



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ИСТОК» ИМЕНИ А.И.ШОКИНА»
(АО «НПП «Исток» им. Шокина)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора -
директор по научной работе

_____ С.В. Щербаков
« ____ » _____ 2022 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность

**2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники,
квантовых устройств**

Фрязино 2022

1. Форма проведения и структура вступительного испытания

Форма проведения испытания: устная. Язык - русский. Вступительное испытание проводится по билетам.

1-й и 2-й вопросы билета - вопросы, оценивающие подготовку по теоретическим основам электронной компонентной базы микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств;

3-й вопрос билета - собеседование по предполагаемой теме диссертационного исследования.

Время подготовки к устному ответу - до 45 минут. Вступительное испытание оформляется протоколом, в котором фиксируются вопросы к поступающему.

2. Перечень вопросов, оценивающих теоретическую подготовку (1-й и 2-й вопросы билета)

Физика полупроводников

Природа химической связи в полупроводниках. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Кристаллические дефекты и их влияние на свойства твердых тел. Колебания кристаллической решетки, акустические и оптические фотоны. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs, Ge.

Зонная теория твердого тела. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Эффективная масса электрона. Собственные и примесные полупроводники. Роль донорных и акцепторных примесей. Уровень Ферми. Функция распределения Ферми-Дирака. Распределение Больцмана. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле.

Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный (p-n) переход. Энергетическая диаграмма. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика p-n-перехода. Емкость электронно-дырочного перехода. Пробой p-n-перехода: тепловой, лавинный, туннельный. Частотные и импульсные свойства.

Гетеропереходы, их свойства. Алгоритмы построения зонных диаграмм для слоистых структур из материалов с различной шириной запрещенной зоны и работой выхода.

Волновая функция и уравнение Шредингера. Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Варизонные структуры. Квантовокаскадные лазеры на наноразмерных

полупроводниковых технологиях.

Контакт металл-полупроводник. Омический и выпрямляющий переходы Шоттки. Эффект Холла. Поверхностные состояния.

Эффекты излучения в полупроводниках. Прямые и непрямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо- и фотолюминесценция. Поглощение излучения в полупроводниках. Собственное и примесное поглощение излучения.

Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Поверхностные акустические волны.

Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Эффект Ганна.

Электромагнитная природа света. Система уравнений Максвелла. Основные свойства электромагнитных волн. Поперечность электромагнитных волн, поляризация, скорость распространения света. Отражение и преломление света диэлектриками. Формулы Френеля. Угол Брюстера. Явление полного внутреннего отражения. Отражение световых волн от поверхности металла. Понятие открытых и закрытых резонаторов для СВЧ и оптического диапазона.

Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Основные параметры и характеристики диодов. Эквивалентные схемы.

Выпрямительные диоды. Варикапы. Стабилитроны. Туннельные диоды. Лавинно-пролетные диоды. P-i-n-диоды. Диоды Шоттки. Диоды Ганна. Резонансно-туннельный диод. Особенности конструкций СВЧ-диодов.

Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Шумы в транзисторах. Особенности конструкции мощных биполярных транзисторов. СВЧ транзисторы. Гетеропереходный биполярный транзистор.

Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

Устройство и принцип действия полевого транзистора. Полевые транзисторы с p-n-переходом. Транзисторы с индуцированным и встроенным каналами. Транзистор с высокой подвижностью электронов.

Полупроводниковые интегральные схемы (ИС). Транзисторы и диоды в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. Пассивные компоненты интегральной схемотехники. Диффузионные конденсаторы. ТКЕ. Диффузионные резисторы. ТКС.

Цифровые и аналоговые ИС. ЦАП, АЦП. Операционные усилители, основные параметры. Компараторы. Полупроводниковые ЗУ и микропроцессоры.

Монолитные и гибридные СВЧ интегральные схемы. СВЧ малошумящие усилители, усилители мощности, фазовращатели, фазовые модуляторы, смесители, переключатели, аттенюаторы, микрополосковые СВЧ фильтры, СВЧ фильтры на диэлектрических резонаторах.

Приборы с зарядовой связью. Принцип действия, области применения. Магнитоэлектроника, криоэлектроника. Твердотельные датчики (общее представление).

Оптоэлектронные приборы. Назначение и области применения. Фотоприемники: фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы, лавинные

фотодиоды.

Приборы на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Возбуждение поверхностных волн. Полосковые фильтры и резонаторы на ПАВ.

Представления об элементной базе квантовых компьютеров – кубитах. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

Приборы радиофотоники и нанофотоники.

Твердотельные, полупроводниковые, газовые лазеры. Светоизлучающие и суперлюминесцентные диоды. Методы управления излучением лазеров. Преобразование частоты излучения.

Моделирование как основа проектирования приборов твердотельной электроники. Системы моделирования и автоматизированного проектирования (общее представление). Методики построения физических и математических моделей. Примеры моделей транзисторов, элементов микросхем.

Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем.

Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем.

Технологические процессы в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Определение кристаллографической ориентации полупроводников.

Методы выращивания кристаллов полупроводников из жидкой и газовой фаз: метод Чохральского, метод Степанова, зонная плавка, метод сублимации.

Планарная технология. Основные представления. Минимальный топологический размер (МТР) – основной показатель уровня технологии. Перспективы развития планарной технологии. Гибридная технология.

Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения.

Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев.

Методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-пучковая эпитаксия.

Методы жидкостного травления вещества. Электрохимическое травление. Ионно-плазменное травление.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания Si.

Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Фотолитография. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Методы зондовой нанолитографии.

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах. LTCC технология. Подложки для гибридных интегральных схем.

Методы измерения концентрации носителей заряда в полупроводнике. Оценка подвижности носителей заряда при измерении эффекта Холла.

3. Примерный перечень вопросов для подготовки к собеседованию по предполагаемой теме диссертационного исследования (3-й вопрос билета)

1. Обоснуйте выбор темы исследования.
2. Обоснуйте актуальность, научную новизну исследования.
3. Очертите область исследования, объект и предмет исследования.
4. Каковы основные цели и задачи исследования.
5. Обоснуйте, решались ли выбранные задачи ранее. Если решались, то, кем или какими научными школами, какие результаты были получены. Почему вы считаете, что остались «белые пятна» и именно Вы знаете, как их устранить.
6. Изложите собственное видение рассматриваемой проблемы и пути решения задачи (при этом отразите методологическую основу будущего исследования - какие конкретные методы и инструментальные средства из научного арсенала предполагается использовать при решении задачи).
7. Оцените состояние работы на сегодняшний день (уровень задела).
8. Обозначьте ожидаемые результаты исследования, их потенциальную востребованность и экономическую эффективность в случае практического использования.

4. Оценка уровня знаний (баллы)

Итоговая оценка выставляется по пятибалльной шкале. **Поступающие, получившие менее 4 баллов, к дальнейшему участию в конкурсе не допускаются.**

<i>Критерии оценивания</i>	<i>Баллы, оценка</i>
Ответы на поставленные вопросы полные и исчерпывающие, без замечаний; продемонстрировано глубокое знание теоретической части курса	5 (отлично)
Ответы полные, с незначительными ошибками, указывающие на наличие несистематичности либо пробелы в знаниях; если поступающий допускает неточности, то при помощи вспомогательных вопросов экзаменатора исправляет свои ошибки	4 (хорошо)
Ответы не полные, со значительными замечаниями, допущены существенные ошибки при ответе на вопросы членов экзаменационной комиссии	3 (удовлетворительно)
Поступающий показал существенные пробелы в знаниях основных положений теории, не ответил на ряд вопросов членов экзаменационной комиссии	2 (неудовлетворительно)

Библиографический список

1. Троян, П. Е. Твердотельная электроника: учебное пособие / П. Е. Троян. — Москва: ТУСУР, 2008. — 330 с.
2. Колосницын Б.С. Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы. Мн.: БГУИР, 2008. - 143 с.

3. Колосницын Б.С. Электронные приборы на основе полупроводниковых соединений. - Мн.: БГУИР, 2006 г. - 102 с.
4. Химическая обработка и технологии интегральных микросхем / В.П. Василевич, А.М. Кисель, А.Б. Медведева, В.И. Плебанович, Ю.А. Родионов. - Полоцк: ПГУ, 2001. - 260 с.
5. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А. Нанoeлектроника. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
6. Borisenko V.E., Ossicini S. What is What in the Nanoworld (Wiley-VCH, Weinheim, 2004).
7. Нелаев В.В., Стемпичкий В.Р. Учебное пособие «Технологическое проектирование интегральных схем. Программа SSUPREM IV». Мн. БГУИР. 2004. 102 с.
8. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Ревелева М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Ч.1. Технологические основы изготовления кремниевых интегральных микросхем и их моделирование. Под ред. Чаплыгина Ю.А. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
9. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г. Основы нанoeлектроники. - Новосибирск.: НГУ, 2000г.
10. Воробьев Л.С., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А., Шик А.Я. Оптические свойства наноструктур.- Санкт-Петербург.: Наука, 2001г.
11. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. - М. ЛБЗ. 2004.
12. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. - М., Наука, 1977.
13. Шалимова К.В. Физика полупроводников. - М., Энергия, 1976.
14. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов в 2-х книгах. - М., Мир, 1984.
15. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов. - М., Сов. радио. 1972.
16. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. - М., Сов. радио, 1980.
17. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. - М., Сов. радио, 1977.
18. Курносоев А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. -М., Высшая школа, 1979.
19. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. - М., Радио и связь, 1983.
20. Валиев К.А., Раков А.В. Физические основы субмикронной литографии. - М., Радио и связь, 1984.
21. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы, материалы, приборы, изготовление. - М., Мир, 1985.
22. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. - М., Мир, 1985.
23. Бургер Р., Донован Р. Окисление, диффузия, эпитаксия. - М., Мир, 1969.
24. Киреев В.Ю., Данилин Б.С., Кузнецов В.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление микроструктур. - М., Радио и связь, 1983.
25. Колосницын Б.С. Элементы интегральных схем. Физические основы. - Мн.: БГУИР, 2001. - 138 с.
26. Абрамов И.И. Лекции по моделированию интегральных схем. Москва - Ижевск: НИЦ РХД, 2005. - 152 с.

27. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. - М.: ЛБЗ, 2004.

Программа одобрена на заседании научно-экспертного совета (НЭС, секция НТС) АО «НПП «Исток» им. Шокина» (протокол ____ от «__» _____ 2022 г.)

Председатель НЭС, д.ф.-м.н., с.н.с.

_____ А.И. Панас