

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**ФТД.01 ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Программу составили  
профессор, д.ф.-м.н. А.И.Панкрац

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины:

Ознакомить студентов с основами физики полупроводников и диэлектриков.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины:

- рассмотреть основные элементы зонной теории полупроводников: волновая функция электрона в периодическом поле, законы дисперсии, зоны Бриллюэна, эффективная масса электронов и дырок.

- детально проанализировать статистику электронов и дырок, механизмы проводимости собственных и примесных полупроводников, рассмотреть водородородобную модель проводников с простыми примесными центрами. - вычислить зависимости проводимости примесных полупроводников от температуры и степени легирования в широком температурном интервале.

- рассмотреть явления, возникающие при контакте металлов и полупроводников, полупроводников с различным типом проводимости. Получить вольтамперные характеристики p-n перехода. Изучить основные механизмы поглощения света в полупроводниках с прямыми и непрямыми электронными переходами.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства	
ПК-3.1 Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	знать о природе проводимости твердых тел с различным строением и о свойствах собственных и легированных полупроводников; знать основные принципы применения полупроводниковых материалов в электронике; уметь использовать полученные знания в области физики полупроводников и диэлектриков для анализа перспективных материалов.

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

## 2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		8
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	2 (72)	2 (72)
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	1 (36)	1 (36)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	1 (36)	1 (36)
<b>Вид промежуточной аттестации (Зачет)</b>		Зачёт

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
<b>Раздел 1. Корреляции типов химических связей в кристаллах с их диэлектрическими свойствами</b>					
1.	Лек	Основные параметры диэлектрика - поляризация, электрическая индукция, поляризуемость, восприимчивость, диэлектрическая проницаемость.	2	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	6	8	
<b>Раздел 2. Микроскопические механизмы поляризации</b>					
1.	Лек	Внутреннее поле в диэлектриках. Среднее макроскопическое поле и поле Лоренца. Уравнение Клаузиуса - Мосотти - Лоренца. Типы поляризации и классификация диэлектриков. Статическая электронная поляризуемость. Частотная зависимость электронной поляризуемости. Статическая ионная поляризуемость. Оптически активные фононы. Диэлектрическая функция ионных кристаллов и дисперсия электромагнитных волн инфракрасного диапазона. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера. Статическая дипольная поляризуемость. Закон Кюри для температурной зависимости дипольной поляризации. Частотная зависимость дипольной тепловой поляризации.	6	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	5	8	
<b>Раздел 3. Упругий и релаксационный механизмы поляризации</b>					
1.	Лек	Уравнение Дебая. Диэлектрическая релаксация. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Тангенс диэлектрических потерь - для параллельной и последовательной схем замещения. Диэлектрические потери вследствие электропроводности. Диэлектрические потери при тепловой поляризации (температурно-частотные зависимости). Диэлектрические потери при упругой поляризации (частотные зависимости).	6	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	5	8	
<b>Раздел 4. Механизмы электропроводности диэлектриков</b>					
1.	Лек	Электронная, поляронная (прыжковая), ионная проводимость). Общие закономерности электрического старения и пробой диэлектриков. Электронный пробой кристаллов. Электрическое старение и электрохимический пробой твёрдых диэлектриков. Электротепловой пробой твёрдых диэлектриков.	4	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	5	8	
<b>Раздел 5. Анизотропия тензора эффективной массы.</b>					
1.	Лек	Закон динамики электронов в кристаллах. Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники. Энергетический спектр носителей заряда в постоянном электрическом поле. Наклон энергетических зон сильным электрическим полем. Мелкие примесные уровни. Водородоподобная модель. Примесная зона.	6	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	5	8	
<b>Раздел 6. Принцип детального равновесия.</b>					
1.	Лек	Статистика Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Плотность электронных состояний. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в зонах. Случай невырожденных полупроводников. Закон действующих масс и концентрация носителей в собственном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми. Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях. Полупроводник с примесью одного типа.	6	8	

2.	Ср	Самостоятельная работа	5	8	
<b>Раздел 7. Механизм электропроводности полупроводников.</b>					
1.	Лек	Природа электросопротивления. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры. Зависимость электропроводности полупроводников от примесей. Влияние сильного электрического поля на электропроводность полупроводников. Случай постоянной концентрации. Влияние сильного электрического поля на электропроводность полупроводников. Наклон энергетических зон. Ионизация и туннелирование.	6	8	
2.	Ср	Самостоятельная работа	5	8	
3.	Зачёт	Зачет		8	

#### **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

##### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Орешкин П. Т. Физика полупроводников и диэлектриков: учебное пособие для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики". - Москва: Высшая школа, 1977. - 448 с..

2. Александров К. С., Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П., Сорокин П. Б., Бурков С. И., Глушков Д. А., Четвергов Н. А., Софронова С. Н., Токарев Н. А. Теоретическая физика твердого тела [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: [http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB\\_DC/UMKD/i-656895.zip](http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-656895.zip) .

3. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов: . - Москва: Физматлит, 2008. - 488 с..

4. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учебник. - Санкт-Петербург: Лань, 2010. - 391 с..

5. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников: учебное пособие для студентов физических специальностей вузов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - 615 с..

6. Тимохин В. М. Физика диэлектриков. Термоактивационная и диэлектрическая спектроскопия кристаллических материалов. Протонный транспорт [Электронный ресурс]:. - Москва: МИСИС, 2013. - – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=47469](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=47469) .

7. Фейнман Р. Ф., Лейтон Р. Б., Сэндс М., Смородинский Я. А. Фейнмановские лекции по физике: Т. 5. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: перевод с английского. - Москва: Мир, 1977. - 300 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0075191.pdf> .

8. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела [Электронный ресурс]:. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0063648.pdf> .

9. Петровский И. И. Электронная теория полупроводников (введение в теорию): учебное пособие для физических специальностей университетов допущено Министерством высшего и среднего специального образования БССР?. - Минск: Белорусский университет [БГУ], 1973. - 264 с..

10. Шнайдер Т., Зингер Дж. М., Абдулвагидов Ш. Б., Камиллов И. К. Фазовые переходы и высокотемпературная сверхпроводимость: универсальные свойства купратных сверхпроводников. - Махачкала: Изд-во Ин-та физики Дагест. науч. центра РАН, 2007. - 498 с..

11. Томилин В. И., Томилина Н. П., Бахтина В.А Физическое материаловедение: Ч. 1. Пассивные диэлектрики [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов вузов спец. "Проектирование и технология радиоэлектронных средств". - Красноярск: СФУ, 2012. - 279 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u62/i-752729.pdf> .

12. Займан Д. М., Бонч-Бруевич В. Л. Принципы теории твердого тела: перевод с английского. - Москва: Мир, 1974. - 472 с..

13. Чиганова Г. А. Введение в нанотехнологии [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника". - Красноярск: СФУ, 2013. - 101 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u62/i-844541.pdf> .

14. Волков Н. В., Попков С. И. Обменное взаимодействие. Ферромагнетизм. Приближение молекулярного поля [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-029465.pdf> .

**4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.
2. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.
3. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

**4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Файловый архив для студентов. <http://www.studfiles.ru>
2. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>
3. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [https://elibrary.ru/project\\_user\\_tools.asp?](https://elibrary.ru/project_user_tools.asp?)

## **5 Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

**6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

По дисциплине (модулю)/ практике

ФТД.01 Физика полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

**1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами**

Семестр <sup>1</sup>	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения <sup>2</sup>	Оценочные средства <sup>3</sup>
ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства			
8	ПК-3.1: Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	знать о природе проводимости твердых тел с различным строением и о свойствах собственных и легированных полупроводников	Реферат Контрольные вопросы к зачету
		знать основные принципы применения полупроводниковых материалов в электронике	Реферат Контрольные вопросы к зачету
		уметь использовать полученные знания в области физики полупроводников и диэлектриков для анализа перспективных материалов	Реферат Контрольные вопросы к зачету

<sup>1</sup> Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

<sup>2</sup> Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

<sup>3</sup> Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

## **2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения**

### **Темы рефератов:**

1. Применение полупроводников в микроэлектронике
2. Пьезополупроводники в акустоэлектронике
3. Полупроводниковые гетероструктуры
4. Электронные свойства полупроводников
5. Эффект Холла в полупроводниках
6. Легированные полупроводники
7. Применение полупроводников в функциональной электронике
8. Радиационная физика твердого тела
9. Солнечная энергетика и полупроводники
10. Сцинтилляторы

### **Методические рекомендации по подготовке реферата:**

Написание реферата — это важный процесс, который помогает усвоить материал, развить аналитические и исследовательские навыки. Ниже приведены методические рекомендации, которые могут помочь в этом:

#### **1. Выбор темы**

- Актуальность: Выбирайте тему, которая интересует вас и имеет смысл в контексте учебного курса или современности.
- Специфика: Уточняйте и конкретизируйте тему, чтобы не охватывать слишком широкий пласт информации.

#### **2. Сбор информации**

- Источники: Используйте разнообразные источники: книги, научные статьи, интернет-ресурсы, учебники.
- Критический подход: Оценивайте достоверность и актуальность информации, обращая внимание на авторитетность источников.

#### **3. Структура реферата**

- Титульный лист: Указывайте название работы, ФИО, учебное заведение, дисциплину и дату.
- Содержание: Составьте оглавление, чтобы читатель мог легко ориентироваться в работе.
- Введение: Ознакомьте с темой, обоснуйте ее актуальность и поставьте цели и задачи.
- Основная часть: Разделите на логические главы и подразделы. Освещайте ключевые аспекты темы, приводите примеры и аргументы.
- Заключение: Подведите итоги работы, сделайте выводы и предложения по дальнейшему изучению темы.
- Список использованных источников: Перечислите все источники, на которые вы опирались при написании реферата, в соответствующем формате.

#### 4. Стиль и язык

- Ясность и точность: Используйте простой и понятный язык, избегайте избыточной терминологии без объяснения.
- Логичность: Структурируйте мысли так, чтобы они следовали одна из другой, создавая логическую цепочку.

