

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Алтухов Александр Юрьевич
Должность: Проректор по научной работе и международной деятельности
Дата подписания: 19.12.2025 12:18:02
Уникальный программный ключ:
6ebad00d2e20304a32ec5f789bba63889382a292

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Юго-Западный государственный университет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и международной деятельности



А.Ю. Алтухов

23 02 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

Научная специальность 1.3.11.
(шифр согласно номенклатуре специальностей)


Физика полупроводников
наименование специальности


Форма обучения очная
(очная, заочная)

Курск – 2025

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, на основании учебного плана, одобренного Ученым советом университета протокол № 11 « 26» мая 2025г.

Рабочая программа обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе для обучения аспирантов по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния на заседании кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики, протокол № 10 от 20.05.2025г.

Зав.кафедрой _____  Кузько А.Е.

Разработчик программы _____  к.ф.-м.н., доцент Кузько А.Е.
(ученая степень и ученое звание, Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Директор научной библиотеки  Макаровская В.Г.

Начальник ОПиАКВК _____  Милостная Н.А.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана программы подготовки по специальности _____, одобренного Ученым советом университета протокол № ___ « ___ » _____ 20 ___ г. на заседании кафедры _____
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав.кафедрой _____

1. Цель и задачи дисциплины. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Цель дисциплины

формирование у учащихся целостного, в рамках существующих естественнонаучных положений и современного развития физики полупроводников, представления об основных физических характеристиках полупроводниковых материалов, процессах, происходящих в полупроводниках под действием физических полей и областях применения таких материалов.

1.2 Задачи дисциплины

Основной задачей изучения дисциплины является освоение основ физики твердого тела, касающейся физических явлений в полупроводниках. Эта задача подразделяется на:

- изучение основ кристаллографии;
- изучение основ движения носителей заряда в твердых телах с периодической структурой;
- изучение основных механизмов формирования сопротивления в полупроводниковых материалах в широком диапазоне температур.
- изучение оптических свойств полупроводников;

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные законы и свойства квантовой физики, кристаллографии, физики полупроводников, фундаментальные закономерности физики полупроводниковых наноструктур, и приемы работы с ними для профессиональной деятельности;

- - основные методики теоретического и экспериментального исследования полупроводниковых материалов, способы их модификации и устранения или учета мешающих факторов;

уметь:

- подбирать наиболее эффективные методики для измерения основных параметров полупроводников и анализировать результаты измерений;

- подбирать необходимые полупроводниковые материалы и наноструктуры для наблюдения и использования современных научных достижений в физике полупроводников для оценки степени их перспективности в плане практического применения;

владеть:

- способностью выявления области применения фундаментальных закономерностей физики полупроводников для поиска и моделирования полупроводникового материала (в том числе наноструктурированного) с заданными свойствами;

- современным программно-аппаратным инструментарием для исследования физических свойств полупроводников, навыками критического анализа и оценки полученных результатов, навыками самоанализа и самооценки, генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к основным дисциплинам раздела 2.1 образовательного компонента (2.1.4) учебного плана научной специальности 1.3.11, курс 4, семестр 8.

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 6 зачетных единиц (з.е.), 216 часов.

Таблица 2.1 –Объём дисциплины

Объём дисциплины	Всего, часов
Общая трудоемкость дисциплины	216
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	54
в том числе:	
лекции	36
лабораторные занятия	не предусмотрено
практические занятия	18
экзамен	0
зачет	не предусмотрено
Аудиторная работа (всего):	54
в том числе:	
лекции	36
лабораторные занятия	не предусмотрено
практические занятия	18
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	162

Таблица 2.2 – Содержание дисциплины и ее методическое обеспечение

№ п/п	Разделы, темы дисциплины	Виды деятельности			Учебн о-методические материалы	Формы текущего контроля успеваемости
		№ лек., час	№ лаб., час	№ пр., час		
1	2	3		4	5	6
1	Предмет и задачи курса «Физика полупроводников»	1-2ч	0	1-2ч	У-1 У-2	КО
2	Основы кристаллографии.	2-4ч	0	2-2ч	У-1 У-2	КО
3	Электроны и дырки в полупроводниках	3-6ч	0	3-4ч	У-1 У-2 У-3 У-4	К
4	Собственные и примесные полупроводники	4-6ч	0	4-2ч	У-1 У-2 У-3 У-4	КО

