

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

Утверждаю:

Проректор по учебной работе

Павлов В. Н.

«» 2018г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.04 - «Электроника и наноэлектроника»

по профилям

«Нанотехнология в электронике»

«Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Санкт-Петербург

2018

## СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов:	326, 325
Обеспечивающий факультет:	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра:	МНЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	4
Семестр	7

### **Виды занятий**

Лекции (академ. часов)	36
Практические занятия (академ. часов)	18
Лабораторные занятия (академ. часов)	36
Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов)	90
Самостоятельная работа (академ. часов)	90
Всего (академ. часов)	180

### **Вид промежуточной аттестации**

Дифференцированный зачет (семестр)	7
------------------------------------	---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники - протокол № 2 от 1 марта 2018.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета электроники протокол № 2 от 16 марта 2018.

## СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов:	126, 026
Обеспечивающий факультет:	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра:	МНЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	4
Семестр	7

### **Виды занятий**

Лекции (академ. часов)	18
Практические занятия (академ. часов)	36
Лабораторные занятия (академ. часов)	18
Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов)	72
Самостоятельная работа (академ. часов)	108
Всего (академ. часов)	180

### **Вид промежуточной аттестации**

Дифференцированный зачет (семестр)	7
------------------------------------	---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники - протокол № 2 от 1 марта 2018.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета электроники протокол № 2 от 16 марта 2018.

**АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»**

Основной целью дисциплины является ознакомление студентов с современным состоянием физики полупроводников. Наряду с классическими полупроводниками Si и Ge подробно изучаются полупроводниковые соединения  $A^3B^5$ . Основное внимание уделяется анализу реальной зонной структуры полупроводников, методу эффективной массы, оптическим свойствам и квантово-размерным структурам на их основе.

**SUBJECT SUMMARY  
«Semiconductor Physics»**

The main goal of the discipline is to familiarize students with the modern state of Semiconductor Physics.  $A_3B_5$  semiconductive compounds are studied in details along with classical Si and Ge semiconductors. Special attention is paid to analysis of band structure of semiconductors, effective mass method, optical properties and quantum structures.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины студенты должны:

1. **Знать и понимать:**

фундаментальные физические закономерности, определяющие свойства полупроводников

2. **Уметь:**

проводить оценочные расчеты электрофизических характеристик объемных полупроводников и полупроводниковых кванто-размерных структур

3. **Владеть:**

представлениями о современном состоянии и методах исследований в области физики полупроводников

Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приведён в матрице компетенций, прилагаемой к ООП.

## МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к вариативной части ООП.

Дисциплина преподается на основе ранее изученных дисциплин:

1. Квантовая механика и статистическая физика
2. Физика конденсированного состояния
3. Электродинамика

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. Проектирование электронной компонентной базы
2. Элементы микро- и наносистемной техники

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Тема 1. Структура и симметрия полупроводниковых кристаллов**  
(10 академ. часов)

Классические полупроводники Ge и Si. Кубические полупроводники  $A^3B^5$ . Прямая и обратная решетки. Элементарная ячейка. Зона Бриллюэна.

**Тема 2. Зонная структура полупроводников** (20 академ. часов)

Методы расчета зонной структуры полупроводников. Метод эмпирического псевдопотенциала. Закон дисперсии электронов вблизи точек высокой симметрии. Кр-теория возмущений. Зонные параметры, эффективная масса. Вырожденные и невырожденные зоны. Зонная структура алмазоподобных полупроводников. Учет спина и спин-орбитального взаимодействия.

**Тема 3. Плотность энергетических состояний в зонах** (20 академ. часов)

Локальная и усредненная по элементарной ячейке плотность энергетических состояний. Особенности Ван-Хова. Эффективная масса плотности состояний. Плотность состояний в зоне  $\Gamma_8$ . Плотность состояний в 2D, 1D и 0D-системах.

**Тема 4. Статистика электронов и дырок в полупроводниках** (20 академ. часов)

Распределение Ферми-Дирака. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Статистика заполнения примесных состояний. Зависимость положения уровня Ферми от температуры и концентрации легирующих примесей. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках, легированных донорами и акцепторами.

**Тема 5. Электроны и дырки в приближении эффективной массы**  
(30 академ. часов)

Движение электронов и дырок в присутствии внешних полей. Эффективный гамильтониан. Уравнение Шредингера для огибающей

волновой функции. Мелкие примесные и экситонные состояния в полупроводниках. Состояния, связанные с анизотропными и вырожденными зонами. Вариационный метод расчета энергии связи. Примесные состояния в многодолинных полупроводниках. Поправки к методу эффективной массы.