#### 5. Оформление

- Реферат должен быть оформлен в соответствии с требованиями Стандарта университета «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» [Электронный ресурс] / Красноярск: СФУ, 2021, СТУ 7.5-07-2021, <http://www.sfu-kras.ru/node/8127>

#### 6. Проверка и редактирование

- Корректурa: Проверьте работу на наличие грамматических, орфографических и стилистических ошибок.
- Чтение вслух: Прочитайте текст вслух — это поможет выявить неясности и трудные для восприятия места.

#### 7. Временные рамки

- Планирование: Определите срок написания реферата и распределите задания по времени: поиск информации, написание черновика, исправление и оформление.

Следуя этим рекомендациям, вы сможете написать качественный и структурированный реферат, который продемонстрирует ваши знания и лучшие исследовательские навыки.

Реферат можно сдать по мере готовности в течение семестра. Без сдачи реферата студент не допускается к зачету.

### **Критерии оценки реферата:**

«**Зачтено**» за реферат выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание реферата в целом соответствует теме задания.
2. Продемонстрировано владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины, отсутствуют ошибки в употреблении терминов. Показано умелое использование категорий и терминов дисциплины. Продемонстрировано умение аргументированно излагать собственную точку зрения. Изложение отчасти сопровождается адекватными иллюстрациями (примерами) из практики.
3. Реферат в достаточной степени структурирован и выстроен в заданной логике без нарушений общего смысла. Части ответа логически взаимосвязаны. Отражена логическая структура проблемы (задания): постановка проблемы – аргументация – выводы. Объем ответа незначительно превышает заданные рамки при сохранении смысла.
4. Достаточная степень самостоятельности, оригинальность в представлении материала.

«**Не зачтено**» выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание реферата не соответствует теме задания или соответствует ему в очень малой степени. Продемонстрировано крайне низкое (отрывочное) знание фактического материала, много фактических ошибок – практически все факты (данные) либо искажены, либо неверны.

2. Продемонстрировано крайне слабое владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины (неуместность употребления, неверные аббревиатуры, искаженное толкование и т.д.), присутствуют многочисленные ошибки в употреблении терминов.
3. Реферат представляет собой сплошной текст без структурирования, нарушена заданная логика. Части реферата не взаимосвязаны логически.

### **Контрольные вопросы к зачету:**

1. Классификация веществ по электрическим свойствам. Основные параметры и уравнения, характеризующие поляризацию диэлектриков.
2. Макроскопическое описание поляризации диэлектрика. Деполяризующее поле. Вычисление локального поля в диэлектрике. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Соотношение Клаузиуса-Мосотти-Лоренца.
3. Микроскопические механизмы поляризации. Классификация механизмов. Общее описание упругой поляризации. Статическая электронная поляризация. Частотная зависимость электронной поляризуемости.
4. Ионная упругая поляризация. Взаимодействие электромагнитного излучения с ионным кристаллом. Оптически активные фононы. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера.
5. Дипольная поляризация, обусловленная тепловым движением. Температурная зависимость поляризуемости, закон Кюри.
6. Упругий и релаксационный механизмы поляризации. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Уравнение Дебая.
7. Описание емкостного элемента в переменном электрическом поле. Тангенс диэлектрических потерь. Диэлектрические потери при тепловой поляризации, частотные зависимости потерь.
8. Ионная тепловая поляризация, температурные зависимости диэлектрических потерь при тепловой поляризации.

9. Элементы зонной теории твердого тела, основные предположения. Волновая функция электрона в периодическом поле. Зоны Бриллюэна. Условие Кармана-Борна.
10. Собственные и примесные полупроводники, примесные атомы. Мелкие примесные уровни, метод эффективной массы. Водородо-подобная модель.
11. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение квантовых состояний в зонах, плотность состояний. Распределение Ферми-Дирака, вырожденные и невырожденные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в зонах.
12. Невырожденные полупроводники. Определение положения уровня Ферми. Уровень Ферми в собственном полупроводнике. Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях. Полупроводник с примесью одного типа.
13. Механизм электропроводности полупроводников. Подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость.
14. Контактные явления в полупроводниках, потенциальные барьеры, условие равновесия контактирующих тел. Термоэлектронная эмиссия. Закон Ричардсона-Дэшмана. Контактная разность потенциалов.
15. Распределение концентрации электронов и потенциала в слое объемного заряда. Длина экранирования Дебая.
16. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. Диодная теория выпрямления, вольт-амперная характеристика.
17. Неравновесные носители заряда, квазиуровни Ферми. Время жизни неравновесных носителей заряда. Уравнение непрерывности.

### **Методические рекомендации к зачету:**

Для допуска к зачету необходимо получить «зачтено» за реферат. Форма проведения зачета - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

## Критерии оценивания знаний студентов на зачете

Шкала оценивания	
незачет	зачет
Студент обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. Уровень знаний ниже минимальных требований.	Студент демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. При изложении материала допущено несколько несущественных погрешностей. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы.

Разработчик



А.И. Панкрац