

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Институт электронной техники и машиностроения
Кафедра «Электронные приборы и устройства»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Б.1.1.16 Физика конденсированного состояния»

направления подготовки

11.03.04 «Электроника и микроэлектроника» (ЭЛНЭ)

Профиль - «Электронные приборы и устройства»

форма обучения – очная;

курс – 3;

семестр – 6;

зачетных единиц – 3;

часов в неделю – 3;

всего часов – 108;

в том числе:

лекции –18;

практические занятия –36;

самостоятельная работа – 54;

зачет – 6 семестр.

1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины: формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел, в первую очередь – полупроводников, при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники; изучение основ зонной теории и деления твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики; знание основных электрических, оптических и магнитных свойств твердых тел; овладение практическими навыками измерения параметров полупроводников.

Задачи изучения дисциплины: расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных результатов физики конденсированных сред и твердого тела и способов практического использования свойств твердых тел, развитие понимания взаимосвязи структуры и состава твердых тел, в первую очередь - полупроводников, и многообразия их физических свойств, практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями твердого тела, навыками постановки физического эксперимента по изучению свойств твердых тел и основными экспериментальными методиками, создание основы для последующего изучения вопросов физики полупроводниковых приборов, включая элементы и приборы наноэлектроники, физики низкоразмерных систем, твердотельной электроники и технологии микро- и наноэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Изучение дисциплины «Физика конденсированного состояния» базируется на следующих дисциплинах:

- Физика;
- Математика.

Основные положения дисциплины «Физика конденсированного состояния» используются в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- Физические основы электроники;
- Основы технологии электронной компонентной базы;
- Наноэлектроника;

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать

стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1).

Студент должен знать: основные типы конденсированных сред и приближения зонной теории, особенности зонной структуры основных полупроводников, типы и роль примесей в полупроводниках, типы и механизмы генерации и рекомбинации носителей заряда в полупроводниках, природу и свойства поверхностных состояний, методы описания и механизмы взаимодействия электрического и электромагнитного поля с решеткой; физическую природу магнетизма, основные типы магнетиков; свойства и основные типы сверхпроводников, макро- и микроскопические модели сверхпроводимости; основные экспериментальные методы изучения зонной структуры и определения концентрации, времени жизни и подвижности носителей заряда в полупроводниках и методы изучения электрических и магнитных свойств твердых тел.

Студент должен уметь: применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств; работать с учебной, научно-популярной, монографической литературой и текущей научной информацией в изучаемой области; применять полученные знания для объяснения сущности физических явлений и процессов в твердых телах, производить анализ и делать количественные оценки параметров физических процессов;

Студент должен владеть: методикой изложения на разном уровне физических основ конденсированных сред, методами экспериментального исследования свойств твердых тел, производить расчет кинетических характеристик твердых тел в приближении свободного электронного газа.

4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ Мо-ду-ля	№ Не-де-ли	№ Те-мы	Наименование темы	Часы					
				Всего	Лек-ции	Кол-лок-виумы	Лабора-торные	Прак-тичес-кие	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6 семестр									
1	1-3	1	Введение. Классификация твердых тел по типам связи	14	2				12
1	4-8	2	Основы зонной теории твердых тел. Статистика носителей заряда в твердых	30	8			10	12

			телах						
2	9-13	3	Кинетические явления в твердых телах. Сверхпроводники	28	4			8	16
2	14-18	4	Диэлектрические и магнитные свойства твердых тел.	36	4			18	14
Всего				108	18			36	54

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Типы конденсированных сред, симметрия и структура кристаллов Определение конденсированного состояния, классификация конденсированных сред на твердые и жидкие тела, кристаллы и аморфные тела, квазикристаллы и жидкие кристаллы; основные типы связей в телах; энергия связи; структура твердых тел (кристаллов), элементы симметрии, решетки Бравэ, точечные группы, группы трансляций, пространственные группы; индексы Миллера; дифракция рентгеновских и электронных волн на кристалле, условия дифракции Лауэ и Вульфа-Брэгга, брэгговские плоскости, обратная решетка.	[1,2,5,6]
2	2	2	Основы зонной теории. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения зонной теории; уравнение Шредингера в периодическом потенциале, теорема Блоха и блоховская волновая функция. Энергетические зоны; число состояний электронов в энергетической зоне; возможное заполнение электронных состояний валентной зоны. Классификация кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; эффективная масса носителя заряда в кристалле; понятие дырки.	[3-6]
2	2	3	Свободный электронный газ в полупроводниках и металлах Носители заряда в полупроводниках и металлах и модель газа свободных и независимых электронов; свободный электронный газ Ферми; стационарные кинетические процессы в классическом электронном газе: электропроводность, теплопроводность, закон Видемана-Франца; эффект Холла.	[1,3,5,6]
2	2	4	Статистика равновесных носителей заряда. Примеси и примесные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок в полупроводниках Функция распределения Ферми-Дирака	[1,3,4,6]

