

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.05.2023 17:25:07

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Физика полупроводников

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**7 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

252

в том числе:

аудиторные занятия

136

самостоятельная работа

80

часов на контроль

36

Формы контроля в семестрах:

экзамен 5

зачет с оценкой 6

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		6 (3.2)		Итого	
	Неделя		Неделя			
Неделя	18		18			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп	уп	рп
Лекции	34	34	34	34	68	68
Лабораторные	17	17	17	17	34	34
Практические	17	17	17	17	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68	136	136
Контактная работа	68	68	68	68	136	136
Сам. работа	40	40	40	40	80	80
Часы на контроль	36	36			36	36
Итого	144	144	108	108	252	252

Программу составил(и):

*кфмн, Доцент, Кобелева Светлана Петровна*

Рабочая программа

**Физика полупроводников**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2015 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра ППЭ и ФПП**

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Научить понимать физические явления, процессы и эффекты в металлах, полуметаллах, полупроводниках и диэлектрических кристаллах, некристаллических твердых телах, используемых для создания полупроводниковых, оптоэлектронных приборов и интегральных микросхем.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

	Блок ОП:	Б1.В.ДВ.06
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Введение в квантовую механику	
2.1.2	Кристаллография	
2.1.3	Методы математической физики	
2.1.4	Основы дизайна металлических материалов	
2.1.5	Основы квантовой механики	
2.1.6	Практическая кристаллография	
2.1.7	Физическая химия	
2.1.8	Информатика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Атомное строение фаз	
2.2.2	Биохимия наноматериалов	
2.2.3	Инженерия поверхности	
2.2.4	Квантовая и оптическая электроника	
2.2.5	Материалы с особыми физическими свойствами	
2.2.6	Металловедение и термическая обработка металлов	
2.2.7	Методы исследования структур и материалов. Часть 1	
2.2.8	Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур	
2.2.9	Методы получения наночастиц и наноматериалов	
2.2.10	Методы физико-химических исследований	
2.2.11	Мехатроника	
2.2.12	Наноструктурные термоэлектрики	
2.2.13	Основы компьютерной металлографии	
2.2.14	Основы магнетизма. Часть 1. Физика магнетизма	
2.2.15	Основы физики поверхности	
2.2.16	Оформление результатов научной деятельности	
2.2.17	Термодинамика и кинетика аморфизирующихся систем	
2.2.18	Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур	
2.2.19	Физика и техника высоких давлений, фазовые превращения в углероде и нитриде бора	
2.2.20	Физика полупроводниковых приборов	
2.2.21	Физика прочности	
2.2.22	Физика прочности и механические свойства материалов	
2.2.23	Физико-химия металлов и неметаллических материалов	
2.2.24	Физические основы деформации и разрушения	
2.2.25	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы	
2.2.26	Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ	
2.2.27	Высокотемпературные материалы	
2.2.28	Композиционные и керамические материалы	
2.2.29	Композиционные материалы	
2.2.30	Компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.2.31	Компьютерное моделирование процессов получения материалов	
2.2.32	Математические методы моделирования физических процессов	
2.2.33	Металловедение сварки	
2.2.34	Методы исследования структур и материалов. Часть 2	
2.2.35	Наноматериалы	

2.2.36	Нормы и правила оформления ВКР
2.2.37	Объемные наноматериалы
2.2.38	Основы магнетизма. Часть 2. Процессы перемагничивания материалов
2.2.39	Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия
2.2.40	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.41	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.42	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.43	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.44	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.45	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.46	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.47	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.48	Спектрофотометрические методы оценки качества кристаллов
2.2.49	Специальные сплавы
2.2.50	Структура и свойства функциональных наноматериалов
2.2.51	Технология термической обработки
2.2.52	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы
2.2.53	Функциональные материалы электроники
2.2.54	Экстремальные технологии получения наноматериалов

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

#### **ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований**

##### **Знать:**

ПК-1-33 электропроводность в сильных электрических и магнитных полях

ПК-1-32 Классификацию кинетических эффектов

ПК-1-31 Основные методы измерения параметров полупроводниковых материалов

#### **ПК-2: Способен участвовать в проведении экспериментов, расчетов и оформлении результатов исследований**

##### **Знать:**

ПК-2-31 Зависимость параметров полупроводников от особенностей их зонной структуры

#### **ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований**

##### **Знать:**

ПК-1-35 Механизмы люминесценции. Спонтанное и вынужденное излучение.

