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.ДВ.05.02 Материалы для электронной техники

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: ***материаловедения и индустрии наносистем***

6. Составители программы: ***Прижимов Андрей Сергеевич, кандидат физико-математических наук***

7. Рекомендована: ***Научно-методическим советом химического факультета, протокол №10-03 от 27.03.2025***

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

9.Цели и задачи учебной дисциплины

Цель дисциплины – формирование у студентов представлений о материалах для электронной техники, их видах, физико-химических свойствах, способах получения и областях применения.

В ходе изучения дисциплины студенты должны

- приобрести знания об основных классах материалов, о физико-химических свойствах и критериях конструирования; об основных физических характеристиках и областях применения.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений блока Б1.

Требования к входным знаниям, умениям и навыкам: для освоения курса студент должен быть знаком с основными разделами общей и неорганической химии, иметь представления о методах анализа состава и структуры вещества.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах, изученных студентами ранее: «Общая и неорганическая химия»; «Органическая химия»; «Микроскопические методы исследования структуры материалов»; «Спектроскопические методы исследования материалов»; «Перспективные методы активации процессов синтеза функциональных материалов», «Полупроводниковые материалы и сверхпроводники», «Аморфные жидкокристаллические материалы».

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	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	Знать: современные представления о подходах к синтезу материалов с заданными свойствами Уметь: использовать полученные знания для выбора метода синтеза материалов Владеть: навыками синтеза некоторых видов материалов с композиционных свойствами
		ПК-2.2	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	Знать: основные типы используемых в электронной технике материалах и их свойства Уметь: прогнозировать возможности применения материалов в различных областях с учётом их физико-химических характеристик Владеть: навыками использования знаний о свойствах основных классов материалов для решения конкретных профессиональных задач

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

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			7 семестр	8 семестр	…
Контактная работа		60		60	
в том числе:	лекции	30		30	
	практические	30		30	
	лабораторные	–		–	
	курсовая работа	–		–	
Самостоятельная работа			48	48	
Промежуточная аттестация *(для экзамена)*					
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	Физические эффекты в твердых и газообразных диэлектриках	Поляризация, электропроводимость, диэлектрические потери, проницаемость	–
1.2	Физические эффекты в проводниках	Классификация проводников. Полукристаллические и аморфные металлы и сплавы. Особенности металлов в тонкопленочном состоянии	–
1.3	Физические эффекты в магнитных материалах	Магнитная структура доменов в кристаллах. Процесс намагничивания. Магнитный гистерезис, магнитная анизотропия	–
1.4	Физические основы процессов в полупроводниковых материалах	Зонная модель полупроводников (ПП). Вырожденные и невырожденные ПП. Уровень Ферми в ПП. Зависимость уровня Ферми от температуры, степени концентрации примеси. Понятие об электронно-дырочном переходе типы переходов, токи в p-n переходе	–
1.5	Полимерные материалы и пластмассы	Пластические массы и полимеры	–
1.6	Неорганические стекла	Наорганические стекла. Свойства стекол	–
1.7	Материалы для квантовой электроники	Материалы для лазеров	–
1.8	Нанотехнологические материалы	Материалы для нанотехнологий	–
2. Практические занятия			
2.1	Физические эффекты в твердых и газообразных диэлектриках	Электропроводность диэлектриков, диэлектрические потери, диэлектрическая проницаемость, электрическая прочность, виды пробоя в диэлектриках	–
2.2	Физические эффекты в проводниках	Изучение зависимости удельного электрического сопротивления проводника от их состава	–
2.3	Физические эффекты в магнитных материалах	Намагниченность и магнитная проницаемость ферромагнетиоков	–
2.4	Физические основы процессов в полупроводниковых материалах	Электропроводность полупроводников	–

2.5	Полимерные материалы и пластмассы	Пластические массы и полимеры	–
2.6	Неорганические стекла	Расчет теплоемкости и коэфициента теплопроводности по методу аддитивности	–
2.7	Материалы для квантовой электроники	Исследование полупроводникового лазера	–
2.8	Нанотехнологические материалы	Основы методов зондовой микроскопии наноструктур	–
3. Лабораторные занятия			
3.1			
3.2			

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Физические эффекты в твердых и газообразных диэлектриках	2	2	–	6	10
2	Физические эффекты в проводниках	4	4	–	6	14
3	Физические эффекты в магнитных материалах	4	4	–	6	14
4	Физические основы процессов в полупроводниковых материалах	5	5	–	6	16
5	Полимерные материалы и пластмассы	5	5	–	6	16
6	Неорганические стекла	4	4	–	6	14
7	Материалы для квантовой электроники	4	4	–	6	14
8	Нанотехнологические материалы	2	2	–	6	10
	Итого:	30	30	–	48	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В процессе изучения дисциплины предполагаются: работа с конспектами лекций и литературными источниками, специализированными интернет-ресурсами, базами данных и библиотеками; подготовка и защита рефератов.

Рекомендации по освоению дисциплины: необходимы систематическая работа с конспектом лекций и литературными источниками, а также с тематическими Интернет-ресурсами.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины *(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)*

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. — <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. — <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. — <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=262>.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	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.
2.	Горелик С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для вузов / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. – М. : МИСИС, 2003. – 480 с.
3.	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.
4.	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.

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

№ п/п	Ресурс
1.	https://www.lib.vsu.ru/ - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
2.	http://www.elibrary.ru – Научная электронная библиотека

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачники, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Практикум синтез и исследование нанодисперсных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 4 к. днев. отд-ния хим. фак., для направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Е.В. Томина и др.]. – Электрон. текстовые дан. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. – Загл. с титул. экрана. – Свободный доступ из интрасети ВГУ. – Текстовый файл. –Windows 2000; Adobe Acrobat Reader. – <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-102.pdf>.

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

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Типовое оборудование учебной аудитории

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.	Физические эффекты в твердых и газообразных диэлектриках	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
2.	Физические эффекты в проводниках	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
3.	Физические эффекты в магнитных материалах	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
4.	Физические основы процессов в полупроводниковых материалах	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Контрольная работа №1
5.	Полимерные материалы	ПК-2	ПК-2.1	Устный опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	и пластмассы		ПК-2.2	
6.	Неорганические стекла	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
7.	Материалы для квантовой электроники	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
8.	Нанотехнологические материалы	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – зачёт с оценкой				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:

Устный опрос
Контрольная работа

Перечень заданий для контрольных работ

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.

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 $3\cdot10^{17}$ 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 К, 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 $1.2\cdot10^{16}$ $см^{-3}$ при 400 К и $6.5\cdot10^{15}$ $см^{-3}$ при 350 К. 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 ω_p = $1.75\cdot10^{14}$ Гц, эффективная масса электронов равна $0.22m_0$, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(0)$ = 33. Определить концентрацию электронов.

Каждый КИМ содержит 2 вопроса из разных разделов программы.

Описание технологии проведения

На подготовку письменного ответа на вопросы КИМ (на листах ответов) даётся 60 минут, после этого проводится устная беседа.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели: владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используется 4-балльная шала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области синтеза и применения материалов	*Отлично*
Обучающийся владеет понятийным теоретическими основами дисциплины,	*Хорошо*

способен охарактеризовать основные классы материалов, допускает ошибки и неточности при ответе	
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен охарактеризовать основные материалов, не умеет применять полученные знания на практике	*Удовлетворительно*
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при ответы на вопросы КИМа и дополнительные вопросы.	*Неудовлетворительно*