

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

**СОГЛАСОВАНО**

**Заведующий кафедрой**

**Базовая кафедра физики  
твёрдого тела и нанотехнологий  
(Б-ФТТН\_ИИФР)**

наименование кафедры

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий ОП ВО

**УТВЕРЖДАЮ**

**Заведующий кафедрой**

**Базовая кафедра физики твёрдого  
тела и нанотехнологий (Б-  
ФТТН\_ИИФР)**

наименование кафедры

**доцент П.П.Турчин**

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий дисциплину

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И  
ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 Физика полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки /  
специальность 03.04.02 Физика, программа 03.04.02.02  
Физика конденсированного состояния  
вещества 2020г

Направленность  
(профиль)

Форма обучения

очная

Год набора

2020

Красноярск 2021



## 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 водородоподобную 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 р-п 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

<b>ПК-1: способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</b>	
--	--

Уровень 1	основы физики полупроводников и диэлектриков
-----------	--

Уровень 1	использовать полученные знания в своей профессиональной области
-----------	---

Уровень 1	методами решения задач физики полупроводников и диэлектриков
-----------	--

1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Предшествующие дисциплины:

Специальный физический практикум

Структурные исследования

Фазовые переходы

Физический практикум

Последующие дисциплины:

Научно-исследовательский семинар

НИР

Численное моделирование свойств твердых тел

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной  
квалификационной работы

Преддипломная практика

1.5 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		3
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4 (144)</b>	<b>4 (144)</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>0,89 (32)</b>	<b>0,89 (32)</b>
занятия лекционного типа	0,44 (16)	0,44 (16)
занятия семинарского типа		
в том числе: семинары		
практические занятия	0,44 (16)	0,44 (16)
практикумы		
лабораторные работы		
другие виды контактной работы		
в том числе: групповые консультации		
индивидуальные консультации		
иная внеаудиторная контактная работа:		
групповые занятия		
индивидуальные занятия		
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>2,11 (76)</b>	<b>2,11 (76)</b>
изучение теоретического курса (ТО)		
расчетно-графические задания, задачи (РГЗ)		
реферат, эссе (Р)		
курсовое проектирование (КП)	Нет	Нет
курсовая работа (КР)	Нет	Нет
<b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>	<b>1 (36)</b>

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа (акад. час)	Занятия семинарского типа		Самостоятельная работа, (акад. час)	Формируемые компетенции
			Семинары и/или Практические занятия (акад. час)	Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Элементы зонной теории твердого тела	3	3	0	10	ПК-1
2	Статистика электронов и дырок в полупроводниках	3	3	0	10	ПК-1
3	Транспортные свойства полупроводников	2	2	0	10	ПК-1
4	Явления в контактах	2	2	0	10	ПК-1
5	Неравновесные электроны и дырки	2	2	0	12	ПК-1
6	Выпрямление и усиление переменных токов с помощью р-п переходов	2	2	0	12	ПК-1
7	Фотопроводимость и фотоЭДС	2	2	0	12	ПК-1
Всего		16	16	0	76	

#### 3.2 Занятия лекционного типа

№	№ раздела	Наименование занятий	Объем в акад. часах
---	-----------	----------------------	---------------------

п/п	дисциплины		Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	<p>Основные предположения зонной теории твердого тела. Волновая функция электрона в периодическом поле (теорема Блоха). Зоны Бриллюэна. Условия Кармана-Борна. Энергетические зоны. Закон дисперсии, изоэнергетические поверхности. Металлы и полупроводники. Эффективная масса. Многодолинные полупроводники. Средние значения скорости и ускорения электрона в кристаллической решетке. Электроны и дырки. Энергетический спектр носителей заряда в постоянном электрическом поле. Наклон энергетических зон сильным электрическим полем. Мелкие примесные уровни. Водородоподобная модель. Примесная зона.</p>	3	0	0

