства полупроводников / Под ред. К.А. Джексона, В. Шретера. – Воронеж: Водолей, 2004. – 982 с. – ISBN 5-88563-041-0

12. **Горелик С.С.** Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для вузов по спец. «Физика и технология материалов и компонентов электроной техники» / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. – М.: Металлургия, 1988. – 575 с. – ISBN 5-229-00420-7

13. **Антипов Б.Л.** Материалы электронной техники : Задачи и вопросы : Учеб. пособие / Б.Л. Антипов, В.С. Сорокин, В.А. Терехов. – 3-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2003. – 208 с. : ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 5-8114-0410-7

14. **Плотникова Е.Ю.** Материалы электронной техники: проводники, полупроводники и диэлектрики: лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.Ю. Плотникова. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – 101 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
проектор BenQ MP515 DLP;
экран ScreenMedia настенный.
огнетушитель.

2. Лаборатория физики конденсированного состояния ауд. 213/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для проведения лабораторных занятий (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 16 человек;
микроскоп МССО-1V42;
металлографический микроскоп BS-6010BTR
микроскоп МССО;
микроскоп МИС;
микротвердомер ПМТ-3;
микроскоп МИМ-7;
микроскоп МИК-4;
микроскоп МИ-1;
микроскоп МИИ-4;
огнетушитель;

3. Дисплейный класс для проведения расчетов и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенный необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
компьютер-сборка каф.9;
компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
компьютер-сборка каф.7;

компьютер-сборка каф.3;
 компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
 компьютер-сборка каф.5;
 компьютер-сборка каф.4;
 компьютер-сборка каф.8;
 компьютер-сборка каф.2;
 компьютер-сборка каф.6;
 компьютер-сборка каф.10;
 комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
 компьютер-сборка каф.1;
 экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
 проектор BenQ MP515 DLP;
 огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Материалы электронной техники» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы направлены на изучение свойств материалов электронной техники. Лабораторный практикум осуществляется в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению лабораторных работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на лекциях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой выполнения лабораторных работ и тестированием. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных работ, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.

Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	04.02.2025	
2			
3			
4			