

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Х.М. БЕРБЕКОВА»

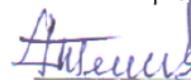
ПРОГРАММА

вступительных испытаний для поступающих в аспирантуру

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

**Направленность 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»**

Зав. кафедрой Э и ЦИТ

 Р.Ш. Тешев

Нальчик, 2021 г.

Введение

Вступительные испытания в аспирантуру по направленности 05.27.01 являются проверкой готовности будущих аспирантов к проведению теоретических и экспериментальных исследований в области твердотельной электроники, радиоэлектроники, микро- и наноэлектроники.

Цель вступительных испытаний заключается в определении уровня знаний, а также профессиональной компетентности и готовности будущего аспиранта (соискателя) к научно-исследовательской деятельности в области твердотельной электроники, радиоэлектроники, микро- и наноэлектроники. Программа вступительных испытаний предполагает наличие у будущего аспиранта (соискателя) базовых знаний в области общей физики, физики полупроводников, диэлектриков, физики полупроводниковых приборов, радиоэлектронных компонентов, наноструктурированных материалов, приборов на квантовых эффектах. В основу настоящей программы положены основные разделы твердотельной электроники, касающиеся основных физических проблем данной области.

1. Физика полупроводников

Природа химической связи в полупроводниках. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs, Ge.

Поликристаллические и амфорные полупроводники. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Эффективная масса электрона и дырки. Собственные и примесные полупроводники. Роль донорных и акцепторных примесей.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах. Температурные зависимости. Распределение Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники

Рекомбинация носителей. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни свободных носителей заряда. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Поведение свободных носителей заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Свободные носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

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

Электронно-дырочный переход (p-n). Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики p-n перехода. Токи носителей заряда в p-n-переходе, квазиуровни Ферми. Коэффициент инжекции. Генерация и рекомбинация носителей в p-n-переходе. Барьерная и диффузионная

ёмкость. Пробой р-n перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Гетеропереходы. Контакт металл-проводник. Омический и выпрямляющий переходы Шоттки.

Поверхностные состояния. Структуры металл-диэлектрик полупроводник (МДП). Полевой эффект в МДП-структурах.

Теплопроводность полупроводников. Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.

Поглощение излучения в полупроводниках. Прямые и не прямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекторная, катодо-фотолюминесценция. Электролюминесценция порошковых и пленочных полупроводников Основные материалы оптоэлектроники: соединения A^3B^5 и A^2B^6 .

Электро-, магнито- и акустооптические эффекты в твердых телах.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы. Импульсные и частотные свойства диодов. Выпрямительные и импульсные диоды. Диоды с накоплением заряда. Варикапы. Стабилитроны. Туннельные и обращенные диоды Лавинно-пролетные диоды. Диоды Шоттки. Диоды Ганна. Диоды для СВЧ. Биополярные транзисторы Структура и принцип действия. Распределение носителей в областях транзисторов. Эффект Эрли. Основные параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы и математические модели транзистора: модели Эберса-Молла, Линвилла, зарядовая. Импульсные и частотные свойства транзисторов. Работа транзистора при высоком уровне инжекции. Пробой транзистора и смыкание переходов. Шумы в транзисторах. Мощные транзисторы. СВЧ транзисторы. Тиристоры, принцип их действия и классификация. Основные параметры и характеристики. Полевые транзисторы МДП, с р-n переходом и с барьером Шоттки. Принцип действия.

Модуляция глубины канала. Основные параметры и характеристики полевых транзисторов. Эквивалентные схемы полевых транзисторов. Частотные и импульсные свойства полевых транзисторов. Шумы полевых транзисторов в диапазоне низких частот и на СВЧ. МДП транзисторы с индуцированным и встроенным каналами. МНОП-структуры. Интегральные микросхемы. Элементы ИС: транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы в составе ИС. Классификация ИС по конструктивно-технологическому и функциональному решению. Цифровые и аналоговые ИС. Полупроводниковые ЗУ и микропроцессоры. Биополярные ТТЛ, ЭСЛ и I^2L - схемы, МДП-ИС: с р- и п- каналами, К/МОП.

Приборы с зарядовой связью. Принцип действия, основные параметры и области применения. Оптоэлектронные приборы. Назначение и области применения. Фотоприемники: фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы, лавинные фотодиоды. Основные параметры и характеристики: фоточувствительность, обнаружительная способность, быстродействие. Солнечные батареи. Полупроводниковые излучатели: светодиоды и лазеры. Приборы для систем отображения информации. Оптроны и оптоэлектронные интегральные схемы.

Термоэлектрические и гальваномагнитные полупроводниковые приборы. Твердотельные датчики, включая микроэлектронные преобразователи информации. Акустоэлектроника, магнитоэлектроника, криоэлектроника (общее представление). Функциональная электроника.

