

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ПРОГРАММА
вступительных испытаний в магистратуру**

Направление подготовки
«Нанотехнологии и микросистемная техника»

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

Вступительные испытания проводятся в форме экзамена в объеме требований, установленных государственным образовательным стандартом к уровню подготовки бакалавра по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника», среди лиц, имеющих диплом бакалавра или дипломированного специалиста.

В соответствии с требованиями к освоению основной образовательной программы подготовки магистров в Таганрогском технологическом институте Южного федерального университета по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника» содержание программы вступительных испытаний определяется основными компетенциями бакалавров, специалистов и магистров смежных направлений и включает следующие разделы:

1. *Квантовая механика. Физика конденсированного состояния. Физические основы микросистемной техники.*
2. *Компоненты микросистемной техники.*
3. *Микросхемотехника.*
4. *Основы проектирования микросистем.*
5. *Физико-химия и материаловедение наноструктурированных материалов. Технология микросистем.*
6. *Экспериментальные методы исследования и метрология. Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов.*

Содержание программы

Раздел 1. Квантовая механика. Физика конденсированного состояния. Физические основы микросистемной техники

1. Математические основы квантовой механики. Операторы. Собственные функции и собственные числа оператора. Эрмитовы операторы. Ортогональность собственных функций эрмитова оператора и действительность его собственных чисел. Нормировка собственных функций эрмитова оператора. Полнота набора собственных функций. Дираковские обозначения.
2. Физические принципы квантовой механики. Волновые функции. Чистые и смешанные состояния. Физический смысл волновой функции. Принцип суперпозиции состояний. Среднее значение физической величины.
3. Конкретный вид квантовомеханических операторов. Операторы координаты и импульса микрочастицы. Оператор момента импульса микрочастицы. Оператор Гамильтона. Стационарное уравнение Шредингера. Перестановочное соотношение для операторов координаты и импульса. Условия возможности одновременного измерения разных механических величин. Коммутирующие операторы и их собственные функции.
4. Движение микрочастиц в потенциальных полях. Конечная потенциальная яма. Дискретный и непрерывный спектры значений энергии. Резонансы.

5. Вероятность прохождения микрочастицей потенциальной ямы конечной глубины.
6. Прохождение прямоугольного потенциального барьера. Коэффициент прозрачности потенциального барьера.
7. Конечный потенциальный барьер произвольной формы. Туннельный эффект. Физические явления, объясняемые туннелированием частиц.
8. Гармонический осциллятор. Четность. Решение задачи о гармоническом осцилляторе.
9. Движение в поле центральной силы. Операторы момента количества движения частицы Собственные функции и собственные числа оператора z-компоненты момента количества движения.
10. Собственные функции и собственные числа оператора квадрата момента количества движения. Пространственное квантование.
11. Движение в кулоновском поле. Спектр и волновые функции атома водорода. Движение электрона в одновалентных атомах.
12. Изменение состояния во времени. Нестационарное уравнение Шредингера. Вероятностная интерпретация временной волновой функции.
13. Теория возмущений. Постановка задачи теории возмущений. Возмущение в отсутствие вырождения. Простейшие приложения теории возмущений. Энергетический спектр и волновые функции частицы в одномерной потенциальной яме непрямоугольной формы.
14. Вариационный метод.
15. Трансляционная инвариантность в кристаллах. Векторы трансляции. Решетка Бравэ. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Возможные элементы симметрии решетки Бравэ. Сингонии.
16. Обратная решетка и ее свойства. Зоны Бриллюэна.
17. Колебания атомов кристаллической решетки (оптические и акустические). Малые колебания атомов около узлов кристаллической решетки. Одномерная атомная цепочка. Свойства закона дисперсии. Нормальные колебания.
18. Нормальные колебания в одномерной двухатомной цепочке. Свойства законов дисперсии для акустической и оптической ветвей.
19. Решение задачи о малых колебаниях решетки в общем случае. Определение числа акустических и оптических ветвей. Условие Борна-Кармана.
20. Полная энергия решеточного возбуждения кристалла. Понятие фононов.
21. Теплоемкость твердых тел.
22. Теплопроводность твердых тел.