ПК-1-34 механизмы поглощения света полупроводниками

#### **ОПК-5: Способен решать научно-исследовательские задачи при осуществлении профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области**

##### **Знать:**

ОПК-5-33 Фононные спектры и приближения для их расчетов в кристаллах

ОПК-5-34 Кинетическое уравнение Больцмана для нахождения неравновесной функции распределения свободных носителей заряда

ОПК-5-31 Основы зонной теории кристаллических твердых тел

ОПК-5-32 Механизмы рассеяния свободных носителей заряда в кристаллических твердых телах

#### **ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований**

##### **Уметь:**

ПК-1-У2 измерять спектры поглощения и фотопроводимости

#### **ПК-2: Способен участвовать в проведении экспериментов, расчетов и оформлении результатов исследований**

##### **Уметь:**

ПК-2-У1 Измерять параметры полупроводниковых материалов методом эффекта Холла и магнитосопротивления
<b>ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-1-У1 Строить энергетические диаграммы контактов разнородных материалов
<b>ОПК-5: Способен решать научно-исследовательские задачи при осуществлении профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-5-У3 Решать уравнение электронейтральности для нахождения температурной зависимости концентрации носителей заряда и уровня Ферми
ОПК-5-У2 Решать уравнение непрерывности для описания неравновесных характеристик полупроводников
ОПК-5-У1 Строить энергетические диаграммы контактов разнородных материалов
<b>Владеть:</b>
ОПК-5-В1 Навыками расчета концентрации и положения уровня Ферми в полупроводниках
<b>ПК-2: Способен участвовать в проведении экспериментов, расчетов и оформлении результатов исследований</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-2-В1 Методами компьютерной обработки данных
<b>ОПК-5: Способен решать научно-исследовательские задачи при осуществлении профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-5-В2 Методами расчета кинетических коэффициентов в вырожденных и невырожденных материалах
<b>ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-1-В1 Методикой измерения оптических свойств полупроводников
ПК-1-В2 Методиками измерения параметров полупроводников контактными и бесконтактными методами

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Электронные состояния и движение электронов в кристалле</b>							
1.1	Классическая теория электропроводности Друде - Лоренца /Лек/	5	2	ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.2Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2		КМ2	Р1
1.2	Основы зонной теории. Уравнение Шредингера в адиабатическом и одноэлектронном приближении для описания закона дисперсии электронов в идеальном кристалле /Лек/	5	2	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ1	Р1,Р3
1.3	Зоны Бриллюэна. Свойства квазиимпульса. /Лек/	5	2	ПК-2-31 ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3.2 Э1 Э2		КМ2	Р10
1.4	Понятие дырки. Эффективная масса свободных носителей заряда. /Лек/	5	1	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ1,КМ2	Р11

1.5	Зонная структура основных полупроводниковых материалов /Лек/	5	1	ПК-2-31 ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р11,Р3
1.6	Метод эффективной массы для расчета энергии ионизации мелких примесей в полупроводниках и энергии связи экситонов /Лек/	5	2	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р12
1.7	Квантово - размерный эффект в кристаллах. Зависимость ширины запрещенной зоны полупроводника от размеров кристалла в области квантово-размерного эффекта. /Лек/	5	2	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р13,Р10
1.8	Расчет времени и длины свободного пробега электронов /Пр/	5	2	ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р9
1.9	Зоны Бриллюэна /Пр/	5	1	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р10
1.10	Расчет эффективной массы свободных носителей заряда в приближении сильной связи /Пр/	5	2	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р11
1.11	Расчет энергии ионизации водородоподобных примесей и экситонов /Пр/	5	2	ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р12
1.12	Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности /Лаб/	5	4	ПК-1-31 ПК-1-В2 ПК-2-В1 ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л3.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р3
1.13	Измерение удельного сопротивления полупроводников двухзондовым методом /Лаб/	5	4	ПК-1-31 ПК-1-В2 ПК-2-31 ПК-2-В1 ОПК-5-31	Л1.1 Л1.2Л3.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р2
1.14	Консультации по выполнению ДЗ 1 и тестам /Ср/	5	16	ОПК-5-У2 ОПК-5-У3 ОПК-5-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1 Э2		КМ1	Р9,Р10, Р11,Р12
<b>Раздел 2. Статистика свободных носителей заряда в кристалле</b>								
2.1	Равновесная функция распределения Ферми - Дирака. Понятие уровня Ферми. /Лек/	5	2	ПК-2-В1 ОПК-5-У3 ОПК-5-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ1	Р13,Р14
2.2	Методика расчета равновесной концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках и металлах. Плотность электронных состояний. /Лек/	5	2	ПК-2-31 ПК-2-В1 ОПК-5-У3	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2		КМ1	Р14,Р15

