

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)  
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института  
**А.Саркисян**



**Инженерно-физический институт**

**Кафедра: Технология материалов и структур электронной  
техники**

*Автор: Маргарян Нарек Бабинович*

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**Дисциплина: Б1.О.16 «Физические основы электроники»**

**Направление: 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»**

**ЕРЕВАН 2023**

## 1. Аннотация

### *1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины*

В курсе излагаются основы зонной теории твердых тел; на ее основе производится классификация твердых тел. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами. Подробно излагается статистика электронов и дырок в полупроводниках, рассматриваются особенности электронных свойств сильно легированных, аморфных и некристаллических полупроводников. Равновесные и неравновесные электроны и дырки в полупроводниках. На основе уравнения Больцмана подробно изучаются кинетические явления в полупроводниках. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля. Фотопроводимость. В курсе изучаются также Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления.

### *1.2. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)*

Данная дисциплина взаимосвязана с такими дисциплинами как: материалы электронной техники, физика гетеропереходов, нанаэлектроника, основы проектирования электронной компонентной базы, физика полупроводниковых приборов.

### *1.3. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)*

Студент должен:

**знать** основы по предметам: математического анализа, векторного анализа, дифференциальных уравнений, по общим курсам физики: электричество и магнетизм, оптика, атомная физика

**уметь** применять свои знания для решения задач по данному предмету

**владеть** навыками применения интегрального и дифференциального исчисления для решения однородных дифференциальных уравнений.

### *1.4. Предварительное условие для прохождения (дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)*

Общий курс физики, атомная физика, математический анализ, векторный анализ, дифференциальные уравнения.

## 2. Содержание

### *2.1. Цели и задачи дисциплины*

Содержание дисциплины направлено на ознакомление студентов с физическими процессами происходящими в полупроводниках и полупроводниковых структурах.

Цель преподавания дисциплины: ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в различных твердотельных приборах дискретного и интегрального исполнения.

Учебная задача: ознакомить студентов с основами теории электронных и оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах, с принципами работы

полупроводниковых приборов и с возможностями применения этих знаний в практических исследованиях, привить студентам навыки теоретического анализа при решении практических задач и проведения физического практикума по твердотельной электронике.

## ***2.2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины***

После изучения дисциплины студент должен:

- ***знать*** принципы действия, конструктивно-технологические особенности, основные характеристики и параметры приборов твердотельной электроники;
- ***уметь*** правильно выбирать приборы твердотельной электроники для применения в радиоэлектронной аппаратуре, использовать стандартную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения физических величин;
- ***иметь*** представление об основных путях развития элементной базы электронной техники;
- ***владеть*** модельным, математическим и компьютерным инструментарием расчета простейших характеристик и параметров приборов твердотельной электроники.

## ***2.3. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)***

### ***2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы***

<b>Виды учебной работы</b>	<b>Всего (ак. час)</b>
<b><i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i></b>	<b>70</b>
<b>1. Аудиторные занятия, в т. ч.:</b>	<b>70</b>
1.1. Лекционные занятия	<b>52</b>
1.2. Практические занятия	<b>18</b>
<b><i>Итоговый контроль</i></b>	<b><i>зачет</i></b>