5	Неравновесные процессы в полупроводниках	5-4ч	0	5-2ч	У-1 У-2 У-5	К
6	Уравнение баланса носителей в полупроводнике	6-6ч	0	6-2ч	У-1 У-4 У-5	КО
7	Оптические свойства полупроводников.	7-4ч	0	7-2ч	У-1 У-2 У-4 У-5	К
8	Полупроводниковые наноструктуры	8-4ч	0	8-2ч	У-1 У-2	КО
	Итого 72 часа, из них:	36		18		экзамен (8 семестр).

Таблица 2.3 – Краткое содержание лекционного курса

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Содержание
1	2	3
1	Предмет и задачи курса «Физика полупроводников»	История изучения полупроводников. Достижения российской (советской) научной школы по физике полупроводников. Классификация твердых тел по проводимости. Основные понятия квантовой физики при изучении полупроводниковых веществ. Основы зонной теории. Классификация твердых тел по ширине запрещенной зоны. Элементы зонной теории твердых тел. Основные приближения зонной теории. Типы химических связей, строение полупроводниковых кристаллов. Трактовка запрещенной зоны энергий.
2	Основы кристаллографии.	Периодичность в природе и в твердых телах. Типы кристаллической структуры. Кристаллическая решетка. Симметрия в твердом теле. Точечные элементы симметрии. Дальний и ближний порядки. Элементарная ячейка. Индексы. Вектор трансляции. Параметры решетки. Основные понятия кристаллографии. Узел. Направление. Плоскость. Совокупность плоскостей. Операции с индексами. Дефекты кристаллической решетки и их роль в формировании свойств полупроводника. Нульмерные. Одномерные. Двумерные. Трехмерные. Проводимость твердых тел.
3	Электроны и дырки в полупроводниках	Движение электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Квазиимпульс, зоны Бриллюэна.

		<p>Подвижность и эффективная масса. Закон дисперсии, электроны и дырки. Динамика электрона в идеальной кристаллической решетке. Энергетический спектр электрона в кристалле. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние, рассеяние на ионизированных атомах примеси. Температурная зависимость подвижности носителей. Температурная зависимость удельной электропроводности металлов.</p>
4	Собственные и примесные полупроводники	<p>Примесные атомы, примесная проводимость, доноры и акцепторы. Примесная проводимость с точки зрения зонной теории. Примесные уровни. Энергия активации примесных атомов. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники. Собственные полупроводники, условие электронейтральности, положение уровня Ферми, равновесная концентрация носителей заряда. Примесные полупроводники, равновесная концентрация носителей заряда в области истощения примесных атомов, положение уровня Ферми. Равновесная концентрация носителей заряда при низких температурах, положение уровня Ферми. Случай сильного вырождения. Проводимость полупроводников и ее температурная зависимость.</p>
5	Неравновесные процессы в полупроводниках	<p>Механизмы рассеяния носителей заряда и температурная зависимость их подвижности. Равновесные и неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинационные эффекты. Скорость генерации, рекомбинации и время жизни свободных носителей заряда. Различные типы процессов рекомбинации. Рекомбинация зона-зона, время жизни свободных носителей. Рекомбинация через примеси и дефекты. Стационарные состояния. Большой уровень возбуждения, малый уровень возбуждения, времена жизни свободных носителей. Поверхностные явления в полупроводниках. Поверхностная рекомбинация.</p>
6	Уравнение баланса носителей в полупроводнике	<p>Дрейф и диффузия носителей заряда. Соотношения Эйнштейна. Уравнение непрерывности и уравнение диффузии. Уравнение непрерывности для полупроводников с учетом дрейфового тока, генерации и рекомбинации носителей заряда. Термоэлектрические и гальваномагнитные явления в</p>

