Принято на заседании
Ученого совета ИНМиН
протокол № 8-25 от 23.10.2025 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь

Москва 2025

СОДЕРЖАНИЕ

I. Пояснительная записка ……. 3
II. Содержание разделов …… 4
III. Рекомендуемая литература ……... 8

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель вступительного испытания – оценка уровня имеющихся у поступающих знаний и компетенций, необходимых для обучения в аспирантуре по группе научных специальностей 2.2 «Электроника, фотоника, приборостроение и связь».

Форма, продолжительность проведения вступительного испытания. Критерии оценивания

Минимальное количество баллов по результатам вступительных испытаний, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, составляет 40 баллов по всем условиям поступления.

Вступительное испытание состоит из двух частей: письменная часть и собеседование. Для прохождения вступительного испытания поступающий должен предоставить план-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо (1000–1500 слов), отражающее причины выбора НИТУ МИСИС и соответствующей программы подготовки. Без план-проспекта диссертационной работы и мотивационного письма поступающий до вступительного испытания не допускается. План-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо предоставляется экзаменационной комиссии до начала письменной части вступительного испытания.

Вступительное испытание оценивается по 100-балльной шкале.

Экзаменационный билет письменной части содержит пять вопросов, каждый из которых оценивается до 10 баллов. При неполном ответе или при наличии ошибок члены экзаменационной комиссии выставляют количество баллов пропорционально части правильного выполнения задания. Результатом оценивания является сумма баллов, полученных за правильные ответы на соответствующие вопросы письменной части экзамена. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на письменной части экзамена – 50.

Продолжительность письменного экзамена – 120 минут.

Собеседование проводится с ведущими учёными направления, которые оценивают мотивированность абитуриента и его план будущей работы. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на собеседовании – 50.

Перечень принадлежностей, которые поступающий имеет право пронести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: ручка, пишущая черными или синими чернилами.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ

1. Общие вопросы

Сравнительный анализ МДП- и биполярных транзисторов: быстродействие, потребляемая мощность, масштабируемость.

Влияние технологических допусков на параметры приборов: разброс пороговых напряжений, неравномерность легирования.

Тенденции развития полупроводниковой электроники: нанотранзисторы, 3D-интеграция, приборы на основе SiC и GaN.

Методы контроля качества: зондовая диагностика, рентгеновская дифракция, вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС).

Микро- и наноэлектроника: интегральные схемы, масштабирование.

2. Материалы для твердотельной электроники

Основные классы полупроводниковых материалов: элементы IV группы, соединения $A^{III}B^{V}$, $A^{II}B^{VI}$. Примеры и области применения.

Зонная структура полупроводников: ширина запрещённой зоны Eg, эффективные массы носителей, типы проводимости.

Легирование полупроводников: доноры и акцепторы, компенсация, распределение примесей.

Дефекты кристаллической решётки: точечные дефекты, дислокации, их влияние на электрофизические свойства.

Методы получения монокристаллов: метод Чохральского, зонная плавка, эпитаксия (газофазная, молекулярно-лучевая).

3. Технология приборов

Основные этапы технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов.

Фотолитография: принципы, фоторезисты, разрешение, методы экспонирования (контактная, проекционная).

Диффузия и ионная имплантация: механизмы внедрения примесей, профили распределения, активация.

Термическое окисление кремния: кинетика роста оксидного слоя, модели.

Методы нанесения тонких плёнок: вакуумное напыление, химическое осаждение из газовой фазы (CVD), атомно-слоевое осаждение.

4. Оборудование для производства полупроводниковых приборов

Вакуумные установки: типы насосов, требования к чистоте среды.

Оборудование для фотолитографии: степперы, сканеры, системы выравнивания.

Диффузионные и отжиговые печи: горизонтальные и вертикальные реакторы, контроль температуры.

Установки ионной имплантации: источники ионов, масс-сепараторы, сканирование пучка.

Оборудование для плазмохимического травления: реакторы с индуктивно-связанной плазмой (ICP), контроль селективности.

5. Технология производства приборов

Планарная технология: последовательность операций, маскирующие слои.

Изготовление омических и выпрямляющих контактов: выбор металлов, методы нанесения, термообработка.

Пассивация поверхности: роль диэлектрических покрытий (SiO2, Si3N4).

Разделение пластин на кристаллы: скрайбирование, лазерная резка, алмазное шлифование.

Корпусирование приборов: методы присоединения выводов (пайка, сварка), герметизация.

6. Полупроводниковые диоды

Физические основы p-n-перехода: обедненная область, барьерная ёмкость, ток насыщения.

Вольт-амперная характеристика диода: уравнение Шокли, влияние температуры.

Типы диодов: выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы, светодиоды.

Параметры диодов: максимальное обратное напряжение $U_{обр\ max}$, прямой ток $I_{пр}$, время восстановления $t_{восст}$.

Высоковольтные диоды: каскадные структуры, полевые ограничители.

7. Полевые транзисторы

Принцип действия МДП-транзистора: индуцированный канал, пороговое напряжение $U_{пор}$.

Выходные и передаточные характеристики МДП-транзистора: области отсечки, насыщения, линейная область.

Эффекты короткого канала: модуляция длины канала, субпороговая проводимость.

МОП-транзисторы с двойным затвором (FinFET, GAA): преимущества и технологические вызовы.

ПТШ (транзисторы на гетероструктурах): использование AlGaAs/GaAs, высокая подвижность электронов.

8. Биполярные транзисторы

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.

Варизонные полупроводники.

9. Свойства поверхности полупроводников

Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация.

Эффект поля.

Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.

10. Оптические явления в полупроводниках

Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига.

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. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана-Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна-Мандельштама).

Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.

Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса.

Эффект Бурштейна-Мосса.

Эффекты Фарадея и Фойгта.

11. Фотоэлектрические явления

Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость.

Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость.

Фоторазогрев носителей заряда.

Фотоэлектромагнитный эффект.

1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ЩукаА.А. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов.
Москва: Телеком, 2021.
2. ТрубочниковД.В. Основы физики полупроводников: учебное пособие.
Санкт-Петербург: Лань, 2019, 320с. ISBN978-5-8114-2678-1.
3. ИгнатовВ.Г. Полупроводниковая электроника: учебник для вузов,Москва: Юрайт, 2020, 416с. ISBN978-5-534-12345-6
4. Авеев А.Ю., ШалимоваК.В. Физика полупроводников: учебное пособие для вузов, Москва: Высшая школа, 2018 368с. ISBN978-5-06-006987-3.
5. СтаросельскийВ.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: уч бник, Москва: Издательство МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2022, 512с. ISBN978-5-7038-5764-2.
6. СмирновВ.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие.
Москва: Интеллект, 2021, 448с. ISBN978-5-91559-278-9.
7. ПасынковВ.В., ЧиркинЛ.К. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов.
9-е изд., перераб. и доп., Санкт-Петербург: Лань, 2024, 72с. ISBN978-5-8114-4123-5.
8. Тимофеев В.Б. Оптическая спектроскопия объёмных полупроводников и наноструктур: учебное пособие, Москва: Физматлит, 2015, 288с. ISBN978-5-9221-1632-0.
9. ШалимоваК.В. Физика полупроводников: учебник для вузов, 4-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2023, 368с. ISBN978-5-8114-1484-0.