23. Уравнение Шредингера в периодическом поле.
24. Электроны в кристалле. Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха. Блоховские функции.
25. Приближение сильной связи. Число веток закона дисперсии в приближении сильной связи.
26. Приближение слабой связи. Метод псевдопотенциала.
27. Зонная структура твердых тел (диэлектрики, полупроводники, металлы). Поверхность Ферми.
28. Распределение Ферми-Дирака. Электронные и дырочные состояния. Электронная теплоемкость кристаллов.
29. Электронная структура полупроводников. Эффективная масса. Донорные и акцепторные примеси.
30. Функция плотности состояний в системах различной размерности.
31. Носители заряда в твердых телах. Электроны и дырки. Эффективная масса носителей заряда в идеальной кристаллической решетке.
32. Электропроводность твердых тел. Температурная зависимость удельной электропроводности полупроводников и металлов.
33. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна.
34. Функция плотности энергетических состояний в полупроводниковых системах различной размерности. Концентрация электронов и дырок в зонах.
35. Собственные полупроводники. Условие электронейтральности, равновесная концентрация носителей заряда. Положение уровня Ферми.
36. Примесные полупроводники. Равновесная концентрация носителей заряда в области истощения примесных атомов. Условие вырождения. Положение уровня Ферми.
37. Процессы рекомбинации в полупроводниках. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация Шокли-Рида-Холла.
38. Генерация, время жизни свободных носителей заряда в полупроводниках.
39. Баланс носителей заряда в полупроводнике. Условие электронейтральности. Соотношения Эйнштейна.
40. Уравнение непрерывности с учетом дрейфового и диффузионного тока, генерации и рекомбинации носителей заряда.
41. Процессы переноса в твердых телах. Диффузия и теплоперенос. Фундаментальная система уравнений, описывающих поведение носителей заряда в полупроводниках.

42. Контакт металл-полупроводник, обедненный слой, контактная разность потенциалов. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки.
43. p-n-переход, обедненный слой, контактная разность потенциалов, вольт-амперная характеристика p-n-перехода.
44. Энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состояниях у барьера Шоттки, p-n-перехода и гетероперехода.
45. Кристаллическая решетка. Виды химической связи.
46. Модельное описание кристаллической решетки; символы узлов, рядов и плоскостей.
47. Анизотропия свойств кристаллов, их тензорное описание.
48. Термоэлектрические эффекты: эффект Томсона, эффект Зеебека, эффект Пельтье, пироэлектрический эффект.
49. Пьезоэлектрический эффект: прямой и обратный.
50. Магнитные эффекты: эффект Холла, магниторезистивный эффект.
51. Основные положения геометрической оптики: оптические константы, отражение и преломление света на границе раздела двух сред, явление полного внутреннего отражения.
52. Основные положения волновой оптики: интерференция и дифракция света, поляризация плоских волн.
53. Основные положения волновой оптики: распространение света в изотропных и анизотропных средах, двойное лучепреломление и фарадеевское вращение.
54. Эффект Доплера и эффект Физо.
55. Сверхпроводимость и эффект Мейснера.
56. Теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера.
57. Поляризуемость и электрические свойства.

Рекомендуемая литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М: Наука, 1983 г.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М: Наука, 1978.
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М. 1979.
4. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела. М: ВШ, 1997.
5. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. — М.: Энергия, 1973. — 608 с.
6. Епифанов Г. И. Физика твердого тела. — М.: Высшая школа, 1965. — 276 с.
7. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. — М.: Наука, 1977. — 678 с.

8. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. — М.: Высшая школа, 1991. — 240 с.
9. А. Н. Пихтин. Оптическая и квантовая электроника: Учеб. для вузов / А. Н. Пихтин.— М.: Высш. Шк., 2001.— 573 с.

Раздел 2. Компоненты микросистемной техники

1. Сенсоры: классификация, назначение, основные характеристики.
2. Пьезорезистивные чувствительные элементы: принцип работы, конструкция, математическая модель, достоинства и недостатки.
3. Пьезоэлектрические чувствительные элементы: принцип работы, конструкция, математическая модель, достоинства и недостатки.
4. Чувствительные элементы на поверхностных акустических волнах (ПАВ): принцип работы, конструкция, математическая модель, достоинства и недостатки.
5. Резонансные чувствительные элементы: принцип работы, конструкция, математическая модель, достоинства и недостатки.
6. Микромеханические сенсоры: давления и ускорения. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
7. Микромеханические сенсоры: микрогироскопы. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
8. Термоэлектрические сенсоры: терморезистивные, термоэлектрические. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
9. Термоэлектрические сенсоры: термомеханические, пьезоэлектрические преобразователи. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
10. Магнитоэлектрические сенсоры: магниторезисторы, магнитотранзисторы, датчики Холла. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
11. Химические сенсоры: электрохимические, термокаталитические, адсорбционные преобразователи. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
12. Химические сенсоры: электрохимические, термокаталитические, адсорбционные преобразователи. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
13. Датчики влажности. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
14. Актюаторы: классификация, назначение, основные характеристики.
15. Пьезоэлектрические актюаторы: принцип работы, конструкция, математическая модель, достоинства и недостатки.
16. Магнитострикционные актюаторы: принцип работы, конструкция, математическая модель, достоинства и недостатки.
17. Электрострикционные актюаторы: принцип работы, математическая модель, достоинства и недостатки.
18. Электростатические актюаторы: принцип работы, математическая модель, достоинства и недостатки.
19. Электромагнитные актюаторы: принцип работы, математическая модель, достоинства и недостатки.