2	2	5	<p>Неравновесные носители заряда: генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф</p> <p>Равновесные и неравновесные носители заряда (н.з.); время жизни неравновесных электронно-дырочных пар, рекомбинация носителей заряда; квазиуровни Ферми. Биполярная световая генерация н.з. Биполярная световая генерация н.з., максвелловская релаксация; дебаевская длина экранирования Виды рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда, уравнение непрерывности, диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия и дрейф неосновных н.з. в случае монополярной проводимости. Диффузия и дрейф неосновных избыточных н.з. в примесном полупроводнике. Длина и скорость диффузии и дрейфа. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока.</p>	[1,3,4,6]
3	2	6	<p>Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.</p> <p>Дрейф свободных носителей заряда в твердых телах. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Время релаксации и подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния. Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов. Эффект Холла. Коэффициент Холла и его связь с параметрами полупроводников. Зависимость коэффициента Холла от температуры. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Объемная и контактная составляющие термо-э.д.с. Температурная зависимость коэффициента термо-э.д.с. в полупроводниках. Эффект пельтье. Эффект Томсона.</p>	[1,2,5,6]
3	2	7	<p>Сверхпроводники Сверхпроводимость: нулевое электрическое сопротивление и эффект Мейсснера; сверхпроводники I и II рода; теория Гинзбурга-Ландау; вихри Абрикосова; эффекты Джозефсона; высокотемпературные сверхпроводники. Применение сверхпроводников.</p>	[1,5-7]
4	2	8	<p>Диэлектрические свойства изоляторов, локальное поле и диэлектрическая проницаемость; механизмы поляризуемости кристаллов; пироэлектрики и сегнетоэлектрики, температура Кюри, фазовые переходы первого и второго рода, использование сегнетоэлектриков в микроэлектронике.</p>	[1,2,5,6]
4	2	9	<p>Магнитные моменты атомов и магнитные свойства твердых тел. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм свободного электронного газа. Уровни Ландау. Природа парамагнетизма. Теории парамагнетизма Ланжевена и Бриллюэна. Парамагнетизм Паули. Природа ферромагнетизма. Магнитное упорядочение. Спонтанная намагниченность. Обменное</p>	[1,2,5,6]

			взаимодействие. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Доменная структура, механизмы намагничивания, гистерезис.	
--	--	--	---	--

6. Содержание коллоквиумов

Не предусмотрены учебным планом.

7. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	№ лабораторной	Наименование практической работы. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
2	10	1	Расчет температурных зависимостей концентрации свободных носителей заряда для различных полупроводниковых материалов.	[8]
3	8	2	Исследование эффекта Холла в полупроводниках	[8]
4	8	3	Определение электрофизических параметров контакта металл – полупроводник по его вольтамперной характеристике	[8]
4	10	4	Определение характеристик структуры металл-полупроводник с помощью вольтфарадного метода.	[8]

8. Перечень лабораторных работ

Не предусмотрены учебным планом.

Методические указания приведены в соответствующем разделе ИОС [8]

9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
1	12	Пространственные группы; индексы Миллера; дифракция рентгеновских и электронных волн на кристалле, условия дифракции Лауэ и Вульфа-Брэгга, брэгговские плоскости, обратная решетка.	[1,3,4,6]
2	12	Аморфные вещества. Аморфные полупроводники в микро- и нанoeлектронике. Управление свойствами некристаллических полупроводников. Четыре уровня структурной модификации материала. Применение некристаллических полупроводников	[1,2,5,6]
3	16	Высокотемпературные сверхпроводники. Электродинамика сверхпроводниковых структур. Сверхпроводимость нанотрубок.	[1,5-7]
4	14	Оптические явления в твердых телах. Оптические	[2-4,6]

		<p>константы вещества. Поглощение света в твердых телах. Основные механизмы поглощения. Отражение от поверхности твердых тел. Электропроводность и диэлектрическая проницаемость твердых тел на оптических частотах. Плазменный резонанс.</p>	
--	--	---	--

Методические указания по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины приведены в соответствующем разделе ИОС [8]

10. Расчетно-графическая работа

Не предусмотрена учебным планом.