		<p>полупроводниках. Электрические свойства кремния, германия, арсенида галлия. Строение кристаллической решетки, зонная структура. Подвижность носителей, их эффективная масса. Перенос носителей заряда в тонких пленках. Физические ограничения режимов работы полупроводниковых приборов.</p>
7	<p>Оптические свойства полупроводников.</p>	<p>Характеристики излучения. Законы Планка, Стефана-Больцмана, Вина. Пропускание атмосферы и спектральные области применения полупроводниковых фотоприемников. Оптические свойства полупроводников и их влияние на параметры фотоприемников. Люминесценция полупроводников Основные понятия и определения. Рекомбинационное излучение. Теория Ван Русбрека-Шокли. Условие инверсной населенности. Усиление излучения. Условия получения лазерного режима. Светодиоды и оптроны Диодные источники излучения. Инжекционная электролюминесценция. Материалы, используемые для конструирования светодиодов. Коэффициенты инжекции, пропускания и вывода. Оптроны и оптоэлектронные схемы. Определение оптрона, его устройство, принцип действия. Классификация оптронов. Системы параметров оптронов. Полупроводниковые лазеры Устройство и типы приборов. Вклад российских ученых в развитие квантовой электроники. Основные параметры лазеров: диаграмма направленности, ВАХ и КПД, и применения лазерных диодов. Старение источников излучения.</p>
8	<p>Полупроводниковые наноструктуры</p>	<p>Молекулярно-лучевая эпитаксия как метод прямого получения (самоорганизации) наноструктур. Современные методы исследования поверхностных процессов и их возможности. Кинетика субмонослойного роста при гомоэпитаксии. Кинетические уравнения и скейлинговые теории. Зависимость плотности двумерных островков от температуры и скорости роста. Распределение островков по размерам. Переход от одноуровневого к многоуровневому росту при гомоэпитаксии. Статистические теории. Роль флуктуаций. Проблема устойчивости системы вицинальных ступеней. Формирование сверхрешеток. Влияние шероховатости поверхности и механизма роста на резкость границы раздела слоев. Выращивание дельта-легированных</p>

		слоев. Поверхностная сегрегация примеси. Латеральные квантовые проволоки. Вертикальные квантовые проволоки – нановискеры. Континуальные и атомистические модели формирования когерентных 3D островков. Многослойные гетероструктуры с квантовыми точками.
--	--	---

2.2 Лабораторные и (или) практические занятия

2.2.1 Практические занятия

Таблица 2.4 – Практические занятия

№	Наименование практического занятия.	Объем, час.
1	2	3
1	Методы и средства анализа экспериментальных данных в физике полупроводников. Основные понятия квантовой физики при изучении полупроводниковых веществ. Основы зонной теории.	2
2	Основы кристаллографии. Исследование кристаллографической структуры полупроводников	4
3	Собственные и примесные полупроводники. Исследование температурной зависимости проводимости полупроводников	4
4	Электроны и дырки в полупроводниках. Определение основных характеристик носителей заряда в полупроводниках	4
5	Оптические свойства полупроводников и полупроводниковых наноструктур.	4
	Итого:	18

2.3 Самостоятельная работа обучающихся (СРО)

Таблица 2.5 – Самостоятельная работа обучающихся

№	Наименование раздела дисциплины	Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час.
1	2	4
1	Зонная структура полупроводников	4

2	Кристаллическая решетка	8
3	Статистика свободных носителей при тепловом равновесии	8
4	Свободные носители в полупроводниках.	8
5	Эффекты Холла, Томсона, Нерста-Эттинггаузена, Пельтье в полупроводниках и их применение.	8
6	Оптические свойства полупроводников. Ловушки. Захват носителей заряда на ловушки. Активация ловушек.	6
7	Механизм сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Понятие о СКВИДе.	6
Итого		52

4 Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы

Аспиранты могут при самостоятельном изучении отдельных тем и вопросов дисциплин пользоваться учебно-наглядными пособиями, учебным оборудованием и методическими разработками кафедры в рабочее время, установленное Правилами внутреннего распорядка работников.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы аспирантов по данной дисциплине организуется:

библиотекой университета:

- библиотечный фонд укомплектован учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с УП и данной РПД;
- имеется доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.

