


Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт сильноточной электроники  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
директор ИСЭ СО РАН  
академик РАН



 Н. А. Ратахин  
« 24 » августа 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**вступительного экзамена**  
**по специальности**  
**01.04.04 – физическая электроника**

основной профессиональной образовательной программы высшего образования  
— программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по  
направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)
1	03.06.01 Физика и астрономия	Физическая электроника

## 1. Общие положения

1.1. Программа кандидатского экзамена разработана на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспорта специальностей научных работников 01.04.04 — физическая электроника;

- программы-минимум по специальности 01.04.04 — физическая электроника, утвержденной приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

1.2. Вступительный экзамен проводится в устной форме.

## 2. Вопросы программы

### 1. Корпускулярная оптика

1. Уравнения движения заряженных частиц в электромагнитном поле.

2. Движение заряженной частицы в постоянных полях. Движение в скрещенных полях.

3. Движение в слабо неоднородном поле. адиабатический инвариант. Магнитная пробка.

4. Движение в осесимметричном поле. Теорема Буша.

5. Принципы корпускулярной оптики. Показатель преломления. Законы подобия. Параксиальное приближение.

6. Основные типы электростатических линз. Магнитные линзы. Расчет фокусного расстояния. Аберрации линз.

7. Электронные микроскопы. Общие принципы работы.

### 2. Эмиссионная электроника

1. Термоэлектронная эмиссия. Закон Ричардсона—Дэшмана.

2. Автоэлектронная эмиссия. Закон Фаулера—Нордгейма.

3. Фотоэмиссия.

4. Вторичная электронная эмиссия (электрон-электронная и ион-электронная).

5. Взрывная электронная эмиссия.

### 3. Вакуумная электроника

1. Формирование электронных пучков большой плотности. Ограничение тока объемным зарядом. Плоский вакуумный диод. Коаксиальный диод с магнитной изоляцией.

2. Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц. Черенковское, циклотронное излучение. Нормальный и аномальный эффекты Доплера. Рассеяние волн.

3. Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны, лампа обратной волны, магнетрон, гиротрон, генераторы с виртуальным катодом, лазеры на свободных электронах.

4. Релятивистские эффекты при излучении электромагнитных волн потоками заряженных частиц. Преобразование частоты излучения.

5. Инерционная группировка в пучках заряженных частиц.

6. Волны пространственного заряда в электронных пучках.

#### **4. Электроника твердого тела**

1. Динамика электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр. Дырки как способ описания ансамбля электронов, их свойства и законы движения.

2. Типы точечных дефектов в кристаллах. Акцепторные и донорные примеси в полупроводниках.

3. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Применимость статистики Ферми-Дирака к электронам в твердом теле. Невырожденные и вырожденные полупроводники.

4. Явления переноса заряда в твердом теле. Электропроводность в сильных электрических полях. Эффект Ганна.

5. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум. Контакт металл — полупроводник. Диоды Шоттки.

6. Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции и экстракции неосновных носителей. Выпрямление и усиление с помощью p-n переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n перехода.

7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и испускание света полупроводниками.

8. Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры. Фотоэффект в p-n переходах. Солнечные батареи. Преобразование электрических сигналов в световые.

#### **5. Физические основы электроники поверхности и пленочной электроники**

1. Энергетическая диаграмма реальной поверхности. Поверхностные состояния. Эффект поля и поверхностная проводимость. Полевые транзисторы.

2. Проблема микроминиатюризации элементов микроэлектроники. Фотолитография, рентгеновская и электронная литографии.

3. Текстурированные и эпитаксиальные пленки.

4. Тонкие диэлектрические и полупроводниковые пленки. Диэлектрические потери.

5. Токопрохождение через диэлектрические слои. Туннелирование. Надбарьерная эмиссия электронов.

6. Пленочные активные элементы.

#### **6. Методы анализа поверхности и тонких пленок**

1. Методики определения плотности поверхностных состояний, основанные на эффекте поля (C-V метод и метод, основанный на изменении поверхностной проводимости).

2. Основы энергоанализа заряженных частиц. Основные типы энергоанализаторов. Методы регистрации частиц. Вторичный электронный умножитель. Детекторы для быстрых частиц.

3. Дифракция медленных и быстрых электронов на просвет и на отражение как методы исследования структуры поверхности.

4. Электронная Оже-спектроскопия.

5. Фотоэлектронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

6. Спектроскопия характеристических потерь энергии.

7. Растровая электронная микроскопия.

8. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.

#### **7. Функциональная электроника**

1. Магнетоэлектроника. Цилиндрические магнитные домены. Магнитные запоминающие устройства на ферритах и на тонких пленках.

2. Акустоэлектроника. Взаимодействие электронов с длинноволновыми акустическими колебаниями решетки, акустоэлектрический эффект, усиление ультразвуковых волн.

3. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах.

4. Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, диэлектрики, полупроводники) при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Высокотемпературная сверхпроводимость. Эффект Джозефсона.

### 3. Литература

1. Кельман В.М., Явор С.Я. Электронная оптика, Наука, Л., 1968, 486 с.
2. Голдстейн Дж. И др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ, кн. 1 и 2, Мир, 1984.
3. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии, М., Мир, 1985, 494 с.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники, Л., Энергоатомиздат, 1985.
5. Добрецов Л.Н., Гомаюнова М.В. Эмиссионная электроника, М., Наука, 1966.
6. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц, М., Мир, 1984, 432 с.
7. Рухадзе А.А. и др. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков, М., Атомиздат, 1980.
8. Маршалл Т. Лазеры на свободных электронах, М., Мир, 1987, 238 с.
9. Кузелев М.В., Рухадзе А.А. Вынужденное излучение сильноточных релятивистских электронных пучков. УФН, 1987, т.152, вып.2, 285-316 с.
10. Епифанов Е.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника, М., Высшая школа, 1986, 303 с.
11. Гусева М.Б., Дубинина Е.М. Физические основы твердотельной электроники, М., МГУ, 1986, 311 с.
12. Аморфные полупроводники. Под ред. М. Бродски, М., Мир, 1982.
13. Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках, М., Мир, 1972, 435 с.
14. Палатник Л.С., Папилов И.И. Эпитаксиальные пленки, М., Наука, 1971, 480 с.
15. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах, М., Мир, 1973.
16. Методы анализа поверхности. Под ред. Зандерны А., М., Мир, 1979, гл.3,4,5.
17. Афанасьев В.П., Явор С.Я. Электростатические энергоанализаторы для пучков заряженных частиц, Наука, 1978.
18. Электронная и ионная спектроскопия твердого тела. Под. Ред. Фирменса Л., М., Мир, 1981.
19. Анализ поверхности методами Оже и РФЭС. Под ред. Бригса А. И Сиха М.В., м., Мир, 1987.
20. Бинниг Г., Рорер Г. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности, УФН. 1988, т.154, вып.
21. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Физические основы конструирования и технологии РЭА и ВЭА, М., Советское радио, 1979, 352 с.
22. Ван Дузер Т., Тренер Ч.У. Физические основы сверхпроводящих устройств и цепей, М., Радио и связь, 1984.
23. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость позавчера, вчера, сегодня, завтра. Успехи физических наук, т. 170, с. 619-630 (2000).
24. Максомов Е.Г. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние. Успехи физических наук, т. 170, с. 1033-1061 (2000).
25. Шмидт. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ. МНО. Москва, 2000.

Составитель:

д.ф.-м.н., с.н.с.



И. В. Пегель