11. Курсовая работа

Не предусмотрена учебным планом.

12. Курсовой проект

Не предусмотрен учебным планом.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

В процессе освоения образовательной программы формируется отдельные элементы компетенций: ПК-1 способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования. Содержание лекционного курса и интерактивных практических занятий формируют на рассматриваемом этапе элементы компетенций в части, касающейся основ физики конденсированных сред и приближений зонной теории, макро- и микроскопические моделей сверхпроводимости.

Процедура оценивания знаний, умений и навыков проводится в соответствии со следующими методическими материалами и заключается в проведении устного зачетного опроса в виде диалога преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала; отчетов по лабораторным, для оценки способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, а также составления выводов.

Показателем оценивания степени усвоения знаний этого элемента компетенции, является оценка, полученная на зачете при ответе на вопросы для экзамена. Уровень освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» обучающимися определяется следующими оценками: «зачтено», «не зачтено» и осуществляется путем анализа ответа на вопросы для зачета. При этом руководствуются следующими критериями.

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения (дескрипторы)
Зачтено	заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением лабораторных работ, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Оценка "зачтено" выставляется обучающимся, допустившим погрешности в ответе на зачете и при выполнении лабораторных и творческих заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя
Не зачтено	выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой лабораторных работ. Оценка "не зачтено" ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании образовательного учреждения без дополнительных занятий по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

Умения и навыки, приобретенные студентом на этапе освоения указанной части компетенции (дисциплины «Физика конденсированного состояния»), оцениваются по результатам выполнения предусмотренных учебным планом лабораторных работ, заданий на самостоятельную работу. Уровень освоения знаний этого элемента компетенции обучающимися определяется следующими оценками: «зачтено», «не зачтено». При этом руководствуются следующими критериями:

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Зачтено	выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и самостоятельно, показывают необходимые для проведения работы теоретические знания, практические умения и навыки. Задание показывает знание учащихся основного теоретического материала и овладение умениями, необходимыми для самостоятельного выполнения работы. Оценка "зачтено" выставляется обучающимся, допустившим погрешности в при выполнении лабораторных заданий, не влияющие на правильность конечного результата, но обладающим

	необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Могут быть неточности и небрежность в оформлении результатов работы. Студенты работают полностью самостоятельно:
Не зачтено	выставляется, если студенты показывают плохое знание теоретического материала и отсутствие умения применить знания к решению практической задачи. Руководство и помощь со стороны преподавателя и хорошо подготовленных студентов неэффективны по причине плохой подготовки студента.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Физика конденсированного состояния» включает учет успешности выполнения лабораторных работ, самостоятельной работы и сдачу зачета.

Вопросы для зачета

1. Типы конденсированных сред, симметрия и структура кристаллов
2. Определение конденсированного состояния, классификация конденсированных сред на твердые и жидкие тела, кристаллы и аморфные тела, квазикристаллы и жидкие кристаллы; основные типы связей в телах; энергия связи; структура твердых тел (кристаллов), элементы симметрии, решетки Бравэ, точечные группы, группы трансляций, пространственные группы; индексы Миллера; дифракция рентгеновских и электронных волн на кристалле, условия дифракции Лауэ и Вульфа-Брэгга, брэгговские плоскости, обратная решетка.
3. Основы зонной теории. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения зонной теории; уравнение Шредингера в периодическом потенциале, Энергетические зоны. Классификация кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; понятие дырки.
4. Свободный электронный газ в полупроводниках и металлах
5. Носители заряда в полупроводниках и металлах и модель газа свободных и независимых электронов; электропроводность, теплопроводность; эффект Холла.
6. Равновесные и неравновесные носители заряда: генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф; квазиуровни Ферми. Длина и скорость диффузии и дрейфа.
7. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.
8. Дрейф свободных носителей заряда в твердых телах. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Время релаксации и подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния. Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов. Эффект Холла. Коэффициент Холла и его связь с параметрами полупроводников. Зависимость коэффициента Холла от температуры. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Объемная

и контактная составляющие термо-э.д.с. Температурная зависимость коэффициента термо-э.д.с. в полупроводниках. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.

