МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
материаловедения и индустрии наносистем
Академик РАН

_____ В.М. Иевлев
подпись, расшифровка подписи

16.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.12 Полупроводниковые материалы и сверхпроводники

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 04.03.02 Химия, физика и механика материалов

2. Профиль подготовки/специализация: материаловедение и индустрия наносистем

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра материаловедения и индустрии наносистем

6. Составители программы: Шаров Михаил Константинович, кандидат химических наук, доцент

7. Рекомендована: Научно-методический совет химического факультета
протокол № 10-03 от 27.03.2025

_____
отметки о продлении вносятся вручную)

_____

8. Учебный год: 2028-2029 **Семестр(ы): 8**

9.Цели и задачи учебной дисциплины:

Изучение современных представлений о физике сверхпроводимости, о зонной структуре полупроводников, их электрических и оптических свойствах.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения данной дисциплины, студент должен предварительно изучить следующие дисциплины: Математика; Физика; Структурная химия и кристаллохимия, Материаловедение.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1 ПК-2.2	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	Знать: Основные методы синтеза полупроводниковых и сверхпроводящих материалов, в том числе наноматериалов. Уметь: Применять знания смежных дисциплин физики и химии для поиска и создания новых полупроводниковых и сверхпроводящих материалов, а также наноматериалов. Владеть: Навыками научно-обоснованного выбора методов синтеза материалов Знать: Взаимосвязь типа химической связи, кристаллической структуры, микроструктуры и зонной структуры со свойствами полупроводниковых и сверхпроводящих материалов. Уметь: Применять теоретические знания для решения практических задач полупроводникового материаловедения, технологии полупроводниковых и сверхпроводящих материалов, в том числе наноматериалов. Владеть: Навыками исследования свойств полупроводниковых и сверхпроводящих материалов, а также наноматериалов.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра	№ семестра 8	…

Контактная работа		80		80	
в том числе:	лекции	40		40	
	практические	40		40	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		28		28	
Промежуточная аттестация					
Итого:		108		108	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Физика полупроводников и полупроводниковые материалы	Введение в физику полупроводников. Классификация веществ по удельной электрической проводимости. Представления о механизме электропроводности собственных и примесных полупроводников.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.2		Зонная теория полупроводников. Уравнение Шредингера для кристалла. Приближения: адиабатическое, одноэлектронное, сильно- и слабосвязанных электронов. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса носителей заряда.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.3		Статистика свободных носителей заряда в полупроводниках. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми–Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрации электронов и дырок в зонах. Примесные и собственные полупроводники.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.4		Рассеяние свободных носителей заряда в полупроводниках. Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.5		Явления переноса заряда в полупроводниках. Неравновесная функция распределения. Удельная электрическая проводимость полупроводников. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.6		Рекомбинация свободных носителей заряда в полупроводниках. Равновесные и неравновесные носители заряда. Моно- и биполярная оптическая генерация носителей заряда. Максвелловское время релаксации. Межзонные излучательная и ударная рекомбинации.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.7		Поверхностные электронные состояния в полупроводниках. Поверхностные уровни. Слой пространственного заряда. Эффект поля.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840

		Скорость поверхностной рекомбинации.	
1.8		Контактные явления в полупроводниках. Полупроводник во внешнем электрическом поле. Термоэлектронная работа выхода. Контактная разность потенциалов. Контакт металл–полупроводник. Диодная теория выпрямления тока.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.9		Поглощение электромагнитного излучения в полупроводниках. Спектр отражения и поглощения. Собственное поглощение при прямых и непрямых переходах. Поглощение сильно легированного и полупроводника.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.10		Люминесценция полупроводников. Типы люминесценции. Мономолекулярное свечение твердых тел. Рекомбинационное излучение полупроводников при межзонных переходах. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.11		Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фотоэффекты: внутренний, внешний, на *p-n* переходе, на барьере Шоттки.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.12	Физика сверхпроводимости и сверхпроводниковые материалы	Введение в физику сверхпроводимости. Физические свойства материалов при низких температурах. Открытие сверхпроводимости. Общие сведения о сверхпроводниках.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.13		Электродинамика сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Теория Лондонов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.14		Термодинамика сверхпроводимости. Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние. Связь между магнитными и тепловыми свойствами сверхпроводника.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.15		Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Высокотемпературные сверхпроводники. Сверхпроводимость в гетероструктурах и наноматериалах. Промежуточное состояние в сверхпроводниках 1-го рода. Смешанное состояние сверхпроводников 2-го рода. Намагничивание сверхпроводников 1-го и 2-го рода. Поверхностная энергия сверхпроводников. Поверхностная сверхпроводимость. Проникновение вихрей в сверхпроводник и сила взаимодействия между ними. Первое, второе и третье критическое поле.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
1.16		Теории сверхпроводимости. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Микроскопическая теория сверхпроводимости. Теория Бардина–Купера–Шрифера.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2. Практические занятия			
2.1	Полупроводниковые материалы	Температурная зависимость проводимости у полупроводников.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.2		Число состояний в энергетической зоне. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.3		Положение уровня Ферми в зависимости от	https://edu.vsu.ru/course/

		концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника. Компенсация электрически активной примеси.	view.php?id=6840
2.4		Рассеяние на атомах и ионах примеси, дислокациях, тепловых колебаниях решетки.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.5		Эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Эффект Ганна. Туннельный эффект.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.6		Механизмы рекомбинации. Рекомбинация носителей заряда через ловушки.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.7		Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда в образцах конечных размеров.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.8		Контакт металл–металл. Переходы *p-n, n+-n* и *p+-p*. Гетеропереходы. Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников. Туннельный диод. Омический переход.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.9		Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводников. Поглощение: экситонное, свободными носителями заряда, примесное, решеточное.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.10		Релаксация люминесценции полупроводников. Температурное тушение люминесценции полупроводников. Спонтанное и вынужденное излучение атома. Стимулированное излучение твердых тел.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.11		Релаксация фотопроводимости. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.12	Физика сверхпроводимости и сверхпроводящие материалы	Применение сверхпроводников.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.13		Двухжидкостная модель сверхпроводников. Кинетическая индуктивность. Квантование магнитного потока в сверхпроводниках.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.14		Теплоемкость и теплопроводность сверхпроводника.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.15		Высокотемпературные сверхпроводящие керамики со структурой перовскита. Сверхпроводимость углеродных нанотрубок и легированных фуллеренов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840
2.16		Модель критического состояния Бина–Лондона. Теория критического состояния Кима–Андерсона.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1 - 1.11	Физика полупроводников и полупроводниковые материалы	40	40			80
1.12 - 1.16	Физика сверхпроводимости и сверхпроводящие материалы	14	14			28

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- подготовка рефератов с целью более детального изучения вопросов, рассматриваемых на лекциях;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Шалимова К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] / Шалимова К.В. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2010 .— 384 с. // «Лань» : электронно-библиотечная система. — <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648>.
2	Епифанов Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] / Епифанов Г.И. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2011 .— 288 с. // «Лань» : электронно-библиотечная система. — <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023>.
3	Матухин В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] / Матухин В. Л., Ермаков В. Л. — 1-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2010 .— 224 с. // «Лань» : электронно-библиотечная система. — <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=262>.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Питер Ю. Основы физики полупроводников / Ю. Питер Ю, М. Кардона ; пер. И.И. Решиной; под ред. Б.П. Захарченя . 3-е изд. – М. : Физматлит, 2002. – 560 с.
5	Горелик С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для вузов / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. – М. : МИСИС, 2003. – 480 с.
6	Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов. Электронная структура и свойства полупроводников : в 2 т. / под ред. К.А. Джексона и В. Шретера. – Воронеж : Водолей, 2004. -Т.1 / пер. с англ. под ред. Э.П. Домашевской. – 2004. – 967 с.
7	Шнайдер Т. Фазовые переходы и высокотемпературная сверхпроводимость. Универсальные свойства купратных сверхпроводников = Phase Transition Approach to High Temperature Superconductivity. Universal Properties of Cuprate Supercondutors / Т. Шнайдер, Дж. М. Зингер ; пер. с англ. Ш. Б. Абдулвагидова ; под ред. И. К. Камилова .— Махачкала : Изд-во Ин-та физики Дагестанского науч. центра РАН, 2007. – 498 с.
8	Моделирование зонной структуры полупроводников : Учебное пособие по лекционному курсу "Физика полупроводников" : Специальность 014100 - "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы" ОПД.Ф.02 / сост. Е.Н Бормонтов [и др.] – Воронеж, 2003. – 33 с.
9	Изюмов Ю. А. Высокотемпературные сверхпроводники на основе FeAs-соединений / Ю.А. Изюмов, Э.З. Курмаев .— Изд. 2-е , испр. и доп. – М. ; Ижевск : Институт Компьютерных Исследований : Регулярная и хаотическая динамика, 2010. – 334 с.
10	Бормонтов Е.Н. Измерение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла : метод. материалы для выполнения лабораторной работы / Е.Н. Бормонтов, Л.Н. Владимирова, М.А. Гудков. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008. – 24 с.