20. Электродинамические актюаторы: принцип работы, математическая модель, достоинства и недостатки.
21. Электротермические актюаторы: принцип работы, математическая модель, достоинства и недостатки.
22. Оптоэлектромеханические микрокомпоненты: микромеханические зеркала и оптопереключатели. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
23. Электрооптические, магнитооптические и акустооптические модуляторы. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
24. Акустооптические дефлекторы. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
25. Тепловые и фотонные фотоприемники. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
26. Фотоэлектронные умножители. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
27. Фоторезисторы и фотодиоды. Принцип работы, конструкция, математическая модель.
28. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. p-i-n-фотодиоды. Принцип работы, конструкция, математическая модель.

Рекомендуемая литература:

1. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение.— М.: Техносфера, 2004.— 528 с.
2. Г. Виглеб. Датчики. Устройство и применение.— М.: Мир, 1989.— 196 с.
3. В. И. Ваганов. Интегральные тензопреобразователи.— М.: Энергоатомиздат, 1983.— 137 с.
4. Датчики тепловых физических и механических параметров: Справ. в 3-х т. / Под общ. ред. Контева Ю. Н.— М.: Радиотехника, 1998.— 459 с.
5. Механцев Е. Б., Лысенко И. Е. Физические основы микросистемной техники: Учебное пособие №3630.— Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.— 54 с.
6. Л. В. Соколов. Твердотельные микроприборы и микросистемы с интегрированными микромеханическими структурами // Зарубежная электронная техника, 1998.— №2.— С. 62-79.
7. К. Э. Петерсен. Кремний как механический материал // ТИИЭР, 1982.— Т.70. №5.— С.5-49.
8. И. М. Викулин, В. И. Стафеев. Полупроводниковые датчики.— М.: Сов. радио, 1975.— 104 с.
9. О. А. Агеев, В. М. Мамиконова, В. В. Петров, В. Н. Котов, О. Н. Негоденко. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин. Учебное пособие. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.— 153 с.
10. Е. П. Осадчий. Проектирование датчиков для измерения механических величин.— М.: Машиностроение, 1979.— 480 с.
11. Г. П. Балтес, Р. С. Попович. Интегральные полупроводниковые датчики магнитного поля // ТИИЭР, 1986.— т. 74, №8.— С. 60-90.

12. А. Н. Пихтин. Оптическая и квантовая электроника: Учеб. для вузов / А. Н. Пихтин.— М.: Высш. Шк., 2001.— 573 с.

Раздел 3. Микросхемотехника

1. Диодные логические элементы.
2. Транзисторно-транзисторная логика.
3. Транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки.
4. Интегральная инжекционная логика.
5. Эмиттерно-связанная логика.
6. Логика на комплементарных МОП-транзисторах.
7. Реализация третьего состояния в ТТЛ и КМОП микросхемах. Двунправленные шинные усилители.
8. Передаточная характеристика инвертора. Статические параметры логических элементов.
9. Динамические параметры логических элементов. Измерение среднего времени задержки распространения.
10. Аксиомы и теоремы булевой алгебры. Применение теоремы де-Моргана. Следствия из теорем.
11. Минтермы и макстермы. Представление функций в виде СДНФ и СКНФ. Нанесение минтермов на карты Вейча.
12. Свойства минтермов и макстермов. Методика нахождения СДНФ и СКНФ.
13. Упрощение булевых функций. Использование карт Вейча для упрощения функций.
14. Использование избыточных комбинаций для упрощения булевых выражений.
15. Карты Карно для двух, трех и четырех переменных. Примеры карты вхождений. Определение функций по картам Карно.
16. Синтез дешифраторов.
17. Синтез шифратора.
18. Синтез преобразователя двоичного кода в код Грея.
19. Преобразователь двоичного кода в код семисегментного индикатора.
20. Цифровой компаратор. Уравнения компаратора на равно, больше и меньше.
21. Синтез четырехходового мультиплексора.
22. Синтез сумматоров.
23. Однородный сумматор.
24. Состязания и ложные сигналы на выходе комбинационных схем.
25. Мажоритарные комбинационные цепи.
26. Составление таблицы состояний последовательностной схемы. Временная диаграмма.
27. Таблицы переходов. Использование карт минтермов для составления таблиц переходов.
28. Составление таблиц переходов по словесному описанию работы схемы. Сокращенная таблица переходов. Граф состояний.