кафедрой:

- путем обеспечения доступности всего необходимого учебно-методического и справочного материала;

- путем предоставления сведений о наличии учебно-методической литературы, современных программных средств.
- путем разработки: методических рекомендаций, пособий по организации самостоятельной работы студентов; заданий для самостоятельной работы; тем рефератов и докладов; тем курсовых работ и методические рекомендации по их выполнению; вопросов к зачету; методических указаний к выполнению лабораторных и практических работ и т.д.

типографией университета:

– помощь авторам в подготовке и издании научной, учебной и методической литературы; удовлетворение потребности в тиражировании научной, учебной и методической литературы.

4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Методика проведения контроля по проверке базовых знаний для текущей аттестации

Для промежуточной аттестации, проводимой в форме тестирования, используется следующая методика оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности. В каждом варианте КИМ 18 вопросов.

Каждый верный ответ оценивается следующим образом:

- ответ на вопрос – 2 балла.

Максимальное количество баллов за тестирование – 36 баллов.

Примеры типовых контрольных заданий для текущего контроля

1. Сколько атомов приходится на элементарную ячейку и чему равно координационное число в кристаллических структурах простой кубической, ОЦК и ГЦК?
2. Основываясь на характеристиках кристаллической структуры типа алмаза, рассчитайте следующие параметры кремния ($a=0,357$ нм)
 - а) число атомов, содержащихся в элементарной ячейке и координационное число

- б) атомный радиус структуры (длину отрезка, соединяющего два ближайших узла)
 в) число атомов, приходящихся на единицу площади в кристаллических плоскостях (111), (100) и (110). (Три указанные здесь плоскости существенны для технологии полупроводниковых приборов.)

3. Доказать, что плоскость с миллеровскими индексами (hkl) отсекает на осях координат отрезки, пропорциональные a/h , b/k , c/l .

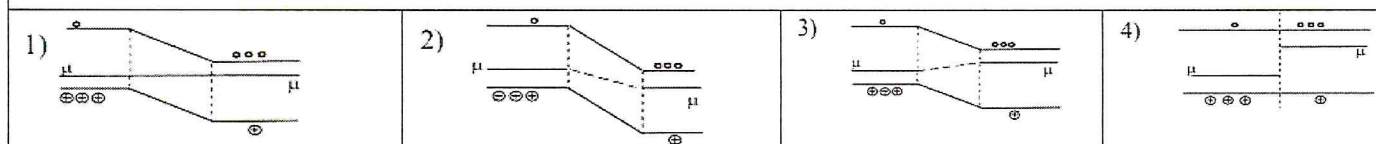
Тестовые задания

1. Полупроводниковый прибор с двумя n–p-переходами называется			
резистором	диодом	фоторезистором	транзистором
2. Полупроводники, у которых экстремумы зон проводимости и валентной зоны расположены в разных точках k-пространства называются			
	Непрямозонными	Прямозонными	
3. Как выглядит выражение в приближении слабой связи для эффективной массы вблизи экстремумов:			
$m^* = \pm \hbar^2 U_G^2 / G^2$	$m^* = \pm \hbar^2 U_G / G^2$	$m^* = \pm \hbar^2 U_G / G^3$	$m^* = \pm \hbar U_G / G^2$
4. Прямым включением p-n перехода называется включение,			
способствующее уходу подвижных носителей от p-n перехода	увеличивающее скачок потенциала на p-n переходе	при котором уменьшается высота потенциального барьера и переход представляет собой малое сопротивление протекающему току	при котором плюс внешнего источника подключается к n-области, минус – к p-области
5. Концентрацию электронов в зоне проводимости можно представить в виде:			
$n = N_c \times \exp(-x_c / k_B T^2)$	$n = N_c \times \exp(-x_c^2 / k_B T)$	$n = N_c \times \exp(-x_c / k_B T)$	$n = N_c \times \exp(-x_c / k_B)$
6. Красная граница фотопроводимости в собственном полупроводнике описывается формулой			
$\lambda = hc / E_d$	$\lambda = hc / E_g$	$\lambda = hc / E_a$	$\lambda = hc / eU$
7. Примеси, обеспечивающие получение полупроводников n-типа имеют валентность			
на два больше, чем у исходного полупроводникового материала	на два меньше, чем у исходного полупроводникового материала	на один меньше, чем у исходного полупроводникового материала	на один больше, чем у исходного полупроводникового материала