2.3	Расчет средних значений энергии и тепловой скорости носителей заряда в металлах и полупроводниках /Пр/	5	2	ОПК-5-У3	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1	Р13
2.4	Расчет температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в собственных и легированных примесью одного типа полупроводниках /Пр/	5	4	ОПК-5-У3	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	Р14
2.5	Расчет температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в компенсированных полупроводниках /Пр/	5	4	ОПК-5-У3	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	
2.6	Расчет параметров полупроводника по измерению эффекта Холла /Лаб/	5	4	ПК-2-У1 ОПК-5-31 ОПК-5-32	Л1.2Л3.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	Р4
2.7	Уравнение электронейтральности. Расчет температурных зависимостей концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в легированных и собственных полупроводниках. /Лек/	5	6	ОПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р15,Р14
2.8	Консультации по выполнению ДЗ1 и тестам /Ср/	5	18	ПК-1-31 ПК-2-В1 ОПК-5-У3 ОПК-5-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1 Э2			
	<b>Раздел 3. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда</b>							
3.1	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда в полупроводниках и диэлектрика. Уравнение непрерывности /Лек/	5	2	ПК-2-31 ПК-2-В1 ОПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р5,Р18
3.2	Понятие рекомбинационного времени жизни неравновесных носителей заряда. Нарастание и спад концентрации неравновесных носителей заряда в случае однородной генерации и линейной рекомбинации. Квадратичная рекомбинация. /Лек/	5	2	ОПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ1	Р5
3.3	Зависимость рекомбинационного времени жизни от параметров полупроводника /Лек/	5	2	ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	Р5

3.4	Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках. Расчет сечений захвата рекомбинационных центров /Пр/	6	2	ОПК-5-У2	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	Р18
3.5	Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по спаду фотопроводимости /Лаб/	5	5	ПК-1-31 ПК-1-В2 ПК-2-В1 ОПК-5-У2	Л1.2Л3.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р5
3.6	Консультации по подготовке к защитам лабораторных работ /Ср/	5	6	ПК-1-31 ПК-1-В2 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р5
	<b>Раздел 4. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда</b>							
4.1	Диффузия и дрейф свободных носителей заряда при монополярной генерации неосновных носителей заряда. Понятие диффузионной и полевой длины. /Лек/	5	2	ПК-2-31 ОПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2,К М1	Р5,Р18
4.2	Диффузия и дрейф свободных носителей заряда при монополярной генерации неосновных носителей заряда. Эффекты инжекции, экстракции, аккумуляции и эксклюзии. Биполярная генерация СНЗ. /Лек/	5	2	ПК-2-31 ОПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р18
	<b>Раздел 5. Фононы</b>							
5.1	Расчет числа фононов и энергии фононов в кристаллических твердых телах. /Пр/	6	4	ПК-1-В1 ОПК-5-33	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р19
5.2	Колебания атомов кристаллической решетки. Закон дисперсии фононов. Акустические и оптические фононы. /Лек/	6	2	ОПК-5-33	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р19
5.3	Полная энергия кристалла и теплоемкость кристаллической решетки. Теория Эйнштейна для описания оптических фононов и теория Дебая для описания акустических фононов. /Лек/	6	2	ОПК-5-33	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2,К М1	Р19
	<b>Раздел 6. Кинетические эффекты в полупроводниках</b>							
6.1	Расчет кинетических коэффициентов для полупроводников. /Пр/	6	2	ОПК-5-В2	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р20
6.2	Исследование магнетосопротивления полупроводников /Лаб/	6	5	ПК-1-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.2Л3.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р6
6.3	Классификация кинетических эффектов. Кинетические эффекты в полупроводниках. /Лек/	6	2	ПК-1-32 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р4,Р6



6.4	Кинетическое уравнение Больцмана в приближении времени релаксации. /Лек/	6	8	ОПК-5-31 ОПК-5-34	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р4,Р6,Р 20
6.5	Кинетические эффекты в сильных электрических и магнитных полях. /Лек/	6	2	ПК-1-33	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2,К М1	Р20
6.6	Выполнение курсовой работы /Ср/	6	20	ОПК-5-32 ОПК-5-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р14,Р4, Р20
<b>Раздел 7. Механизмы рассеяния в кристаллах проводящих материалов.</b>								
7.1	Определение доминирующих механизмов рассеяния в полупроводниковых материалах. Расчет температурной зависимости подвижности свободных носителей заряда для различных механизмов рассеяния /Пр/	6	2	ОПК-5-32	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1	Р21
7.2	Теория рассеяния свободных носителей заряда в кристаллических твердых телах. /Лек/	6	2	ОПК-5-32	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р21
7.3	Температурная зависимость подвижности для основных механизмов рассеяния. /Лек/	6	2	ОПК-5-32	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р21
<b>Раздел 8. Оптические свойства полупроводников и диэлектриков.</b>								
8.1	Фотопроводимость. /Пр/	6	1	ПК-1-34 ПК-1- У2 ПК-1-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-У2	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р5,Р22
8.2	Расчет параметров ДГС для СИД и полупроводниковых инжекционных лазеров /Пр/	6	1	ПК-1-У1	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р23
8.3	Изучение поглощения света в полупроводниках /Лаб/	6	6	ПК-1-В1 ПК-2 -31	Л1.2Л3.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р7
8.4	Изучение собственной и примесной фотопроводимости полупроводников /Лаб/	6	6	ПК-1-В1 ПК-2 -31	Л1.2Л3.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р8
8.5	Поглощение света полупроводниками. Спектры поглощения. /Лек/	6	2	ПК-1-31 ПК-1- 34 ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-2 -31	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р7
8.6	Классификация эффектов, связанных с поглощением света полупроводниками. Фотопроводимость. Спектры фотопроводимости. Фотовольтаический эффект. /Лек/	6	2	ПК-1-34	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р7,Р8