### ***2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы***

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Практически е занятия (ак. часов)
<i>1</i>	2	3	4
<b>Модуль 1. Основы зонной теории</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>2</b>
Введение	1	1	-
Раздел 1. Основы зонной теории. Классификация твёрдых тел	7	6	1
<i>Тема 1.1. Основные приближения зонной теории</i>	2	2	-
<i>Тема 1.2. Импульс электрона в кристалле</i>	2	2	-
<i>Тема 1.3. Эффективная масса электронов в кристалле</i>	3	2	1
Раздел 2. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами.	4	3	1
<i>Тема 2.1. Локализованные состояния</i>	4	3	1
<b>Модуль 2. Равновесные носители заряда</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>2</b>
Раздел 3. Статистика электронов в кристаллах	8	6	2
<i>Тема 3.1. Функция плотности состояния и её вычисление</i>	2	2	-
<i>Тема 3.2. Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми</i>	6	4	2
Раздел 4. Аморфные твёрдые тела. Некристаллические полупроводники	2	2	-
<i>Тема 4.1. Структура аморфных полупроводников</i>	2	2	-
<b>Модуль 3. Неравновесные носители заряда</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>4</b>
Раздел 5. Равновесные и неравновесные электроны	12	8	4
<i>Тема 5.1. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми</i>	7	5	2
<i>Тема 5.2. Типы процессов рекомбинации</i>	1	1	-
<i>Тема 5.3. Уравнение непрерывности</i>	4	2	2
<b>Модуль 4. Явления переноса</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>6</b>
Раздел 6. Кинетические явления в полупроводниках	17	13	4
<i>Тема 6.1. Кинетическое уравнение Больцмана</i>	1	1	-
<i>Тема 6.2. Удельная проводимость полупроводника</i>	8	6	2
<i>Тема 6.3. Эффект Холла</i>	6	4	2
<i>Тема 6.4. Термоэлектрические явления</i>	2	2	-
Раздел 7. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля	9	7	2
<i>Тема 7.1. Происхождение поверхностных состояний</i>	1	1	-
<i>Тема 7.2. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации</i>	4	3	1
<i>Тема 7.3. Фотопроводимость</i>	4	3	1
<b>Модуль 5. Поглощение света и фотоэлектрические явления</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
Раздел 8. Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления	5	3	2
<i>Тема 8.1. Фотопроводимость и фото-ЭДС в однородных полупроводниках</i>	4	2	2
<i>Тема 8.2. Взаимодействие упругих волн с электронами</i>	1	1	-
Раздел 9. Оптические свойства полупроводников	3	3	-
<i>Тема 9.1. Дисперсия</i>	1	1	-
<i>Тема 9.2. Фундаментальное поглощение света полупроводниками</i>	1	1	-
<i>Тема 9.3. Понятие об экситоне</i>	1	1	-
<b>ИТОГО</b>	<b>70</b>	<b>52</b>	<b>18</b>

### **2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины**

#### **Модуль 1. Основы зонной теории**

Введение

#### **Раздел 1. Основы зонной теории. Классификация твёрдых тел**

Тема 1.1. Основные приближения зонной теории

Тема 1.2. Импульс электрона в кристалле

Тема 1.3. Эффективная масса электронов в кристалле

#### **Раздел 2. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами.**

Тема 2.1. Локализованные состояния

Модуль 2. Равновесные носители заряда

#### **Раздел 3. Статистика электронов в кристаллах**

Тема 3.1. Функция плотности состояния и её вычисление

Тема 3.2. Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми

#### **Раздел 4. Аморфные твёрдые тела. Некристаллические полупроводники**

Тема 4.1. Структура аморфных полупроводников

Модуль 3. Неравновесные носители заряда

#### **Раздел 5. Равновесные и неравновесные электроны**

Тема 5.1. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми

Тема 5.2. Типы процессов рекомбинации

Тема 5.3. Уравнение непрерывности

#### **Модуль 4. Явления переноса**

#### **Раздел 6. Кинетические явления в полупроводниках**

Тема 6.1. Кинетическое уравнение Больцмана

Тема 6.2. Удельная проводимость полупроводника

Тема 6.3. Эффект Холла

Тема 6.4. Термоэлектрические явления

#### **Раздел 7. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля**

Тема 7.1. Происхождение поверхностных состояний

Тема 7.2. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации

Тема 7.3. Фотопроводимость

#### **Модуль 5. Поглощение света и фотоэлектрические явления**

#### **Раздел 8. Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления**

Тема 8.1. Фотопроводимость и фото-ЭДС в однородных полупроводниках

Тема 8.2. Взаимодействие упругих волн с электронами

#### **Раздел 9. Оптические свойства полупроводников**

Тема 9.1. Дисперсия

Тема 9.2. Фундаментальное поглощение света полупроводниками

Тема 9.3. Понятие об экситоне

## 2.4. Распределение весов по модуля и формам контроля

Веса и формы контролей	Веса форм текущих контролей в результирующей оценке текущего контроля			Веса форм промежуточных контролей и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	<u>M1</u>	M2	M3	M1	M2	M3		
<b>Вид учебной работы/контроля</b>								
<b>Контрольная работа</b>								
<b>Тест</b>		1	1					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей					1	1		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей т.д.							1	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0,5
<b>Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)</b>								0,5
	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$