3. Технологические процессы в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Определение кристаллографической ориентации полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка и полировка пластин. Станки для полировки полупроводника.

Химическое травление и химическая полировка германия, кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки. Пленарная технология. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных частных случаев диффузии. Практические методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей.

Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, их устранение. Конструктивные схемы основных типов оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

Эпитаксия. Практические методы эпитаксиального выращивания Si. Методы контроля эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок A^3B^5 . Оборудование для эпитаксиального наращивания пленок. Сравнение газотранспортной, жидкофазной и молекулярной эпитаксии.

Термическое окисление кремния в парах воды, в сухом и влажном кислороде; распыление и конденсация окислов кремния в вакууме; анодное окисление; химическое осаждение окисла из газовой фазы. Маскирующая способность пленок двуокиси кремния. Заряженные примеси в пленках, методы изменения заряда пленок. Пленки нитрида кремния.

Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

Основы конструирования структуры полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Изопланарная технология, эпоксид-процесс, технология "кремний на изоляторе". Структура и свойства элементов ИС.

Сборка и монтаж полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах

Тенденция развития планарной технологии Субмикронная технология.

4. Основы нанoeлектроники

Структура и физические свойства атомно-чистых поверхностей. Технология получения низкоразмерных пленок и структур. Эффекты размерного квантования, "двумерный электронный газ". Особенности механических, электрофизических и оптических свойств наноразмерных пленок. Понятие о квантовых ямах в слоистых структурах. Полупроводниковые сверхрешетки и их приборные применения. Понятие о квантовых нитях и квантовых точках и перспективах их практического использования. Способы получения и структура "пористых" слоев Si и GaAs. Особенности люминесценции в "пористых" полупроводниковых материалах. Рентгеновская и электронная литография наноразмерных элементов. Применения атомно-силового и сканирующего туннельного микроскопов для нанолитографии и прецизионного контроля наноразмерных структур.

5. Вопросы обеспечения качества и надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Организация контроля качества полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы измерения статических, динамических и импульсных параметров. Методы измерения шумовых характеристик полупроводниковых приборов. Методы контроля БИС и СБИС.

Виды производственных испытаний. Количественные характеристики надежности. Эксплуатационная надежность. Надежность элементов ИС. Классификация и основные виды отказов. Механизм отказов. Статистические и физические методы анализа и прогнозирования отказов. Методы повышения надежности полупроводниковых приборов и ИС. Действие радиации на полупроводниковые приборы и микросхемы.

Список рекомендуемой литературы

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. Высшее образование, Юрайт-Издат., 2009.
2. А.Н. Игнатов, Н.Е. Фадеева, В.Л. Савиных, и др. Классическая электроника и нанoeлектроника. – М., Флинта: Наука, 2009, 728 с.
3. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы. СПб. Лань, 2006. - 480 с.
4. Зи С.М. Физика в полупроводниковых приборах в 2-х книгах. -М., Мир, 1984 г., 964 с.
5. Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. – М., Бином, 2010, 392 с.
6. Г.И. Зебрев. Физические основы кремниевой нанoeлектроники. – М., МИФИ, 2008 г., 288 с.
7. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под ред. П.П. Мальцева – М., Техносфера, 2005, 590 с.
8. Р.Маллер, Т.Кейминс. Элементы интегральных схем. М., Мир, 1989, 630 с.
9. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. - М. Наука,

1977.

10. Шалимова К.В. Физика полупроводников. -М., Энергия. 1976.
11. .Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков. Полупроводниковые приборы, М., Энергоатомиздат 1990, 575 с.
12. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. -М.:Сов. Радио, 1980.
13. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. -М.: Сов. Радио, 1977.
14. Курносое А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. -М.: Радио и связь, 1983.
15. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. -М: Радио и связь. 1983.
16. Валиев К.А., Раков А.В. Физические основы субмикронной литографии. -М: Радио и связь, 1984.
17. Ю.Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные микросхемы, материалы, приборы, изготовление. -М: Мир, 1985.
18. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии –М Мир, 1985.
19. Бургер Р., Донован Р. Окисление, диффузия, эпитаксия -М Мио 1969.
20. Киреев В.Д., Данилин Б.С., Кузнецов В.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление микроструктур. -М: Радио и связь, 1983.
21. Пономарев М.Ф., Коноплев Б.Г. Конструирование и расчет микросхем и микропроцессов. -М: Радио и связь, 1986, 175с.
22. Сугано Т., Икома Т., Такаэси Е. Введение в микроэлектронику -М Мир, 1988, 320с.
23. International conference on the physics of semiconductor, Seoul, Korea, 2010. J.Appl.Phys. 109,102301 (2011)
24. Mechanisms of boron diffusion in silicon and germanium. S.Mirabello, D.De Salvador, E.Napolitani, E.Bruno, F.Priolo. J.Appl.Phys. 113, 031101 (2013).
25. Schottky barriers in carbon nanotube-metal contacts. Johannes Svensson and Eleanor E.B.Campbell. J.Appl.Phys. 110, 111101 (2011).
26. ZnO Schottky barriers and Ohmic contacts. Leonard J.Brillson and Yicheng Lu. J.Appl.Phys. 109,121301 (2011).

