

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
Ярославский государственный университет имени П.Г.Демидова

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

**МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА**

**«Интегральная электроника и нанoeлектроника»**

**Ярославль 2017**

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЭКЗАМЕНА

Цель экзамена - выявление уровня профессиональной направленности и склонности поступающего к выбранному направлению магистратуры.

Задачи экзамена:

- выявление у поступающего в магистратуру представлений о его будущей профессиональной деятельности;
- выявление социальных установок, способности владеть культурой мышления, способности к обобщению, анализу, восприятию информации;
- анализ результатов экзамена и оценка достижений поступающего на момент поступления.

## 2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

2.1 Проведение организационного собрания поступающих в магистратуру с целью доведения даты, времени и места проведения экзамена профильной направленности, а также льготных условий приема и др.

2.2 Оформление необходимых документов поступающих в магистратуру на льготных условиях.

## 3. СОДЕРЖАНИЕ ЭКЗАМЕНА

3.1 Поступающие сдают вступительный экзамен (в письменной форме) на русском языке.

3.2 Экзамен магистерской программы «**Интегральная электроника и наноэлектроника**» по направлению подготовки **01.04.04 Электроника и наноэлектроника** проводится по следующим разделам:

- Физика полупроводников и низкоразмерных систем;
- Твердотельная электроника, контактные явления в полупроводниках;
- Микроэлектроника;
- Наноэлектроника.

## 4. ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В МАГИСТРАТУРУ

### Раздел 1.

#### **Физика полупроводников и низкоразмерных систем.**

1.1 Типы химической связи. Силы Ван-дер-Ваальса, ионная, ковалентная, металлическая и водородная связи. Классификация твердых тел по характеру сил связи. Заполнение энергетических зон. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Проводимость различных типов твердых тел.

1.2 Энергия и движение электрона в твердом теле. Энергетический спектр электронов в кристалле. Уравнение Шредингера для кристалла. Общая постановка задачи. Зонная структура твердого тела в модели Кронига - Пенни. Закон дисперсии. Закон дисперсии. Основные типы зонной структуры полупроводников. Зонная структура Si, Ge, GaAs. Изознергетические поверхности.

- 1.3 Легирование полупроводников. Донорная и акцепторная проводимости. Компенсированные и сильно легированные полупроводники. Элементарная теория электропроводности (электронной и дырочной) полупроводников. Подвижность, длина свободного пробега, время релаксации.
- 1.4 Квазиимпульс. Движение носителей в электрическом поле. Связь между силой и ускорением. Тензор обратной эффективной массы. Дырка. Эллипсоид эффективной массы. Продольная и поперечная эффективные массы. Изоэнергетические поверхности: радиус-вектор ( $\rho$ ) и нормаль ( $\nu$ ) к поверхности. Электроны в тепловом равновесии.
- Вырождение. Механизмы рассеяния носителей заряда. Зависимость подвижности и длины свободного пробега электрона от температуры для собственных и примесных полупроводников.
- 1.5 Статистика носителей заряда в полупроводниках. Функция распределения Ферми. Уровень химического потенциала. Концентрация носителей в энергетической зоне. Плотность состояний. Заселенность уровней. Собственные полупроводники. Положение уровня Ферми. Собственные полупроводники. Эффективная масса плотности состояний. Примесные полупроводники. Уравнение электронейтральности. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках.
- 1.6 Гальваномагнитные и термомагнитные явления. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Оптические свойства полупроводников. Генерация и рекомбинация носителей. Фотопроводимость. Спектр поглощения и фоточувствительность. Механизмы поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное, экситонное, на свободных носителях). Оптические свойства низкоразмерных структур. Межзонное и внутризонное поглощение света квантовой ямой.

## Раздел 2.

### Твердотельная электроника. Контактные явления в полупроводниках.

- 2.1 Работа выхода. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте двух металлов, металла и полупроводника. Контакт электронного и дырочного полупроводников. Выпрямление на  $p$ - $n$  переходе. Полупроводниковые диоды. Выпрямительные и импульсные диоды. Туннельные диоды, диоды Шоттки, Ганна.
- 2.2 Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Основные параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима.
- 2.3 Эффект поля. Поверхностные состояния. Гетеропереходы. Униполярные транзисторы с МДП-структурой, с  $p$ - $n$  переходом, с барьером Шоттки. Принцип действия. Основные параметры и характеристики униполярных транзисторов. Эффекты короткого канала.
- 2.4 Оптоэлектронные приборы. Назначение и области применения. Фотоприемники: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы. Полупроводниковые излучатели: светодиоды, лазеры. Оптроны. Полупроводниковые резисторы и преобразователи.

## Раздел 3.

### Микроэлектроника.

- 3.1 Интегральные схемы (ИС). Классификация ИС по конструктивно -технологическому и функциональному признакам. Основные направления создания ИМС.

Полупроводниковые ИМС. Физические и технологические основы формирования локальных областей с заданными свойствами в объеме и на поверхности полупроводника. Планарная и объемная технологии производства ИС. Пределы микроэлектроники. Закон Мура. Факторы ограничивающие предельные размеры микроэлектронных приборов. Фундаментальные физические, технологические и функциональные ограничения. Понятие о масштабировании и закономерностях скейлинга.