### 3. Теоретический блок

#### 3.1. *Материалы по теоретической части курса*

##### 3.1.1. Учебники

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1990.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т 1,2. – М.: Мир, 1984.
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – М.: Наука, 1978.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1976.
5. Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И.П., Карпенко И.В., Миронов А.Г. Сборник задач по физике полупроводников. – М.: Наука, 1987.
6. Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов. – М.: Наука, 1975.
7. Кардона П.Ю. Основы полупроводников. – М.: Мир, 2003.
8. Sah С.Т. Fundamentals of solid-state electronics / С.Т. Sah. World Scientific, 1991.
9. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие. / В.И. Гаман. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000.
10. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов. / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. 6-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2002.
11. Гуртов В.А. Сборник задач по микроэлектронике / В.А. Гуртов, О.Н. Ивашенков. – Петрозаводск: 1999.
12. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учеб. пособие / В.П. Драгунов, И.П. Неизвестный, В.А. Гридчин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.

##### 3.1.2. Учебное пособие

1. Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И.П., Карпенко И.В., Миронов А.Г. Сборник задач по физике полупроводников. – М.: Наука, 1987.

##### 3.1.3. Кратки конспект лекций (краткие аннотации по каждой теме)

## МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ

### Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики полупроводников и полупроводниковой электроники. Классификация изделий твердотельной электроники. Полупроводниковые приборы как основные элементы микроэлектроники. Роль материалов в развитии элементной базы электронной техники. ([1] гл.1; [2] гл.1)

### Раздел 1. Основы зонной теории. Классификация твёрдых тел

#### *Тема 1.1. Основные приближения зонной теории*

Основные приближения зонной теории: адиабатическое, одноэлектронное. Модель сильно связанных электронов. Волновое уравнение для электрона в периодическом потенциальном поле. Приближенное решение вблизи границы зоны Бриллюэна. Теорема Блоха. Функции Блоха. ([1] гл. 3,1-4)

#### *Тема 1.2. Импульс электрона в кристалле*

Импульс электрона в кристалле. Схема приведенных зон. Причины возникновения энергетической щели. Число уровней в зоне. Металлы диэлектрики и полупроводники. Строение поверхности Ферми. ([1] гл. 3,5-6)

### ***Тема 1.3. Эффективная масса электронов в кристалле***

Электроны и дырки. Эффективная масса электронов в кристалле. Формы изоэнергетических поверхностей. Стандартная зона, одноэллипсоидная и многодолинные модели. Особенности зонной структуры некоторых полупроводников. ([1] гл. 3,7-9)

## **Раздел 2. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами**

### ***Тема 2.1. Локализованные состояния***

Локализация состояний. Водородоподобные состояния. Глубокие уровни. Многозарядные примесные центры. Сильное легирование. Поверхностные и граничные состояния. Уровни Тамма. ([1] гл. 4, § 7; гл. 10, § 1)

## МОДУЛЬ 2. РАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА

### **Раздел 3. Статистика электронов в кристаллах. Собственные, примесные и сильнолегированные полупроводники**

#### ***Тема 3.1. Функция плотности состояния и её вычисление***

Функция плотности состояния и её вычисление. Функция распределения Ферми для зонных и примесных состояний. Общее выражение для концентрации носителей заряда. Интегралы Ферми. Случай сильного вырождения. ([1] гл. 5, §§ 2-5)

#### ***Тема 3.2. Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми***

Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми в металлах и сильнолегированных полупроводниках. Уровень химпотенциала и температурная зависимость концентраций электронов и дырок в собственном и примесном полупроводнике. Влияние компенсации примесей. ([1] гл. 5, §§ 6, 9,13,14,15)

### **Раздел 4. Аморфные твёрдые тела. Некристаллические полупроводники**

#### ***Тема 4.1. Структура аморфных полупроводников***

Структура аморфных твёрдых тел. Энергетический спектр некристаллических твёрдых тел. Модели Лифшица и Андерсона. Некристаллические полупроводники. Прыжковая проводимость. ([1] гл.19)