Интернет ресурсы

1. Российская государственная библиотека <http://www/rsl.ru>
2. Российская национальная библиотека <http://www/nsl.ru>
3. Всероссийская государственная библиотека иностранной литературы им М.И. Рудомино <http://www/libfl.ru>
4. Библиотека Академии наук <http://www/rasl.ru>.
5. Библиотека РАН по естественным наукам <http://www/benran.ru>.
6. Государственная публичная научно-техническая библиотека <http://www/gpntb.ru>
7. Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения РАН <http://www/spsl.nsc.ru/>

8. Центральная научная библиотека Дальневосточного отделения РАН <http://lib.febras.ru>
9. Центральная научная библиотека Уральского отделения РАН <http://www.uran.ru>
10. Библиотека конгресса <http://www.los.gov/index.html>
11. Британская национальная библиотека <http://www.bl.uk>
12. Французская национальная библиотека <http://www.bnf.fr>.
13. Немецкая национальная библиотека <http://www.ddb.de>
14. Библиотечная сеть учреждений науки и образования RUSLANet <http://www.ruslan.ru:800/rus/rcls/resources>
15. Центральная городская универсальная библиотека им. В. Маяковского <http://www.pl.spb.ru>
16. Научная библиотека им. М. Горького Санкт-Петербургского Государственного университета (СПбГУ) <http://www.lib.pu.ru>
17. Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского Государственного Политехнического университета (СПбГПУ) <http://www.unilib.neva.ru/rus/lib/>
18. Электронные словари, Википедия, файл-сервер [RusMANUAL.RU](http://www.RusMANUAL.RU), <http://radiotehnika.com>, <http://nice/artip.ru/>, RadioSovet.ru, Radiolomaster, www.mirmr.net, RadioRadar и др., электронные библиотеки, поисковые машины.

Вопросы к вступительному экзамену

1. Вакуумный диод и триод. Основная формула и эквивалентная схема триода. Основные характеристики и параметры триода.
2. Элементы с тремя состояниями.
3. Собственные полупроводники. Статистика носителей заряда. Температурная зависимость уровня Ферми.
4. Функциональные элементы на МОП структурах
5. Особенности темнового, тлеющего, коронного и искрового разряда. Механизм образования и развития стримеров. Области применения газовых разрядов.
6. Аналоговые коммутаторы и компараторы.
7. Программируемые и непрограммируемые логические матрицы и микропроцессоры.
8. Вспомогательные элементы МДП ИС и логических ИС.
9. Элементы симметрии кристаллических многогранников: плоскость симметрии, ось симметрии, центр симметрии.
10. Проектирование полупроводниковых диодов
11. Диэлектрики в сильных электрических полях. Виды электрического пробоя. Понятие электрической прочности диэлектриков.
12. Базовые матричные кристаллы. Классификация БМК
13. Понятие фазового пространства. Плотность электронных состояний. Распределения Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана и основы их применения.
14. Способы отвода тепла в ИС.
15. Понятие фазы. Фазовая структура твердых тел. Фазовые диаграммы состояния.
16. ЭСЛИС
17. Зависимость магнитных свойств ферромагнетиков от внешних факторов.

Эффект Баркгаузена. Магнитная точка Кюри.

18. Элементы аналоговых ИС и их параметры.

19. Основные положения теории БКШ. Понятие туннельного контакта. Особенности ВАХ туннельных контактов - нормальный металл - сверхпроводник и сверхпроводник – сверхпроводник.

20. Тепловое сопротивление. Факторы, влияющие на величину теплового контактного сопротивления.

21. Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях. Полевые эффекты. Эффект Ганна и области применения

22. Функционально-интегрированные структуры ИС.

23. Типы фотоэлементов. Принцип работы фотоэлементов. Основные характеристики и параметры фотоэлементов.

24. Элементы ГИС

25. Проблема изоляции элементов ИС, сопоставление различных способов изоляции.

26. Модели электрофизических параметров

27. Оптические резонаторы. Модуляция добротности.

28. Управляющие вентили

29. Контакт металл-полупроводник: энергетические диаграммы, свойства и применение.

30. Конструирование конденсаторов на основе р-п переходов

31. Электропроводность полупроводников

32. И2Л - схемы

33. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

34. Базовые логические схемы на биполярных структурах

35. Эпитаксия. Методы эпитаксиального наращивания.

36. Тонкопленочные резисторы.

37. Методы изоляции элементов ИС.

38. Вентили с тремя состояниями.

39. Термоэлектрические явления в полупроводниках.

40. Самосовмещенные транзисторные структуры.