8.7	Спектры люминесценции. Механизмы люминесценции. Спонтанное и вынужденное излучение. /Лек/	6	2	ПК-1-35	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р23
8.8	Полупроводниковые источники излучения: СИД. /Лек/	6	2	ПК-1-35	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р23
8.9	Гетероструктуры для СИД и инжекционных полупроводниковых лазеров /Лек/	6	2	ПК-1-35 ПК-1-У1 ОПК-5-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р23
8.10	Выполнение курсовой работы /Ср/	6	20	ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-34	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р20,Р21, Р15
<b>Раздел 9. Контактные явления в твердых телах</b>								
9.1	Полупроводник во внешнем электрическом поле. Термоэлектронная работа выхода. Контакт металл-полупроводник. Контактная разность потенциалов. Энергетические диаграммы контакта металл-полупроводник. /Лек/	6	2	ПК-1-У1 ОПК -5-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ2,К М1	Р16
9.2	Контакт электронного и дырочного п/п (р-п переход). Образование р-п перехода. Толщина ОПЗ для симметричных и несимметричных р-п переходов. Энергетические диаграммы р-п перехода при различных смещениях. ВАХ р-п перехода. Параметры реальной ВАХ р-п перехода. Барьерная и диффузионная емкости р-п перехода. /Лек/	6	2	ПК-1-У1 ОПК -5-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ1	Р16,Р17
9.3	Гетеропереходы. Образование гетероперехода. Определение параметров гетероперехода. Энергетические диаграммы гетероперехода. Области применения гетеропереходов. /Лек/	5	2	ПК-1-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	Р17
9.4	Контакт металл-полупроводник. Расчет контактной разности потенциалов. Построение энергетических диаграмм при различных внешних смещениях. /Пр/	6	2	ОПК-5-У1	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ2	Р17
9.5	р-п переход. Расчет толщины ОПЗ. Построение энергетических диаграмм р-п перехода. Расчет ВАХ. Определение барьерной и диффузионной емкости р-п перехода. /Пр/	6	3	ОПК-5-У1	Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1 Э2		КМ1,К М2	Р17

**5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ****5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки**

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
-----------	----------------------------	--	------------------------