## МОДУЛЬ 3. НЕРАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА

### **Раздел 5. Равновесные и неравновесные электроны и дырки в полупроводниках**

#### ***Тема 5.1. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми***



Основные полупроводниковые материалы. Собственная и примесная проводимость. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми. ([1] гл.7, §§ 1,5)

### ***Тема 5.2. Типы процессов рекомбинации***

Типы процессов рекомбинации. Рекомбинация зона-зона. Рекомбинация через локальные состояния. Уровни прилипания. Оже-рекомбинация. Поверхностная рекомбинация. Время жизни неравновесных носителей. ([1] гл. 9, §§ 1,2,3,4 )

### ***Тема 5.3. Уравнение непрерывности***

Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф носителей. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. ([1] гл.7, §§ 3,8 )

## **МОДУЛЬ 4. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА**

### **Раздел 6. Кинетические явления в полупроводниках**

#### ***Тема 6.1. Кинетическое уравнение Больцмана***

Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Неравновесная функция распределения. ([1] гл.13, §§ 3,5,6,7)

#### ***Тема 6.2. Удельная проводимость полупроводника***

Удельная проводимость полупроводника. Механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности. ([1] гл.13, 7; гл. 14, §§ 3,4,5)

#### ***Тема 6.3. Эффект Холла***

Эффект Холла и магнетосопротивление. ( [1] гл.13, § 7)

#### ***Тема 6.4. Термоэлектрические явления***

Термоэлектрические явления (эффекты Зеебека, Томсона и Пельтье), теплопроводность полупроводников. ([1] гл.13, § 7)

### **Раздел 7. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля.**

#### **Фотопроводимость**

#### ***Тема 7.1 Происхождение поверхностных состояний***

Происхождение поверхностных состояний. Уровни Тамма. Влияние поверхностного потенциала на электропроводность. ([1] гл.10, §§ 1,2)

#### ***Тема 7.2. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации***

Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации. Влияние поверхностной рекомбинации на проводимость, индуцированную излучением. ([1] гл.10, §§ 3,5)

#### ***Тема 7.3. Фотопроводимость***

Стационарная фотопроводимость. Затухание фотопроводимости в тонких пластинах. ([1] гл.10, § 6)

## МОДУЛЬ 5. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

### **Раздел 8. Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления**

#### ***Тема 8.1. Фото-ЭДС в однородных полупроводниках***

Возникновение фото-ЭДС в однородных полупроводниках. Вентильная фото-ЭДС. Вентильные фотоэлементы и детекторы излучений. ([1] гл.12, §§ 1,2,3,4)

#### ***Тема 8.2. Взаимодействие упругих волн с электронами***

Взаимодействие фононов и электронов. Взаимодействие упругих волн с электронами. Упругие волны в пьезодиэлектриках и пьезоэлектрических полупроводниках. Электронное поглощение и усиление ультразвуковых волн. Акусто - электрический эффект. ([1] гл.15, §§ 2,3,4,5)

### **Раздел 9. Оптика полупроводников**

#### ***Тема 9.1. Дисперсия***

Дисперсия. Классическая теория взаимодействия света со связанными зарядами. Условия Крамерса-Кронига. Поглощение света свободными носителями заряда. Плазменное отражение света. ([1], гл.18, §§ 1,3)

#### ***Тема 9.2. Фундаментальное поглощение света полупроводниками***

Фундаментальное поглощение света полупроводниками. Межзонные переходы. Необходимость квантового рассмотрения. Прямые и непрямые межзонные переходы: основные представления, дисперсионные соотношения. ([1] гл.18, §§ 4,5,7)

#### ***Тема 9.3. Экситонное поглощение***

Понятие об экситоне. Экситонное поглощение света. Поглощение света с участием локализованных состояний. Влияние внешних полей на дисперсию оптических коэффициентов. ([1] гл.17, § 7; гл. 18, §§ 2,10)

## **4. Практический блок**

### ***4.1. Планы практических занятий***

1. Основы зонной теории. Классификация твёрдых тел.
2. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами.
3. Статистика электронов в кристаллах.
4. Аморфные твёрдые тела. Некристаллические полупроводники.
5. Равновесные и неравновесные электроны.
6. Кинетические явления в полупроводниках.
7. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля.
8. Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления.
9. Оптические свойства полупроводников.

