

Принято на заседании  
Ученого совета ИНМиН НИТУ МИСИС  
Протокол от 28.11.2024 № 8-24

ПРОГРАММА  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ  
НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ МАГИСТРАТУРЫ

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

Москва 2024

## Содержание

1. Пояснительная записка .....	3
2. Содержание разделов .....	4
3. Рекомендуемая литература .....	6

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель вступительного испытания – определение возможности поступающего осваивать основные профессиональные образовательные программы высшего образования (ОПОП ВО) в пределах образовательных стандартов ВО НИТУ МИСИС по направлению «11.04.04 Электроника и наноэлектроника».

Вступительное испытание по направлению «11.04.04 Электроника и наноэлектроника» проводится в виде письменного экзамена.

Продолжительность вступительного испытания составляет 2 часа (120 минут).

Экзаменационный билет содержит 5 заданий.

Система оценивания письменного вступительного испытания:

1 вопрос - 20 баллов;

2 вопрос - 20 баллов;

3 вопрос - 20 баллов;

4 вопрос - 20 баллов;

5 вопрос - 20 баллов.

В случае правильного и полного ответа поступающий получает количество баллов, соответствующее номеру вопроса, при неполном ответе или при наличии ошибок члены экзаменационной комиссии выставляют количество баллов пропорционально части правильного выполнения задания.

Результаты вступительных испытаний оцениваются по 100-балльной шкале.

Минимальный проходной балл, подтверждающий успешное прохождение вступительных испытаний, составляет 40.

Перечень принадлежностей, которые поступающий имеет право принести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: ручка, пишущая черными или синими чернилами, простой карандаш, ластик, непрограммируемый калькулятор.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ

### 1. Химическая связь и атомная структура полупроводников

Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-Ваальсова, ионная и ковалентная связь.

Структуры важнейших полупроводников - элементов  $A^{IV}$ ,  $A^{VI}$  и соединений типов  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ . Симметрия кристаллов. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.

### 2. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров

Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы). Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия. Методы легирования полупроводников. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.

### 3. Основы зонной теории полупроводников

Энергетические зоны. Эффективная масса. Плотность состояний. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

### 4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках.

### 5. Кинетические явления в полупроводниках

Проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке.

### 6. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов.

### 7. Контактные явления в полупроводниках

Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и

инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки. Энергетическая диаграмма  $p-n$  перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в  $p-n$  переходе. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов.

## 8. Оптические явления в полупроводниках

Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.

## 9. Принципы действия полупроводниковых приборов

Вольтамперная характеристика  $p-n$  перехода. Приборы с использованием  $p-n$  переходов. туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Энергетическая диаграмма Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (HEMT). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод.



### 3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гуртов В.И. Твердотельная электроника. М. Техносфера, 2008
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. М.: Лань, 2010
3. Зегря Г. Г., Перель В. И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009 г.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984.
5. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высш. шк., 1975.
6. Матухин В.А., Ермаков В.А. Физика твердого тела. М.: Лань, 2010
7. Мотт Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М.: Наука, 1977.
8. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. М.: Лань 2006
9. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Лань, 2010.
10. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
11. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
12. Лебедев А.В. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008