			материала
8. С ростом температуры удельное электрическое сопротивление собственных полупроводников ...			
растет	не меняется	уменьшается	резко увеличивается
9. Какой цифрой обозначены носители, которые являются неосновными для полупроводника n – типа?			
1	2	3	4
10. Если число образующих кристалл атомов N увеличить в 3 раза, то число электронов, которое может вместить 2p-зона			
не изменится	увеличится в 6 раз	увеличится в 3 раза	увеличится на 3N
11. В четырехвалентный германий добавили: 1) пятивалентный фосфор, 2) трехвалентный индий. Каким типом проводимости будет обладать полупроводник в каждом случае?			
1-дырочной, 2-электронной.	1-электронной, 2-дырочной	В обоих случаях электронной	В обоих случаях дырочной
12. На графике показана зависимость логарифма электропроводности в полупроводниках p-типа от обратной температуры. В области низких температур электропроводность описывается формулой:			
$\sigma \sim \exp(-E_g/2kT)$	$\sigma \sim \exp(-E_A/2kT)$	$\sigma \sim \exp(-E_D/2kT)$	$\sigma \sim T^{-3/2}$
13. Максимальное число электронов, которое может вместить энергетическая зона 4f кристалла, содержащего N атомов, равно			
6N	10N	14N	18N
14. Примесная фотопроводимость полупроводников наблюдается			

при любой температуре	при температуре ниже температуры истощения примесей T_S	выше температуры T_i	выше температуры T_S , но ниже температуры T_i ; перехода к собственной проводимости
-----------------------	---	------------------------	--

15.Какая зонная диаграмма соответствует равновесному состоянию p-n перехода?



16. Полупроводник содержит дефекты с отрицательной энергией корреляции с концентрацией N . Исследовать зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации мелких примесей. Считать, что абсолютная величина энергии корреляции $U_0 \gg RT$.

Ответ:

Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме дифференцированного зачета. Зачет проводится в форме тестирования. Для проверки используются контрольно-измерительные материалы (КИМ) – задания, составляющие набор вопросов (18 вопросов по 2 балла за каждый). Проверяемыми на промежуточной аттестации элементами содержания являются темы дисциплины, указанные в разделе 2 настоящей программы. Все темы дисциплины отражены в КИМ. В каждый вариант КИМ включаются задания по каждому проверяемому элементу содержания во всех перечисленных выше формах и разного уровня сложности. Такой формат КИМ позволяет объективно определить качество освоения обучающимися основных элементов содержания дисциплины и уровень сформированности компетенций.

Рейтинговый контроль изучения дисциплины не предусмотрен.

5. Образовательные технологии. Технологии использования воспитательного потенциала дисциплины

При выполнении различных видов работ в ходе освоения дисциплины используются следующие образовательные инновационные технологии обучения:

- диалоговые, структурно-логические, проектные, диагностические технологии и технологии учебного исследования (к ним относятся информационно-коммуникационные технологии, метод критического мышления, проблемное обучение и игровые технологии, а также специфические методы исследования, такие, как наблюдение, анкетирование, интервью, сравнительный анализ);
- работа в группах;
- межличностная коммуникация;
- опытно-экспериментальные исследования;
- проведение научно-методических семинаров и конференций.