2	2	<p>Распределение квантовых состояний в зонах, плотность электронных состояний. Статистика Ферми-Дирака, энергия Ферми, вырожденные и невырожденные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники, закон действующих масс и концентрация носителей в собственном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми, уровень Ферми в собственных полупроводниках. Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях. Полупроводник с примесью одного типа.</p>	3	0	0
3	3	<p>Механизм электропроводности полупроводников, подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость. Природа электросопротивления. Дрейфовая скорость. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры и примесей. Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Магнитосопротивление (эффект Гаусса). Эффект Эттингсгаузена, эффект Нернста.</p>	2	0	0



4	4	<p>Контактные явления в полупроводниках, потенциальные барьеры, условие равновесия контактирующих тел. Термоэлектронная эмиссия. Закон Ричардсона- Дэшмана. Контактная разность потенциалов. Распределение концентрации электронов и потенциала в слое объемного заряда. Длина экранирования Дебая. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. Диодная теория выпрямления, вольт-амперная характеристика.</p>	2	0	0
5	5	<p>Неравновесные носители заряда, квазиуровни Ферми. Время жизни неравновесных носителей заряда. Уравнение непрерывности. Амбиполярная диффузия и амбиполярный дрейф. Длины диффузии и дрейфа, длина затягивания</p>	2	0	0

6	6	Электронно-дырочные переходы. Статическая вольт-амперная характеристика р-п перехода. Р-п переход при переменном напряжении, диффузионное сопротивление и диффузионная емкость. Туннельный эффект в р-п переходах, туннельные диоды. Биполярный полупроводниковый триод.	2	0	0
7	7	Основные механизмы поглощения света в полупроводниках, прямые и непрямые электронные переходы, фотопроводимость. ФотоЭДС, роль неосновных носителей. Вентильная фотоЭДС.	2	0	0
Всего			16	0	0

### 3.3 Занятия семинарского типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	Основные предположения зонной теории твердого тела.	3	0	0

2	2	<p>Распределение квантовых состояний в зонах, плотность электронных состояний. Статистика Ферми-Дирака, энергия Ферми, вырожденные и невырожденные полупроводники.</p> <p>Концентрация электронов и дырок в зонах.</p> <p>Невырожденные полупроводники, закон действующих масс и концентрация носителей в собственном полупроводнике.</p> <p>Определение положения уровня Ферми, уровень Ферми в собственных полупроводниках.</p> <p>Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях. Полупроводник с примесью одного типа.</p>	3	0	0
3	3	<p>Механизм электропроводности полупроводников, подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость. Природа электросопротивления.</p> <p>Дрейфовая скорость.</p> <p>Зависимость электропроводности полупроводников от температуры и примесей.</p> <p>Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.</p> <p>Магнитосопротивление (эффект Гаусса). Эффект Эттингсгаузена, эффект Нернста.</p>	2	0	0
4	4	<p>Контактные явления в полупроводниках</p>	2	0	0

5	5	Неравновесные носители заряда, квазиуровни Ферми. Время жизни неравновесных носителей заряда. Уравнение непрерывности. Амбиполярная диффузия и амбиполярный дрейф. Длины диффузии и дрейфа, длина затягивания	2	0	0
6	6	Электронно-дырочные переходы	2	0	0
7	7	Основные механизмы поглощения света в полупроводниках	2	0	0
Всего			16	0	0

### 3.4 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
Всего					

## 4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Юзова В.А., Левицкий А.А.	Материалы и элементы электронной техники. Модуль № 2. Пассивные и активные диэлектрики и элементы на их основе: конспект лекций	Красноярск: СФУ, 2012
Л1.2	Чиганова Г. А.	Введение в нанотехнологии: учебное пособие для студентов направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника"	Красноярск: СФУ, 2013