в)информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Источник
11	*http://www.elibrary.ru* – научная электронная библиотека.
12	*http://www.lib.vsu.ru* – Зональная научная библиотека ВГУ.

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Исследование электрофизических свойств полупроводников : учеб.-метод. пособие к спецкурсу "Физика и химия твердого тела" / сост. И.Я. Миттова [и др.] – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2004 .— 15 с.
2	Яценко О.Б. Основы физики и химии полупроводников : учеб. пособ. для вузов. / О.Б. Яценко, И.Г. Чудотворцев, М.К. Шаров ;– Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2007. – Ч.1: – 62 с.
3	Яценко О.Б. Основы физики и химии полупроводников : учеб. пособ. для вузов. / О.Б. Яценко, И.Г. Чудотворцев, М.К. Шаров ;– Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2007. – Ч.2: – 50 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.
ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6840

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория.
Ноутбук, мультимедийный проектор, экран

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Физика полупроводников и полупроводниковые материалы	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Контрольная работа 1, Контрольная работа 2, Реферат 1
2.	Физика сверхпроводимости и сверхпроводящие материалы	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Реферат 2
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Перечень вопросов

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контрольная работа 1.

Вариант 1.

1. Построить обратные решетки всех плоских сеток Браве.
2. Построить первую зону Бриллюэна для ГЦК решетки.
3. Вывести уравнение Лауэ для дифракции волн в кристалле.
4. Вывести дисперсионное соотношение для свободного электрона.
5. Вывести уравнение общего вида функции Блоха для кристалла.

Вариант 2.

1. Построить первые 4 зоны Бриллюэна для квадратной плоской сетки.
2. Построить первую зону Бриллюэна для ОЦК решетки.
3. Доказать, что обратная к ГЦК решетке является ОЦК решеткой.
4. Показать эквивалентность уравнений Вульфа-Бегга и Лауэ.

5. Вывести уравнение Шредингера для кристалла с учетом адиабатического приближения, валентной аппроксимации, приближением Борна — Оппенгеймера и одноэлектронного приближения.

Контрольная работа 2.

Вариант 1.

1. Получить общий вид закона дисперсии в полупроводнике в приближении сильно связанных электронов.
2. Вывести общее выражение для эффективной массы электронов в твердом теле.
3. В рамках приближения сильной связи получить в явном виде выражение закона дисперсии для примитивной кубической решетки.
4. Найти эффективную массу плотности состояний в кремнии, если поперечная и продольная составляющая эффективной массы равны соответственно: $m_{\perp} = 0.98m_0$, $m_{||} = 0.19m_0$. Учесть особенности изоэнергетических поверхностей в кремнии.

Вариант 2.

1. Получить общий вид закона дисперсии в полупроводнике в приближение квазисвободных электронов.
2. Вывести общее выражение для скорости электронов в твердом теле в границах зоны Бриллюэна.
3. В рамках приближения сильной связи получить выражения для эффективной массы электронов у краев зоны Бриллюэна для примитивной кубической решетки.
4. Найти эффективную массу плотности состояний в германии, если поперечная и продольная составляющая эффективной массы равны соответственно: $m_{\perp} = 0.082m_0$, $m_{||} = 1.60m_0$. Учесть особенности изоэнергетических поверхностей в германии.

Темы рефератов 1:

1. Элементарные полупроводники.
2. Эффект Холла.
3. Магниторезистивный эффект.
4. Эффект термо-эдс. Термоэлектрические материалы.
5. Современные технологии производства кристаллов высокочистого кремния.
6. Некристаллические полупроводники.
7. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.
8. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках.
9. Физические свойства вырожденных и невырожденных полупроводников.
10. Методы определения ширины запрещенной зоны в полупроводниках.
11. Эффект Бурштейна-Мосса.
12. Циклотронный резонанс. Измерение эффективной массы электронов и дырок.
13. Контакт дырочного и электронного полупроводников.
14. Контакт металл-полупроводник. Диоды Шоттки.
15. Эффект Ганна. Диоды Ганна.
16. Туннельный диод.
17. Плазменный резонанс.
18. Фотоэлектрическая проводимость полупроводников.
19. Особенности свойств наноразмерных полупроводниковых кристаллов.