29. Составление таблицы возбуждений.
30. Состязания в последовательных цепях.
31. Характеристические уравнения триггеров. Аппаратная реализация характеристических уравнений.
32. Прикладные уравнения цифровых структур.
33. Уравнения входов запоминающих элементов.
34. Составление разностных карт минтермов. Словарь с характеристическими базисами.
35. Синтез двоично-десятичного счетчика.
36. Синтез сдвигового регистра.
37. Синтез счетчика Джонсона.
38. Счетчики на основе регистров сдвига.
39. Регистр с параллельным вводом и параллельным выводом информации.
40. Обратная связь в усилителях.
41. Асимптотические диаграммы амплитудно-частотных характеристик усилительных схем.
42. Фазочастотные характеристики.
43. Определение устойчивости по асимптотическим характеристикам. Фазовый запас.
44. Микросхемотехника интегральных операционных усилителей.
45. Аппаратурные применения операционных усилителей.

Рекомендуемая литература:

1. Опадчий Ю. Ф., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника /Полный курс/: Учебник для вузов. Под ред. Глудкина О. П. — М.: Горячая линия — Телеком, 1999. — 768 с.
2. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники: Учебное пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1985. — 512 с.
3. Хоровец П. и Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ. В 3-х томах. М.: Мир, 1993. — 704 с.
4. Алексенко А. Г. Основы микросхемотехники. — М.: Юнимедиастайк, 2002. — 448 с.
5. Баранов С. И., Скляр В. А. Цифровые устройства на программируемых БИС с матричной структурой. — М.: Радио и связь, 1986. — 270 с.
6. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 528 с.

Раздел 4. Основы проектирования микросистем

1. Операции, процедуры и этапы проектирования.
2. Системы автоматизированного проектирования (САПР), виды обеспечения САПР. База знаний и банки данных.
3. Классы САПР. Универсальные САПР.
4. Состав и назначение программного комплекса ANSYS.
5. Режимы работы программного комплекса ANSYS. Основные стадии решения задач в программном комплексе ANSYS.

6. Состав и назначение программного пакета CoventorWare.
7. Особенности представления компонентов микросистем с помощью языка VHDL-AMS.
8. Система электромеханической аналогии «сила-напряжение».
9. Система электромеханической аналогии «сила-ток».
10. Электрическое моделирование механических систем. Масштабные коэффициенты. Индикаторы подобия.
11. Моделирование микросистем с электрическими полями: уравнение Пуассона, краевые задачи.
12. Типовые конструкции пьезоэлектрического и магнитострикционного микроактюаторов.
13. Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов: резисторы, конденсаторы, индуктивности.
14. Моделирование процесса диффузии, законы Фика.
15. Методы численного решения уравнений в частных производных.

Рекомендуемая литература:

1. Морозов К. К., Одинокое В. Г., Курейчик В. М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов.— М.: Радио и связь, 1983.— 280 с.
2. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламова. — М.: Сов. радио, 1980.— 480 с.
3. Бубенников А. Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем: Учеб. пособие для спец. «Физика и технология материалов и компонентов электронной техники». — М.: Высшая школа., 1989. — 320 с.
4. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство.— М.: Едиториал УРСС, 2003.— 272 с.
5. Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д. Г. Красковского.— М.: КомпьютерПресс, 2002.— 224 с.
6. Рындин Е. А., Коноплев Б. Г. Субмикронные интегральные схемы: элементная база и проектирование. — Таганрог: ТРТУ, 2001. — 147 с.
7. Рындин Е. А. Проектирование специализированных СБИС: Конспект лекций.— Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.— 112 с.
8. Лысенко И. Е., Рындин Е. А. Моделирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники с использованием языка VHDL-AMS: Руководство к лабораторной работе №3412.— Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.— 26 с.
9. Яблонский А. А., Норейко С. С. Курс теории колебаний: Учебное пособие.— СПб.: Изд-во «Лань», 2003.— 256 с.