#### **Тема 6. Оптические свойства полупроводников (40 академ. часов)**

Мнимая часть диэлектрической проницаемости кристалла, обусловленная поглощением электромагнитной энергии. Вероятность оптических переходов. Золотое правило Ферми. Поглощение света на колебаниях кристаллической решетки. Примесное поглощение света. Спектры фотовозбуждения и фотоионизации мелких водородоподобных примесей. Межзонные оптические переходы. Край собственного поглощения прямозонных и непрямозонных полупроводников. Учет экситонных эффектов. Экситонная зонная структура полупроводника. Прямые и непрямые экситоны.

#### **Тема 7. Полупроводниковые квантово-размерные структуры (38 академ. часов)**

Полупроводниковые наногетероструктуры в приближении эффективной массы. Электроны и дырки в структурах с одиночными и множественными квантовыми ямами. Сверхрешетки, квантовые проволоки и квантовые точки. Энергетический спектр и волновые функции. Локальная плотность состояний и пространственное распределение носителей заряда в наногетероструктурах. Оптические переходы в квантово-размерных структурах.

#### **Заключение (2 академ. часа)**



## **Перечень лабораторных работ**

1. Структура и симметрия полупроводниковых кристаллов
2. Зонная структура кубических полупроводников
3. Исследование плотности состояний в 3D-, 2D-, 1D-, 0D-системах
4. Исследование температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках
5. Исследование мелких примесных и экситонных состояний в полупроводниках
6. Исследование спектра поглощения мелкими водородоподобными примесями в полупроводниках
7. Исследование энергетического спектра и волновых функций носителей заряда в структурах с квантовыми ямами

## **Перечень практических занятий**

1. Структура и симметрия полупроводниковых кристаллов
2. Зонная структура полупроводников
3. Плотность энергетических состояний в зонах
4. Расчет концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках
5. Приближение эффективной массы в полупроводниках
6. Оптические переходы в полупроводниках
7. Полупроводниковые квантово-размерные структуры

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библ. (на каф.)
Основная литература			
1	Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников, М., Физматлит, 2009	7	50 (6)
2	Питер Ю., Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников, М., Физматлит, 2002	7	44 (5)
3	Виолина Г. Н., Глинский Г. Ф., Зубков В. И. Оптические и кинетические явления в твердых телах: Лаб. практикум СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.	7	133 (12)
4	Виолина Г.Н., Глинский Г.Ф., Зубков В.И. Физика конденсированного состояния: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 80 с.	7	53 (100)
Дополнительная литература			
1	Бонч-Бруевич В.П., Калашников С.Г. Физика полупроводников, М., Наука, 1990	7	75 (4)
2	Шалимова К. В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985. 392 с.	7	94 (7)
3	Мотт Н., Девис Э. Электронные процессы в кристаллических веществах М., Мир, 1994	7	14 (3)
4	Пихтин А.Н. Квантовая и оптическая электроника. М.: Абрис, 2012	7	99 (24)

Зав. отделом учебной литературы

Т.В. Киселева

*зав. профессором / доцентом / ассистентом*

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

#### «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№	Электронный адрес
1	<a href="http://infotechlib.narod.ru">http://infotechlib.narod.ru</a>
2	<a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>
3	<a href="http://www.twirpx.com/file/1014645/">http://www.twirpx.com/file/1014645/</a>
4	<a href="http://www.twirpx.com/file/1014651/">http://www.twirpx.com/file/1014651/</a>
5	<a href="http://www.twirpx.com/file/217878/">http://www.twirpx.com/file/217878/</a>

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Описание информационных технологий и материально-технической базы приведено в УМКД дисциплины в методических указаниях к лабораторным работам, учебных пособиях к практическим занятиям.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине и методика текущего контроля содержатся в учебно-методическом комплексе дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин (содержащиеся в ООП) доводятся до сведения обучающихся в течение первых недель обучения.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**Разработчик:**

д.ф.-м.н.



Глинский Г.Ф.,

**Рецензент**

к.т.н., доцент



Иванов Б.В.

**Зав. кафедрой МНЭ**

Д.т.н., профессор



Лучинин В.В.

**Декан факультета электроники**

д.ф.-м.н., профессор



Соломонов А.В.

СОГЛАСОВАНО:

**Председатель методической комиссии ФЭЛ**


к.ф.-м.н., доцент



Александрова О.А.

**Начальник МО**

д.т.н., проф.



Грязнов А.Ю.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. МО
1	26.04.2018	Дисциплина добавлена в учебный план №325 по профилю «Микроэлектроника и твердотельная электроника»	протокол № 2 от 16 марта 2018.	Глинский Г.Ф.	Грязнов А. Ю. 