Темы рефератов 2:

1. Высокотемпературные сверхпроводящие керамики.
2. Длина когерентности Пиппарда. Параметр Гинзбурга – Ландау.
3. Сверхпроводимость в гетероструктурах и наноматериалах.
4. Применение сверхпроводящих материалов.
5. Сверхпроводники на основе соединений железа.

Описание технологии проведения.

Контрольные работы проходят в письменной форме. В каждой контрольной работе имеется 2 варианта заданий. Время выполнения контрольной работы – 2 часа.

Рефераты оформляются в печатном (или электроном) виде. Основные положения реферата зачитываются на практических занятиях с возможностью конспектирования наиболее существенных моментов. Время, отводимое на устный доклад около 20-30 минут.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания).

Контрольная работа оценивается по количеству выполненных заданий, правильности и полноты выполнения каждого задания.

Реферат оценивается по глубине раскрытия темы.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по билетам к зачету.

Перечень вопросов к зачету и порядок формирования КИМ:

1. Критерии полупроводимости. Дырочные и электронные полупроводники. Собственные и примесные полупроводники.
2. Общий вид уравнения Шредингера для кристалла.
3. Построить первые зоны Бриллюэна всех плоских сеток Браве.
4. Эффект Ганна в полупроводниках.
5. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация при решении уравнения Шредингера для кристалла.
6. Термоэлектрические эффекты в полупроводниках.
7. Рассчитать величину удельной проводимости собственного проводника, если подвижность электронов равна 1200 $см^2/(В·с)$, а подвижность дырок 855 $см^2/(В·с)$, концентрация электронов $3·10^{17}$ $см^{-3}$.
8. Одноэлектронное приближение при решении уравнения Шредингера для кристалла.
9. Температурная зависимость удельной электропроводности в полупроводниках.
10. Функция Блоха.
11. Эффект Холла в полупроводниках.
12. При сильном вырождении найти коэффициент термо-эдс в InSb с концентрацией электронов 10^{18} $см^{-3}$ при 100 K, если рассеяние происходит на заряженной примеси. Эффективная масса электронов на дне зоны проводимости равна $0.013m_0$, а ширина запрещенной зоны изменяется с температурой по закону $E_g = = (0.26 – 2.710^{-4}T)$ эВ.
13. Приближение сильно связанных электронов при решении уравнения Шредингера для кристалла.
14. Механизмы рассеяния электронов и дырок в полупроводниках. Время релаксации.
15. Приближение слабо связанных (почти свободных) электронов для кристалла.
16. В полупроводнике концентрация электронов составляла $1.2·10^{16}$ $см^{-3}$ при 400 K и $6.5 ·10^{15}$ $см^{-3}$ при 350 K. Найти ширину запрещенной зоны, полагая, что она линейно меняется с температурой.
17. Применение приближения сильно связанных электронов для примитивной кубической решетки.
18. Скорость и эффективная масса электронов в твердом теле.
19. Контакт металл–полупроводник.
20. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны.
21. Зависимость подвижности свободных носителей заряда от температуры.
22. Найти эффективную массу плотности состояний в PbTe, если поперечная и продольная составляющая эффективной массы равны соответственно: $m_{||} = 0.24m_0$, $m_{\perp} = 0.024m_0$. Учесть особенности изоэнергетических поверхностей в PbTe.
23. Изоэнергетические поверхности в твердом теле.
24. Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников.
25. Тензор обратной эффективной массы.
26. Концентрация электронов и дырок в энергетической зоне.
27. Функция распределения Ферми – Дирака. Поверхность Ферми.
28. Температурная зависимость положения уровня Ферми в полупроводниках.
29. Примесные зоны. Эффект Бурштейна-Мосса.
30. Плотность квантовых состояний в энергетической зоне.
31. Рассчитать эффективную плотность состояний в зоне проводимости полупроводника, если эффективная масса электронов равна $m^* = 0.56m_0$ при температуре 25 ^oC. Изоэнергетическая поверхность у дня зоны проводимости сферическая.
32. Эффект Ганна.
33. Зонная структура Si, Ge, GaAs.
34. Поглощение фотонов свободными носителями заряда. Плазменный резонанс.
35. В полупроводнике n-типа плазменная частота $\omega_p = 1.75·10^{14}$ Гц, эффективная масса электронов равна $0.22m_0$, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(0) = 33$. Определить концентрацию электронов.