КМ1	Контрольная работа	ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-У3;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1	<p>Сколько надо добавить фосфора в кремний марки КДБ 20, чтобы сопротивление материала при комнатной температуре увеличилось в 100 раз?</p> <p>Определить время свободного пробега, длину свободного пробега в дырочном кремнии при 300 К.</p> <p>Рассчитать энергию связанного на заряженном акцепторе экситона в арсениде галлия для водородоподобной модели.</p> <p>Определить температуру перехода к собственной проводимости в кремнии марки КДБ 20.</p> <p>Найти расстояние уровня Ферми до дна зоны проводимости и концентрацию свободных носителей заряда в кремнии марки КДБ 4,5 при температуре 150 К.</p> <p>Холловские измерения показали, что собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике при температуре 300 К составляла <math>2,04 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}</math>, а при <math>T = 400 \text{ К} - 1,09 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}</math>. Какова ширина запрещенной зоны этого полупроводника? Из какого материала сделан этот образец?</p> <p>При пропускании тока через образец на положительном полюсе образца n-типа концентрация неосновных носителей увеличилась. Как называется такой эффект? Как выглядит распределение ННЗ (сравнить с распределением в отсутствие электрического поля) и какова характерная длина этого распределения?</p> <p>В пассивированной полупроводниковой пластине под действием света происходит однородная по объему генерация избыточных носителей электронов. Определить время жизни электронов и величину избыточной концентрации через 0.002с после выключения света, если известно, что уровень возбуждения низкий, величина стационарной избыточной концентрации <math>10^{17} \text{ см}^{-3}</math>, начальная скорость уменьшения концентрации <math>2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}/\text{с}</math>. Сечение захвата электронов рекомбинационным центром в кремнии в 2 раза меньше сечения захвата дырок. Во сколько раз отличаются времена жизни неравновесных носителей в n и p-типе кремния при низком и высоком уровне инжекции?</p> <p>Максимальная подвижность электронов в полупроводнике наблюдается при 300 К и равна <math>1500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}</math>. Чему будет равна подвижность в этом материале при 500К и 150 К?</p> <p>Чему равно напряжение и частота колебаний тока в генераторе Ганна при <math>E_{кр} = 10 \text{ В}/\text{см}</math>, если расстояние между контактами 0,1 мм, а скорость распространения высоковольтного домена <math>10^6 \text{ м}/\text{с}</math>?</p> <p>Рассчитать контактную разность потенциала, размеры ОПЗ n и p областей p-n перехода в кремнии КДБ 4,5/КЭФ0,1 при 300 К .</p> <p>Рассчитать и построить ВАХ перехода в диффузионном приближении.</p> <p>Свет падает на тонкую полупроводниковую пластинку, генерируя свободные электроны со скоростью <math>G_n = 10^{16} \text{ см}^{-3}/\text{с}</math>. Концентрация электронов в темноте <math>n_0 = 10^{15} \text{ см}^{-3}</math>. Каково время жизни электронов, если проводимость пластины увеличилась на 1%?</p> <p>В полупроводниковом образце избыточная концентрация электронов в момент возбуждения <math>\Delta n(0) = 10^{16} \text{ см}^{-3}</math>. Определить коэффициент межзонной рекомбинации, если известно, что в момент времени <math>t = 10^{-6} \text{ с}</math> избыточная концентрация уменьшилась в два раза (<math>\Delta n \gg n_0</math>).</p> <p>Выбрать гетероструктуру первого типа на базе прямозонных материалов, построить диаграмму p-n перехода в рабочем состоянии для получения светодиода с длиной волны излучения 0,8 мкм.</p> <p>С использованием метода кинетических коэффициентов вывести формулу для расчета коэффициента Холла в невырожденном полупроводнике. Рассчитать величину коэффициента Холла в КДБ 20 при комнатной температуре</p> <p>Методом длин свободного пробега определить температуру максимума подвижности в кремнии КЭФ 0.1.</p> <p>Рассчитать долю вынужденного излучения с энергией квантов света, равных ширине запрещенной зоны GaAs (1,45 эВ) при комнатной температуре в состоянии теплового равновесия.</p>
-----	--------------------	--	---

КМ2	Экзамен	ОПК-5-31;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-34;ОПК-5-У2;ОПК-5-У3;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-1-34;ПК-1-35;ПК-2-31	<p>5 семестр</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные положения электронной теории проводимости Друдэ - Лоренца.</li> <li>2. Уравнение Шредингера для электрона в кристалле. Адиабатическое и одноэлектронное приближение.</li> <li>3. Закон дисперсии энергии электрона вблизи экстремумов энергетических зон. Понятие эффективной массы электрона и дырки.</li> <li>4. Понятие квазиимпульса электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.</li> <li>5. Классификация твердых тел с точки зрения зонной теории.</li> <li>6. Зонная структура основных полупроводников (Кремний, Германий, арсенид галлия).</li> <li>7. Механизмы электропроводности в собственных полупроводниках. Понятие электрона и дырки.</li> <li>8. Функция распределения Ферми – Дирака. Понятие, физический смысл и расчеты уровня Ферми в полупроводнике.</li> <li>9. Методика расчета плотности энергетических состояний в зонах.</li> <li>10. Расчет концентрации, средней энергии и скорости свободных носителей заряда для параболических зон.</li> <li>11. Температурная зависимость уровня Ферми в собственном, легированном одной примесью и частично компенсированном полупроводнике.</li> <li>12. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в собственном, донорном, акцепторном и частично компенсированном полупроводнике.</li> <li>13. Методика расчета равновесной концентрации носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках.</li> <li>14. Методика расчета концентрации свободных носителей заряда в невырожденных собственных полупроводниках.</li> <li>15. Неравновесные носители заряда, их функция распределения по энергии. Скорость генерации и рекомбинации неосновных носителей заряда.</li> <li>16. Температурная зависимость уровня Ферми для невырожденного примесного полупроводника.</li> <li>17. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Понятие времени жизни неравновесных носителей заряда.</li> <li>18. Основные механизмы рекомбинации. Центры рекомбинации, генерации и прилипания носителей заряда.</li> <li>19. Уравнение непрерывности. Линейная и квадратичная рекомбинация. Изменение избыточной концентрации носителей заряда во времени.</li> <li>20. Влияние концентрации примеси, уровня возбуждения и температуры на времена жизни неосновных носителей заряда.</li> <li>21. Диффузионный и дрейфовый токи в твердых телах. Соотношение Эйнштейна для невырожденного полупроводника.</li> <li>22. Понятие Максвелловского времени релаксации. Дебаевская длина экранирования.</li> <li>23. Монополярная и биполярная генерация. Движение неравновесных носителей заряда в слабом электрическом поле. Диффузионная длина неосновных носителей заряда.</li> <li>24. Движение неравновесных носителей заряда в сильном электрическом поле. Понятие длины затягивания по полю и против поля. Дрейфовая длина неосновных носителей заряда. Понятие инжекции, экстракции, аккумуляции и эксклюзии носителей заряда.</li> <li>25. Контактные явления.</li> </ol> <p>6 семестр</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятие фонона. Закон дисперсии фононов. Температурная зависимость полной энергии кристаллической решетки и теплоемкости кристаллических тел.</li> <li>2. Акустические и оптические фононы. Энергия и импульс фонона. Температура и частота Дебая.</li> <li>3. Нарушение закона Ома в сильных электрических полях.</li> <li>4. Эффект Ганна. Применение эффекта Ганна для генерации и усиления СВЧ колебаний тока.</li> </ol>
-----	---------	---	--