## 5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

**6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

6.1. Основная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	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: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины	Красноярск: СФУ, 2007
Л1.2	Лебедев А. И.	Физика полупроводниковых приборов	Москва: Физматлит, 2008
Л1.3	Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И., Солнцев Ю. П.	Нанотехнологии и специальные материалы: учеб. пособие для студентов вузов	Санкт-Петербург: Химиздат, 2007
Л1.4	Томилин В. И., Томилина Н. П., Бахтина В.А	Физическое материаловедение: Ч. 1. Пассивные диэлектрики: учеб. пособие для студентов вузов спец. "Проектирование и технология радиоэлектронных средств"	Красноярск: СФУ, 2012
Л1.5	Волков Н. В., Попков С. И.	Магнетизм твердых тел; диа- и парамагнетизм; магнитный порядок (физика магнитных явлений): учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]	Красноярск: СФУ, 2012
Л1.6	Волков Н. В., Попков С. И.	Обменное взаимодействие. Ферромагнетизм. Приближение молекулярного поля: учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]	Красноярск: СФУ, 2012
Л1.7	Шалимова К. В.	Физика полупроводников: учебник	Санкт-Петербург: Лань, 2010

Л1.8	Савельев И. В.	Курс физики: Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие для вузов : в 3 т. : учеб. пособие для вузов	СПб.: Лань, 2008
<b>6.2. Дополнительная литература</b>			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г.	Физика полупроводников: учебное пособие для студентов физических специальностей высших учебных заведений	Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы [Физматлит], 1990
Л2.2	Киттель Ч.	Введение в физику твердого тела	Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978
Л2.3	Шнайдер Т., Зингер Дж. М., Абдулвагидов Ш. Б., Камилов И. К.	Фазовые переходы и высокотемпературная сверхпроводимость: универсальные свойства купратных сверхпроводников	Махачкала: Изд-во Ин-та физики Дагест. науч. центра РАН, 2007
Л2.4	Попков С. И., Красиков А. А., Семенов С. В., Балаев А. Д., Волков Н. В.	Магнитные измерения: учебно-методическое пособие для лабораторных работ [студентов спец. 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]	Красноярск: СФУ, 2012
Л2.5	Волков Н. В.	Физика магнитных явлений. Ферромагнетизм: учебное пособие для студентов (бакалавров), обучающихся по направлению 03.03.02 (011200.62) "Физика" и 14.03.02 (140800.62) "Ядерная физика и технологии"	Красноярск: СФУ, 2015
<b>6.3. Методические разработки</b>			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Юзова В.А., Левицкий А.А.	Материалы и элементы электронной техники. Модуль № 2. Пассивные и активные диэлектрики и элементы на их основе: конспект лекций	Красноярск: СФУ, 2012
Л3.2	Чиганова Г. А.	Введение в нанотехнологии: учебное пособие для студентов направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника"	Красноярск: СФУ, 2013

## **7 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Э1	Электронная естественнонаучная библиотека	<a href="http://bib.tiera.ru">http://bib.tiera.ru</a>
----	---	---

## **8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Изучение дисциплины «Физика полупроводников» проходит в виде лекционных, практических занятий в течение программы подготовки магистров по направлению.

Целью самостоятельной работы по изучению теоретического курса является получение знаний об основах физики полупроводников. Самостоятельная работа по изучению теоретического курса включает:

- внимательное чтение лекционного материала;
- составление глоссария терминов;
- ответы на контрольные вопросы (вопросы для самопроверки) к каждой лекции.

## **9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **9.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

9.1.1	1. Microsoft Office.
9.1.2	2. Adobe Reader.

### **9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем**

9.2.1	Доступ к библиотечному фонду (в сети СФУ, раздел «Библиотека», <a href="http://bik.sfu-kras.ru/">http://bik.sfu-kras.ru/</a> )
-------	--

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

Лекционные и семинарские (практические) занятия проводятся в учебных аудиториях, которые должны быть укомплектованы техническими средствами обучения. Лабораторные занятия проводятся на лабораторной базе кафедры физики твердого тела и нанотехнологий СФУ.