Ключевые образовательные технологии:

Диалоговые технологии: основаны на взаимодействии аспиранта и преподавателя или аспирантов между собой для обмена знаниями и идеями.

Структурно-логические технологии: помогают упорядочить информацию, выстраивать логические цепочки и делать выводы.

Проектные технологии: ориентированы на разработку конкретного проекта, где аспирант проходит все этапы от постановки задачи до получения результата.

Технологии учебного исследования: предполагают самостоятельное решение аспирантом поставленных задач, поиск, анализ и интерпретацию информации.

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ): включают использование цифровых инструментов, онлайн-ресурсов и платформ для сбора и обработки данных.

Технология проблемного обучения: строится на основе решения проблем, которые требуют от аспиранта найти новое, ранее неизвестное знание.

Технологии развития критического мышления: направлены на формирование умения анализировать информацию, аргументировать свою позицию и делать обоснованные выводы.

Примеры методов исследования:

Сравнительный анализ: сопоставление различных объектов или явлений для выявления их сходств и различий.

Абстрагирование: выделение существенных признаков объекта и отвлечение от несущественных.

Индукция и дедукция: логические методы, позволяющие делать выводы от частного к общему (индукция) или от общего к частному (дедукция).

Наблюдение: систематическое и целенаправленное восприятие явлений действительности для сбора данных.

Анкетирование и опрос: методы сбора информации путем задавания вопросов большому количеству людей.

Интервью и собеседование: получение информации при личном общении с респондентом.

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в образовательном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования компетенций обучающихся.

Содержание дисциплины обладает значительным воспитательным потенциалом, поскольку в нем аккумулирован исторический и современный научный опыт человечества. Реализация воспитательного потенциала дисциплины осуществляется в рамках единого образовательного и воспитательного процесса и способствует непрерывному развитию личности каждого обучающегося. Дисциплина вносит значимый вклад в формирование общей и (или) профессиональной культуры обучающихся.

Содержание дисциплины способствует профессионально-трудовому, культурно-творческому воспитанию обучающихся.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины подразумевает:

– целенаправленный отбор преподавателем и включение в материал для практических занятий содержания, демонстрирующего обучающимся образцы настоящего научного подвижничества создателей и представителей данной отрасли науки, высокого профессионализма ученых, их ответственности за результаты и последствия деятельности для природы, человека и общества; примеры подлинной нравственности людей, причастных к развитию науки, а также примеры высокой духовной культуры, творческого мышления;

– применение технологий, форм и методов преподавания дисциплины, имеющих высокий воспитательный эффект за счет создания условий для взаимодействия обучающихся с преподавателем, другими обучающимися, представителями работодателей (командная работа, разбор конкретных ситуаций, решение кейсов);

– личный пример преподавателя, демонстрация им в образовательной деятельности и общении с обучающимися за рамками образовательного процесса высокой общей и профессиональной культуры.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины на учебных занятиях направлена на поддержание в университете единой развивающей образовательной и воспитательной среды.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины в ходе самостоятельной работы обучающихся способствует развитию в них целеустремленности, инициативности, креативности, ответственности за результаты своей работы – качеств, необходимых для успешной социализации и профессионального становления.

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

6.1 Основная учебная литература

1. Данилов, В. С. Анализ работы и применение активных полупроводниковых элементов : учебное пособие / В. С. Данилов, Ю. Н. Раков ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 418 с. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575345> (дата обращения: 09.12.2025). – ISBN 978-5-7782-3369-0. – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

2. Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 232 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=727528> (дата обращения: 09.12.2025). – ISBN 978-5-9729-2825-5. – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

6.2. Дополнительная учебная литература

3. Михайлов, А. И. Физические основы твердотельной электроники : учебное пособие для студентов факультета нано- и биомедицинских технологий / А. И. Михайлов, С. А. Сергеев. - 2-е изд. - Саратов : Издательство Саратовского университета, 2020. - 192 с. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/116339.html> (дата обращения: 10.12.2025). - ISBN 978-5-292-04673-8. - Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

4. Поклонский, Н. А. Физика полупроводниковых систем : основные понятия : монография / Н. А. Поклонский, С. А. Вырко, О. Н. Поклонская. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 312 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=711462> (дата обращения: 09.12.2025). – ISBN 978-985-08-3053-1. – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

6.3 Перечень методических указаний

1. Фролова, С. А. Решение задач по физике и химии фазовых переходов : учебно-методическое пособие по дисциплинам «Физика», «Химия», «Физико-химическое материаловедение» / С. А. Фролова, О. В. Соболев, Е. А.