			<p>5. Общая характеристика и физический смысл гальваномагнитных эффектов в полупроводниках. Эффект Холла.</p> <p>6. Эффект магнитосопротивления .</p> <p>7. Эффект Зеебека в полупроводниках.</p> <p>8. Общая характеристика и физический смысл гальванотермических эффектов в полупроводниках</p> <p>9. Общая характеристика и физический смысл термогальваномагнитных эффектов в полупроводниках</p> <p>10. Кинетические эффекты в твердом теле. Методика описания и расчета параметров кинетических эффектов.</p> <p>11. Кинетическое уравнение Больцмана . Приближение времени релаксации.</p> <p>12. Дифференциальное и интегральное сечение рассеяния. Связь сечения рассеяния со временем релаксации.</p> <p>13. Методика расчета подвижности в невырожденных полупроводниках.</p> <p>14. Общая характеристика основных механизмов рассеяния носителей заряда. Время релаксации при рассеянии на нейтральных атомах, ионах примеси.</p> <p>15. Рассеяние на акустических и оптических фононах. Смешанные механизмы рассеяния.</p> <p>16. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках.</p> <p>17. Основные механизмы поглощения света полупроводниками. Спектры поглощения. Коэффициент поглощения.</p> <p>18. Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости.</p> <p>19. Фотовольтаические эффекты в п/п.</p> <p>20. Механизмы излучательной рекомбинации в полупроводнике.</p> <p>21. Спонтанное и вынужденное излучение. П/п приборы работающие на этих эффектах.</p> <p>22. Люминесценция в п/п. Механизмы люминесценции. Внутренний и внешний квантовые выходы люминесценции. СИД.</p> <p>23. Лазерный эффект в твердом теле. П/п инжекционные лазеры.</p> <p>24. Гетеропереходы. Применение гетеропереходов в СИД и п/п лазерах.</p> <p>25. Преимущества двойных гетероструктур для изготовления СИД и инжекционных лазеров.</p> <p>26. Управление технологически внутренней и внешней квантовой эффективностью люминесценции полупроводников.</p>
--	--	--	--

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Курсовая работа	ОПК-5-У3;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-2-31;ОПК-5-32	Расчет температурной зависимости параметров полупроводниковых материалов
P2	Лабораторная работа 1	ОПК-5-31;ПК-2-31;ПК-2-В1;ПК-1-В2;ПК-1-31	Измерение удельного электросопротивления полупроводников двух зондовым методом
P3	Лабораторная работа 2	ОПК-5-31;ПК-1-31;ПК-1-В2;ПК-2-В1	Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности
P4	Лабораторная работа 3	ОПК-5-32;ОПК-5-31;ПК-2-У1	Расчет параметров полупроводника по измерению эффекта Холла
P5	Лабораторная работа 4	ОПК-5-У2;ПК-1-31;ПК-1-В2;ПК-2-В1	Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по спаду фотопроводимости
P6	Лабораторная работа 5	ПК-1-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Исследование магнетосопротивления полупроводников
P7	Лабораторная работа 6	ПК-1-В1;ПК-2-31	Изучение поглощения света в полупроводниках