36. Магниторезистивный эффект.
37. Эффект Дембера.
38. Фотоэффект в p-n переходе и барьере Шоттки.
39. Решеточное поглощение фотонов.
40. Экситонное поглощение фотонов.
41. Критерии вырожденного и невырожденного состояния электронного о газа в полупроводниках.
42. Собственное поглощение фотонов при прямых и непрямых межзонных переходах электронов.
43. Теплоемкость и теплопроводность сверхпроводника.
44. Эффект Мейснера в сверхпроводниках.
45. Теория сверхпроводимости Лондонов.
46. Длина когерентности Пиппарда в сверхпроводниках. Параметр Гинзбурга – Ландау.
47. Сверхпроводники I-го и II-го рода. Вихри Абрикосова.
48. Внутренний и внешний фотоэффект в полупроводниках.
49. Теория сверхпроводимости Бардина — Купера — Шриффера.
50. Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние. Связь между магнитными и тепловыми свойствами сверхпроводника.

В каждом КИМ по 2 вопроса. Один из которых может являться практическим заданием в форме задачи.

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 45 минут. При выставлении итоговой оценки по промежуточной аттестации учитывается активность и успешность работы студента на этапах текущего контроля успеваемости.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания.

Оценка “зачтено” ставится при условии выполнения заданий по обоим вопросам КИМ. Полнота ответа по каждому вопросу считается достаточной, если раскрыта суть вопроса, без объяснения несущественных деталей.

Оценка “незачтено” ставится при отсутствии выполнения заданий хотя бы одного из двух вопросов КИМ. Или при частичном выполнении заданий по обоим вопросам КИМ, но без раскрытия их основной сути.

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

ПК-2 Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач

Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:

Открытые задания

1. Известно, что концентрация свободных электронов в некотором полупроводниковом материале равна n=3.5·10^{18} см$^{-3}$, подвижность электронов μ=410 см^2 /(В·с). Найти удельную электропроводность σ [Ом$^{-1}$·см$^{-1}$] этого материала?
   Ответ: σ = 230 Ом$^{-1}$·см$^{-1}$.

2. Если в полупроводнике нет примесей и собственных дефектов, то: а) каково соотношение концентрации электронов и дырок n/p-? б) чем определяется тип проводимости?
   Ответ: а) n/p = 1. б) соотношением подвижностей электронов и дырок.

3. В рамках модели сильной связи объясните, почему разрешенные зоны, образованные из верхних энергетических уровней атомов более широкие, чем образованные из глубоких атомных уровней?

Ответ: Перекрывание орбиталей верхних уровней соседних атомов больше, чем глубоких уровней.

4. В чем заключается различие сверхпроводников I и II рода?
   Ответ: В сверхпроводниках первого рода эффект Мейснера полный, а в сверхпроводниках второго рода - неполный.

5. В виде каких структур магнитное поле проникает внутрь сверхпроводника II рода в области неполного эффекта Мейснера?
   Ответ: В виде вихрей Абрикосова.

Закрытые задания (Тесты)
(*выберите один правильный ответ из предложенных вариантов*)

1. Первая зона Бриллюэна для ОЦК решетки имеет форму:
   А) кубического тетраэдра
   Б) гексагональной призмы
   В) кубооктаэдра
   Г) тетрагональной бипирамиды.
   Ответ: *В).*

2. Первая зона Бриллюэна для ГЦК решетки имеет форму:
   А) ромбического тетраэдра
   Б) ромбической призмы
   В) ромбической пирамиды
   Г) ромбического додекаэдра
   Ответ: *Г).*

3. При легировании кремния фосфором, увеличивается концентрация:
   А) фононов
   Б) электронов
   Г) дырок
   Д) концентрация свободных носителей заряда не меняется
   Ответ: *Б).*

4. Как меняется удельная электропроводность беспримесного полупроводника при увеличении температуры:
   А) растет монотонно
   Б) падает монотонно
   В) растет немонотонно
   Г) падает немонотонно
   Ответ: *В).*

5. Уровень Ферми при T>0 K определяется как уровень энергии, с вероятностью заполнения электронами равной:
   А) 1/4
   Б) 1/2
   В) 3/4
   Г) 1
   Ответ: *Б).*

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).