Покинтелица. - Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2024. - 182 с. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/141656.html> (дата обращения: 09.12.2025). - Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

2. Кардаш, Т. Ю. Методы кристаллоструктурных исследований. Лекции по порошковой рентгенографии : учебно-методическое пособие / Т. Ю. Кардаш, С. В. Цыбуля. - Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 2025. - . - URL: <https://www.iprbookshop.ru/148521.html> (дата обращения: 09.12.2025). - ISBN 978-5-4437-1545-2. - Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

Ч.1. Основные уравнения и методы обработки данных. – 70 с.

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

Интернет

1. <http://www.edu.ru/> - федеральный портал Российское образование
2. <http://school-collection.edu.ru/> - федеральное хранилище Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов
3. <http://svitk.ru> – электронная библиотека
4. <http://www.iqlib.ru> – электронная библиотека образовательных и просветительных изданий
5. <http://www.lib.msu.su/index.html> - Научная библиотека Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

6.5 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Практическому занятию предшествует самостоятельная работа аспиранта, связанная с освоением материала, полученного на лекциях, и материалов, изложенных в учебниках и учебных пособиях, а также литературе, рекомендованной преподавателем. По согласованию с преподавателем или по его заданию аспиранты готовить рефераты по отдельным темам дисциплинам,

выступать на занятиях с докладами. Основу докладов составляет, как правило, содержание подготовленных аспирантами рефератов. Качество учебной работы аспирантов преподаватель оценивает по результатам тестирования, собеседования, а также по результатам докладов. Преподаватель уже на первых занятиях объясняет аспирантам, какие формы обучения следует использовать при самостоятельном изучении научно-исследовательской практики: конспектирование учебной литературы и лекции, составление словарей понятий и терминов и т. п. В процессе обучения преподаватели используют активные формы работы с аспирантами.

Изучение литературы составляет значительную часть самостоятельной работы аспиранта. В самом начале работы над книгой важно определить цель и направление этой работы. Прочитанное следует закрепить в памяти. Одним из приемов закрепления освоенного материала является конспектирование, без которого немыслима серьезная работа над литературой. Систематическое конспектирование помогает научиться правильно, кратко и четко излагать своими словами прочитанный материал. Самостоятельную работу следует начинать с первых занятий. От занятия к занятию нужно регулярно прочитывать конспект лекций, знакомиться с соответствующими разделами учебника, читать и конспектировать литературу по каждой теме дисциплины. Самостоятельная работа дает аспирантам возможность равномерно распределить нагрузку, способствует более глубокому и качественному усвоению учебного материала. В случае необходимости аспиранты обращаются за консультацией к руководителю практики с целью усвоения и закрепления компетенций. Основная цель самостоятельной работы аспирантов – закрепить теоретические знания, а также сформировать практические навыки самостоятельного анализа особенностей научно-исследовательской работы.

7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая

перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Операционная система Windows, Libre Office. Чтение лекций с использованием слайд - презентаций. Консультирование посредством электронной почты. Использование слайд - презентаций при проведении научно-практических занятий.

8. Материально-техническое обеспечение научно-исследовательской практики

Стандартно оборудованные лекционные аудитории, оснащенные учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя; доска. Для проведения отдельных занятий (по заявке) - выделение компьютерного класса, а также аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран настенный, другое оборудование. На практических занятиях предусмотрено использование системы MathCad. Обработка результатов лабораторных работ выполняется в системе Origin.

9. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию остаются теми же, а

требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное представление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).