P8	Лабораторная работа 7	ПК-2-31;ПК-1-В1	Изучение собственной и примесной фотопроводимости полупроводников
P9	Практическое занятие 1	ПК-2-31	Расчет времени и длины свободного пробега электронов
P10	Практическое занятие 2	ОПК-5-31	Зоны Бриллюэна
P11	Практическое занятие 3	ОПК-5-31	Расчет эффективной массы свободных носителей заряда в приближении сильной связи
P12	Практическое занятие 4	ОПК-5-31	Расчет энергии ионизации водородоподобных примесей и экситонов
P13	Практическое занятие 5	ОПК-5-У3	Расчет средних значений энергии и тепловой скорости носителей заряда в металлах и полупроводниках
P14	Практическое занятие 6	ОПК-5-У3	Расчет температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в собственных и легированных примесью одного типа полупроводниках
P15	практическое занятие 7	ОПК-5-У3	Расчет температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в компенсированных полупроводниках
P16	практическое занятие 8	ОПК-5-У1	Контакт металл- полупроводник. Расчет контактной разности потенциалов. Построение энергетических диаграмм при различных внешних смещениях.
P17	Практическое занятие 9	ОПК-5-У1	p-n переход. Расчет толщины ОПЗ. Построение энергетических диаграмм p-n перехода. Расчет ВАХ. Определение барьерной и диффузионной емкости p-n перехода
P18	Практическое занятие 10	ОПК-5-У2	Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках. Расчет сечений захвата рекомбинационных центров
P19	Практическое занятие 11	ОПК-5-33;ПК-1-В1	Расчет числа фононов и энергии фононов в кристаллических твердых телах.
P20	Практическое занятие 12	ОПК-5-В2	Расчет кинетических коэффициентов для полупроводников.
P21	Практическое занятие 13	ОПК-5-32	Определение доминирующих механизмов рассеяния в полупроводниковых материалах Расчет температурной зависимости подвижности свободных носителей
P22	Практическое занятие 14	ОПК-5-31;ОПК-5-У2;ПК-1-34;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1	Фотопроводимость.
P23	Практическое занятие 15	ПК-1-У1	Расчет параметров ДГС для СИД и полупроводниковых инжекционных лазеров

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

5 семестр

1. Основные положения электронной теории проводимости Друде - Лоренца.
2. Уравнение Шредингера для электрона в кристалле. Адиабатическое и одноэлектронное приближение.
3. Закон дисперсии энергии электрона вблизи экстремумов энергетических зон. Понятие эффективной массы электрона и дырки.
4. Понятие квазиимпульса электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.
5. Классификация твердых тел с точки зрения зонной теории.
6. Зонная структура основных полупроводников (кремний, германий, арсенид галлия).
7. Механизмы электропроводности в собственных полупроводниках. Понятие электрона и дырки.
8. Функция распределения Ферми – Дирака. Понятие, физический смысл и расчеты уровня Ферми в полупроводнике.
9. Методика расчета плотности энергетических состояний в зонах.
10. Расчет концентрации свободных носителей заряда для параболических зон.
11. Температурная зависимость уровня Ферми в частично компенсированном полупроводнике.
12. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в собственном, донорном, акцепторном и частично компенсированном полупроводнике.
13. Методика расчета равновесной концентрации носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках.
14. Методика расчета концентрации свободных носителей заряда в невырожденных собственных полупроводниках.
15. Неравновесные носители заряда, их функция распределения по энергии. Скорость генерации и рекомбинации неосновных носителей заряда.
16. Температурная зависимость уровня Ферми для невырожденного примесного полупроводника.
17. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Понятие времени жизни неравновесных носителей заряда.

18. Основные механизмы рекомбинации. Центры рекомбинации, генерации и прилипания носителей заряда.
  19. Уравнение непрерывности. Линейная и квадратичная рекомбинация. Изменение избыточной концентрации носителей заряда во времени.
  20. Влияние концентрации примеси, уровня возбуждения и температуры на времена жизни неосновных носителей заряда.
  21. Диффузионный и дрейфовый токи в твердых телах. Соотношение Эйнштейна для невырожденного полупроводника.
  22. Понятие Максвелловского времени релаксации. Дебаевская длина экранирования.
  23. Монополярная и биполярная генерация. Движение неравновесных носителей заряда в слабом электрическом поле. Диффузионная длина неосновных носителей заряда.
  24. Движение неравновесных носителей заряда в сильном электрическом поле. Понятие длины затягивания по полю и против поля. Дрейфовая длина неосновных носителей заряда. Понятие инжекции, экстракции, аккумуляции и эксклюзии носителей заряда.
- 6 семестр
1. Контакт металл-полупроводник. Термодинамическая работа выхода в п/п. Контактная разность потенциалов.
  2. Зонные диаграммы контакта металл-полупроводник при различных внешних смещениях.
  3. Плотность тока, текущего через контакт металл-полупроводник при прямом и обратном смещении.
  4. Диодная и диффузионная теория выпрямления тока в контакте металл-полупроводник.
  5. p-n переход. Образование p-n перехода. Контактная разность потенциалов.
  6. Толщина ОПЗ для симметричных и несимметричных p-n переходов.
  7. p-n переход при прямом и обратном смещении. Зонные диаграммы p-n перехода.
  8. ВАХ идеализированного p-n перехода.
  9. ВАХ реального p-n перехода.
  10. Барьерная и диффузионная емкости p-n перехода.
  11. Гетеропереходы. Определение параметров гетероперехода. Построение зонных диаграмм.
  12. Применение гетеропереходов в полупроводниковых приборах.
  13. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.
  14. Общая характеристика и физический смысл гальваномагнитных эффектов.
  15. Эффект Холла в области примесной проводимости.
  16. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.
  17. Эффект Холла, как метод измерения параметров п/п материала.
  18. Магниторезистивный эффект.
  19. Теплопроводность полупроводников. Различные механизмы теплопереноса.
  20. Общая характеристика и физический смысл термоэлектрических эффектов. Эффект Зеебека.
  21. Общая характеристика и физический смысл термомагнитных эффектов.
  22. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле.
  23. Эффект Ганна. Применение эффекта Ганна для генерации и усиления СВЧ колебаний тока.
  24. Эффект ударной ионизации в полупроводниках.
  25. Понятие фонона. Закон дисперсии фононов. Температурная зависимость полной энергии кристаллической решетки и теплоемкости кристаллических тел.
  26. Акустические и оптические фононы. Энергия и импульс фонона. Температура и частота Дебая.
  27. Механизмы рассеяния. Эффективное сечение рассеяния.
  28. Связь времени релаксации с эффективным сечением рассеяния.
  29. Рассеяние н.з. на нейтральных атомах, ионах примеси.
  30. Рассеяние н.з. на акустических и оптических фононах.
  31. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках.
  32. Спектр поглощения света полупроводниками. Коэффициент поглощения.
  33. Собственное поглощение света. Определение ширины запрещенной зоны по краю собственного поглощения.
  34. Влияние внешних условий на собственное поглощение полупроводников.
  35. Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры.
  36. Механизмы излучательной рекомбинации в полупроводниках. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.
  37. Механизмы излучательной рекомбинации в полупроводниках. Рекомбинационное излучение полупроводников при переходах между зоной и примесными уровнями.
  38. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.
  39. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.
  40. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках.