## 5. Материалы по оценке и контролю знаний

### 5.1. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

#### Билет 1

1. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Неравновесная функция распределения.
2. Происхождение поверхностных состояний. Уровни Тамма. Влияние поверхностного потенциала на электропроводность.

#### Билет 2

1. Основные приближения зонной теории: адиабатическое, одноэлектронное. Модель сильно связанных электронов. Волновое уравнение для электрона в периодическом потенциальном поле.
2. Эффект Холла и магнетосопротивление.

### 5.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Введение. Исторический обзор физики полупроводников. Определение полупроводника.
2. Уравнение Шредингера для кристалла. Зонное приближение.
3. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Квазиимпульс.
4. Зоны Бриллюэна.
5. Возможные значения квазиимпульса, условие Борна-Кармана.
6. Энергетические зоны.
7. Метод сильно связанных электронов.
8. Механизм образования энергетических зон. Закон дисперсии.
9. Заполнение энергетических зон - металлы, полупроводники.
10. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля.
11. Эффективная масса носителей заряда. Понятие дырки.
12. Зонная структура некоторых полупроводников (Si, Ge, GaAs, InSb).
13. Метод эффективной массы.
14. Примесные состояния в полупроводниках. Глубокие примеси.
15. Квантование энергии в сильном магнитном поле. Уровни Ландау.
16. Плотность квантовых состояний в энергетических зонах.
17. Функция распределения Ферми – Дирака.
18. Степень заполнения примесных уровней.
19. Концентрация электронов и дырок в зонах.

20. Концентрация электронов и дырок в невырожденном и в вырожденном полупроводниках.
21. Собственный полупроводник.
22. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и от температуры для невырожденного полупроводника.
23. Компенсированные полупроводники.
24. Кинетическое уравнение Больцмана.
25. Время релаксации.
26. Неравновесная функция распределения.
27. Удельная проводимость полупроводника.
28. Механизмы рассеяния электронов в полупроводниках. Оценка эффективного сечения рассеяния. Зависимость подвижности от температуры.
29. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводника.
30. Эффект Холла.
31. Магнитосопротивление полупроводников.
32. Термоэлектрические эффекты в полупроводниках.
33. Теплопроводность полупроводников.
34. Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми.
35. Биполярная оптическая генерация неравновесных носителей заряда.
36. Монополярная оптическая генерация неравновесных носителей заряда, время релаксации Максвелла.
37. Механизмы рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
38. Уравнение непрерывности. Диффузионные и дрейфовые токи.
39. Соотношения Эйнштейна.
40. Диффузия и дрейф неравновесных носителей в случае монополярной генерации.
41. Диффузия и дрейф неосновных носителей заряда в примесном полупроводнике.
42. Эффект поля в полупроводниках.
43. Термоэлектронная эмиссия из полупроводника, термодинамическая работа выхода, электронное сродство.

### **5.3. Образцы экзаменационных билетов**

#### *Билет 1*

1. Магнитосопротивление полупроводников.
2. Концентрация электронов и дырок в невырожденном и в вырожденном полупроводниках.

3. Соотношения Эйнштейна.

*Билет 2*

1. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и от температуры для невырожденного полупроводника.
2. Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми.
3. Диффузия и дрейф неосновных носителей заряда в примесном полупроводнике.

**6. Методический блок**

**6.1. Методика преподавания, обоснование выбора данной методики**

Преподавание данного курса основывается на :

- Проведение лекционных занятий согласно тематическому плану.
- Контроль усвоенного материала
- Организация самостоятельной работы студентов.
- Проведение практических занятий.

**7.2. Экзаменационные вопросы**

**Учебная программа одобрена:**

**Кафедрой «Технологии материалов и структур электронной техники»  
зав. кафедрой: Геворкян В.А.**

---

(подпись)