- 3.2 Базовые технологические процессы производства ИС. Эпитаксия: жидкостная, газофазная, молекулярно - пучковая. Легирование полупроводников: диффузия и имплантация. Термическое окисление. Травление. Нанесение тонких пленок. Методы получения структур на основе полупроводников, металлов и диэлектриков.
- 3.3 Микролитография. Технология и материалы литографии. Оптическая литография: современное состояние, основные компоненты и понятия (фотошаблон, фоторезист, разрешающая способность и ее пределы и ограничения, модуляционная передаточная функция, степперы и сканеры). Контактная печать и печать с зазором. Проекционная печать. Взрывная литография.
- 3.4 Биполярный транзистор в интегральном исполнении. Симметричные и асимметричные конфигурации транзисторов. Основные параметры слоев интегральных p-p-n транзисторов и их электрофизические параметры. Интегральные микросхемы на биполярных транзисторах. Эпитаксиально - планарные транзисторы с изоляцией p-n переходами. Распределение примесей в биполярном транзисторе ИС. Разновидности транзисторов в интегральном исполнении (транзисторы со сверхтонкой базой, изопланарные транзисторы, многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, с барьером Шоттки, с поликремниевыми шинами, горизонтальные p-p-r транзисторы).
- 3.5 Интегральные микросхемы на МДП-транзисторах. Преимущества и недостатки МДП ИС перед биполярной технологией. Основные направления применения МДП в ИС. Разновидности униполярных транзисторов. Структура и принцип действия униполярного (МДП) транзистора. Параметры и характеристики МДП транзисторов. МДП транзистор как элемент ИС. Инвертор. конструктивно технологические разновидности МДП транзисторов.
- 3.6 Методы контроля качества, и испытаний ИМС. Тестовый контроль и контроль функционирования. Оптические, электронно-микроскопические и масс-спектрометрические методы контроля.
- 3.7 Функциональная микроэлектроника. Общая характеристика основных физических явлений и материалов используемых в функциональной микроэлектронике.

#### **Раздел 4.**

##### **Наноэлектроника.**

- 4.1 Повышение степени интеграции - общая тенденция современной микро- и наноэлектроники. Использование квантовых эффектов и явлений (туннелирование, размерное квантование, волновые свойства частиц) в современной наноэлектронике.
- 4.2 Литографические методы нового поколения (NGL). Классификация методов по источникам излучения и их краткие характеристики. Электронно-лучевая литография. Методы прямого рисования. Ионная литография. Рентгеновская литография. Литография предельного ультрафиолета. Иммерсионная литография.

- 4.3 Нелиитографические методы формирования наномасок и наноструктур: анизотропное травление, «теневой» метод, нанопечать, процессы самоорганизации.
- 4.4 Примеры конкретной реализации наноструктур и систем пониженной размерности. Квантовые точки в диэлектрике, самоорганизация при эпитаксии, пористый кремний, текстурирование поверхности при облучении ионами низких энергий.
- 4.5 Общие представления о современных приборах наноэлектроники. MEMS и NEMS. Нанотранзисторы и транзисторы на основе квазиодномерных структур. Резонансные туннельные приборы и структуры. Баллистический перенос. Интерференционные приборы (волновые свойства носителей заряда). Оптоэлектронные приборы на основе наноструктур. Одноэлектроника. Кулоновская блокада.

### **Рекомендуемая литература:**

#### **к разделу 1:**

1. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. М.,: Наука. 1990.
2. Шалимова, В.В. Физика полупроводников / В.В.Шалимова. М:Энергия. 1983
3. Киреев, П.С. Физика полупроводников / П.С.Киреев . М: Высшая школа. 1989.
4. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников / А.И.Ансельм. М., 1978.

#### **к разделу 2**

1. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов / С.Зи. - М., Мир, 1984.
2. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы / В.В.Пасынков, Л.К. Чиркин. - СПб.: Лань, 2006.

#### **к разделу 3**

1. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники / И.П.Степаненко. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2004.
2. Аваев, Н. А. Основы микроэлектроники / Аваев Н. А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т.: Учебник для вузов. М.: 1991
3. Ефимов, И. Е. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника/ Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. Учебное пособие для приборостроительных спец. вузов. - М.: Высшая школа, 1987.
4. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок/ Коледов Л. А. Учеб. для вузов. - М.:Радио и связь, 1989.
5. Сугано, Т. Введение в микроэлектронику / Сугано Т., Икома Т., Такэиси Э.. М.: Мир., 1988

#### **к разделу 4**

1. Щука, А. А. Наноэлектроника / А. А.Щука. - СПб.: М.: Физматкнига, 2007.
2. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. - Новосибирск, 2000, 332 С.
3. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А. Наноэлектроника. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009 - 223 С.
4. Демиховский В. Я., Вугальтер Г. А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000, 248 С.

## **5. РЕШЕНИЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ КОМИССИИ**

- 5.1 Окончательное решение экзаменационной комиссии о включении поступающего в списки к зачислению на данное направление.
- 5.2 Доведение до поступающих, включенных в списки к зачислению, социально-бытовых вопросов.
- 5.3 Оформление всех необходимых документов, связанных с зачислением поступающих, и предоставление их в приемную комиссию Ярославского государственного университета им. П.Г.Демидова.