**5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)**

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Киреев П. С.	Физика полупроводников: Учеб. пособие для втузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1975
Л1.2	Шалимова К. В.	Физика полупроводников: Учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Энергоатомиздат, 1985

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г.	Физика полупроводников	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1977
Л2.2	Анфимов И. М., Кобелева С. П., Коновалов М. П., др.	Физика твердого тела: сб. задач	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2011

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Мартынов В. Н., Маняхин Ф. И., Паничкин А. В., Кобелева С. П.	Физика твердого тела: Лаб. практикум для студ. спец. 2001, 2002, 0710 и направл. 5507, 5516, 5531	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2000
Л3.2	Анфимов И. М., Кобелева С. П., Щемеров И. В.	Физика конденсированного состояния. Электронная структура твердых тел: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2014

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1		<a href="http://lib.misis.ru/elcat.html">http://lib.misis.ru/elcat.html</a>
Э2		<a href="http://elibrary.misis.ru/">http://elibrary.misis.ru/</a>

**6.3 Перечень программного обеспечения**

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr	
-----	---	--

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных**

И.1	База данных на сайте <a href="http://www.ioffe.ru/">http://www.ioffe.ru/</a>	
-----	--	--

**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ауд.	Назначение	Оснащение
------	------------	-----------

К-507	Лаборатория	компьютеры со специальным программным обеспечением для расчета релаксации фотопроводимости (3 шт.); компьютер со специальным программным обеспечением для расчета концентрации носителей в соединениях А2В6; осциллограф цифровой АКПП-4116/1; лазер инфракрасный ЛТИ-101 для измерения поглощения света в полупроводниках; прибор для измерения времени жизни неравновесных носителей заряда бесконтактным ВЧ методом, комплект учебной мебели
К-510	Учебная аудитория	комплект лабораторного оборудования по ФТТ (АПК ТАУМЕР, установка "ВИК УЭС", компьютер с ПО); электромагнит ФЛ-1; установка для измерения Эффекта Холла, ноутбук с ПО, установка измерения сопротивления полупроводника в магнитном поле (электромагнит, прибор универсальный, источник питания универсальный, источник тока Э378, вольтметр В7-21А); установка определения удельного сопротивления двухзондовым методом (вольтметр В7-21А, источник питания Б5-50, стенд для измерения УЭС 2-зондовым методом с освещением и эталонным сопротивлением); установка изучения поглощения света в полупроводниках (монохроматор УМ-2, фотоприемник, вольтметр В7-16А, пульт питания с лампой ЭПС-112); установка измерения собственной и примесной проводимости полупроводниковых материалов (монохроматор МДР-3, вольтметр В7-138, источник питания с лампой ВК7-7); установка измерения температурной зависимости электропроводности (компьютер с лицензионным ПО, нагреватель, приставка для измерения ширины запрещенной зоны, источник питания Б5-30)
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Физика полупроводников» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящей лабораторной работы, блок-схемы измерительной установки, программы исследования и методических указаний по выполнению лабораторной работы. Результатом подготовки к лабораторной работе является домашняя заготовка отчета.