9. Сверхпроводники Сверхпроводимость: нулевое электрическое сопротивление и эффект Мейсснера; сверхпроводники I и II рода; теория Гинзбурга-Ландау; вихри Абрикосова; эффекты Джозефсона; высокотемпературные сверхпроводники. Применение сверхпроводников.
10. Диэлектрические свойства изоляторов, локальное поле и диэлектрическая проницаемость; механизмы поляризуемости кристаллов; пироэлектрики и сегнетоэлектрики, температура Кюри, фазовые переходы первого и второго рода, использование сегнетоэлектриков в микроэлектронике.
11. Магнитные моменты атомов и магнитные свойства твердых тел. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм свободного электронного газа. Уровни Ландау. Парамагнетизм Паули. Природа ферромагнетизма. Магнитное упорядочение. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики.

Вопросы для экзамена

Не предусмотрены учебным планом.

Тестовые задания по дисциплине

Примеры тестовых заданий приведены в [8].

Основные вопросы, включаемые в тестовые задания.

1. Типы конденсированных сред, симметрия и структура кристаллов
2. Основы зонной теории
3. Свободный электронный газ в полупроводниках и металлах
4. Статистика равновесных носителей заряда. Примеси и примесные состояния в полупроводниках.
5. Неравновесные носители заряда: генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф
6. Некристаллические твердые тела
7. Сверхпроводники
8. Колебания атомов в кристаллической решетке
9. Диэлектрики
10. Типы конденсированных сред, симметрия и структура кристаллов
11. Основы зонной теории
12. Свободный электронный газ в полупроводниках и металлах
13. Статистика равновесных носителей заряда. Примеси и примесные состояния в полупроводниках.
14. Неравновесные носители заряда: генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф
15. Некристаллические твердые тела
16. Сверхпроводники
17. Колебания атомов в кристаллической решетке
18. Диэлектрики

Оценка	Критерии
5	Студент верно ответил на 10 вопросов теста
4	Студент верно ответил на 8-9 вопросов теста,
3	Студент верно ответил на 5-7 вопросов теста,
2	Студент верно ответил не более, чем на 4 вопросов теста

14. Образовательные технологии

Лекционный курс читается с применением *информационно-коммуникационных образовательных технологий* (организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией). Изложение всего материала (*лекции-визуализации*) сопровождается презентациями (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических).

При проведении лабораторных работ наряду с *традиционными образовательными технологиями* (лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов) применяются *технологии проблемного обучения* (проведение практикумов - организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков) и *технологии проектного обучения* (выполнение творческих и информационных проектов).

15. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Основная литература

1. Румянцев А.В. Введение в физику конденсированного состояния вещества [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Румянцев А.В.— Электрон. текстовые данные.— Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2012.— 119 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23770>.— ЭБС «IPRbooks»,
2. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федотов А.К.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2010.— 400 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20161> .— ЭБС «IPRbooks»

3. Легостаев Н.С. Твердотельная электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Легостаев Н.С., Четвергов К.В.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Эль Контент, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011.— 244 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13981> .— ЭБС «IPRbooks»
4. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Гуртов В.А., Осауленко Р.Н.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 560 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26903> .— ЭБС «IPRbooks»

Дополнительная литература

5. М.Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс]/ Гольдаде В.А., Пинчук Л.С.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Белорусская наука, 2009.— 648 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11505> .— ЭБС «IPRbooks»,
6. Делоне Н.Б. Основы физики конденсированного вещества [Электронный ресурс]/ Делоне Н.Б.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.— 235 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24691> .— ЭБС «IPRbooks»,
7. Айнбиндер Р.М. Физика сверхпроводников. Вихревые структуры и токовое состояние в сверхпроводниках с планарными дефектами и гетероструктурах ферромагнетик – сверхпроводник II рода [Электронный ресурс]/ Айнбиндер Р.М.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2014.— 89 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19529> .— ЭБС «IPRbooks»,

Источники ИОС

8. Физика конденсированного состояния. Режим доступа: <https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/EPU/ELNE/B.1.1.15/default.aspx>. По паролю.

16. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для чтения лекций, проведения лабораторных работ: аудитории, оборудованные компьютерами, и ресурсы материально-технического и учебно-методического обеспечения.

Помещения для самостоятельной работы студентов: аудитории, оборудованные компьютерами с выходом в Интернет.

Информационное и учебно-методическое обеспечение: ЭБС «IPRbooks», электронная библиотека СГТУ имени Гагарина Ю.А., электронная информационно-образовательная среда СГТУ имени Гагарина Ю.А.