Раздел 5. Физико-химия и материаловедение наноструктурированных материалов. Технология микросистем

1. Дефекты кристаллической решетки. Точечные и протяженные дефекты. Дефекты по Френкелю и по Шоттки. Типы дислокаций. Вектор Бюргерса.

2. Термодинамическое описание поверхности твердых тел. Свободная энергия Гиббса. Свободная энергия Гельмгольца. Химический потенциал. Энтропия.
3. Поверхностное натяжение. Анизотропия поверхностного натяжения. Поверхностная энергия.
4. Термодинамика поверхности: поверхностная энергия; поверхностное натяжение; формула Лапласа; смачивание поверхности.
5. Поверхностные процессы. Физическая и химическая адсорбция. Силы Ван дер Ваальса. Примесные атомы на поверхности.
6. Адсорбция: типы адсорбции; природа сил межмолекулярного взаимодействия; адсорбционное уравнение Гиббса; изотермы адсорбции.
7. Механизмы зарождения новой фазы на поверхности твердого тела: модели гомогенного и гетерогенного зародышеобразования.
8. Реальная поверхность твердых тел. Атомные и молекулярные орбитали. Гибридизация. Зонная электронная структура твердого тела.
9. Механизмы роста пленок на реальных подложках: зародышевый механизм, послойный механизм, спиральный механизм, эпитаксия.
10. Поверхность и поверхностные наноструктуры. Методы исследования поверхности. Процессы на поверхности и роль приповерхностных фаз в этих процессах. Десорбция.
11. Гетеродиффузия и формирование поверхностных фаз. Методы получения поверхностных наноструктур. Соадсорбция двух типов атомов и трехкомпонентные поверхностные фазы. Формирование двухкомпонентных и трехкомпонентных поверхностных фаз.
12. Какие изменения в фононном спектре кластера происходят при уменьшении его размера? Чем объясняется наличие переходного состояния жидкость – твердое тело для кластера.
13. Границы раздела. Граница раздела металл – полупроводник. Граница раздела диэлектрик – полупроводник.
14. Нанокластеры металлов. Основная изомерия малых металлических частиц. Кластерные соединения. Молекулярные кластеры. Особые свойства атомных кластеров. Методы получения кластеров труднолетучих соединений. Методы стабилизации нанообъектов.
15. Что такое фрактальный кластер? Модели формирования фрактальных кластеров.
16. Фуллерены: строение и номенклатура. Физические свойства. Химические свойства. Методы получения фуллеренов. Фуллереноподобные вещества. Чем объясняется строение и наличие определенного числа атомов в углеродных кластерах? Способы получения фуллеренов, их реакционная способность.
17. Что такое фуллериты и каковы их свойства? Строение простейших нанотрубок и наноконусов. Морфологические формы нитевидных углеродных наночастиц. Физические свойства углеродных нанотрубок. Методы синтеза углеродных нанотрубок и нановолокон.

18. Ультрадисперсные системы. Синтез и стабилизация наночастиц в растворах. Дисперсные системы. Методы нанодиспергирования компактного материала. Методы химической конденсации.
19. Коллоидные наноструктуры: золи, мицеллы, микроэмульсии.
20. Способы получения твердотельных нанокластеров и наноструктур. Изменение энергии Гиббса в процессе нуклеации и спекания кластеров.
21. Классификация материалов микросистемной техники.
22. Полупроводниковые соединения AIII BV.
23. Полупроводниковые соединения AII BVI и AIV BVI.
24. Пористый кремний. Метод получения. Электрохимические и химические реакции, протекающие при формировании пористого кремния. Структура и свойства пористого слоя. Чем можно объяснить люминесценцию пористого кремния? Области применения.
25. Классификация процессов микро- и нанотехнологии по физико-химической сущности: механический, термический, химический, корпускулярно-полевой; виду процесса: нанесение, удаление, модифицирование; характеру протекания процессов: тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный; способу активации: тепло, излучение, поле.
26. Чистые помещения: классификация производственных помещений по чистоте воздушной среды и микроклимату, источники загрязнений, способы обеспечения и поддержания чистоты.
27. Вакуум: глубина вакуума, средства откачки и методы контроля.
28. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение.
29. Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений.
30. Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев.
31. Шлифование и полирование пластин. Электрохимическая, ультразвуковая и электроэрозионная обработки. Механическое, лазерное и электронно-лучевое скрайбирование.
32. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления.
33. Ионно-плазменное травление: оборудование, методы и механизмы травления; ионно-лучевое, плазмохимическое, реактивное ионно-плазменное, ионно-химическое травление.
34. Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах. Электрохимическое окисление. Окисление и нитрирование в плазме.

35. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников.
36. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации.
37. Классификация базовых методов литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография.
38. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение.
39. Базовые технологические операции «поверхностной» микромеханики: избирательное жидкостное и газовое травление, комплиментарные материалы, «жертвенные» слои.
40. Жидкостное ориентационно-чувствительное травление, морфолого-топологические преобразования на основе анизотропии; электрохимическое травление, получение пористого кремния, «стоп»-слои.
41. Ионно-плазменная технология объемного формообразования: высокопроизводительное реактивное ионно-плазменное травление, маскирующие покрытия, уход геометрических размеров.
42. Механические технологии объемного формообразования: алмазное, электро-эрозионное и ультразвуковое микропрофилирование.
43. Базовые процессы LIGA-технологии, экспонирование синхротронным излучением, электрохимическое осаждение, гальванопластика, микропрессование.
44. Высокопроизводительная стекловолоконная технология трехмерного формообразования: формирование комплиментарного стекловолокна, перетяжка, утоньшение, растворение, резка.
45. Искусственная сборка и герметизация: монтаж кристаллов, термомеханическая совместимость кристалла и корпуса; термокомпрессия, сварка и пайка выводов; беспроволочный, объемный монтаж; корпусная и бескорпусная герметизация; сварка, пайка, обволакивание, заливка, прессование.
46. Естественная сборка: комплиментарные пары. термомеханическая и кристаллохимическая совместимости; процессы корпусирования и герметизации методами наращивания, сращивания; термо- и электродиффузия.

Рекомендуемая литература:

1. Суздальев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
2. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
3. Барыбин А. А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. – М.: Физматлит, 2006. – 424 с.

4. Стромберг А. Г., Семченко Д. П. Физическая химия. – М.: Высш. шк., 1988. – 496 с.
5. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение.— М.: Техносфера, 2004. — 528 с.
6. Чистяков Ю. Д., Райнова Ю. П. Физико-химические основы технологии микроэлектроники. М., Металлургия., 1979. — 408 с.
7. Пигучин И.Г., Таиров Ю. М. Техпология полупроводниковых приборов. М.: Высшая школа., 1984. — 287 с.
8. Аброян И. А., Андронов А. Н., Титов А. И.. Физические основы электронно-ионной технологии. М.: Высшая школа. — 1984. — 319 с.
9. Вендик С. Г., Горин Ю. Н., Попов В. Ф. Корпускулярно-фотонная технология. М.: Высшая школа., 1984. — 240 с.
10. Курносоев А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Высшая школа. — М.: Высш. шк., 1979. — 272 с.
11. Черняев В. Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА. М.: Высшая школа, 1987. — 374 с.
12. Коледов Л. А. Технология и конструирование микросхем, микропроцессоров и микросборок. Радио и связь, 1989. — 393 с.
13. Алехин А. П. Физико-химические основы субмикронной технологии. М.: МИФИ, 1996. — 394 с.
14. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
15. Зенгуил Э. Физика поверхности. М.: Мир, 1990.
16. Бехштетдт Ф., Эндерлайн Р., Поверхности и границы раздела полупроводников. М.: Мир. 1990.
17. Шаскольская М. П., Кристаллография М.: Высшая школа. 1976
18. Раков Э. Г. Нанотрубки и фуллерены. М.: Логос. 2008.
19. Таланов В. М. Ерейская Г. П. Юзюк Ю. И. Введение в химию и физику наноструктур и наноструктурированных материалов. Москва: Академия Естествознания. 2008.

**Раздел 6. Экспериментальные методы исследования и метрология.
Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов**

1. Измерения и их погрешности. Точность, сходимость, воспроизводимость. Характеристики случайных распределений.
2. Доверительная вероятность и доверительный интервал. Корректная статистическая обработка результатов количественных измерений.
3. Определение удельного сопротивления материалов двух и четырехзондовыми методами,
4. Определение удельного сопротивления материалов методом сопротивления растекания и методом Ван-дер-Пау.
5. Эффект Холла и магниторезистивный эффект.

6. Определение концентрации и подвижности носителей заряда методами, основанными на эффекте Холла.
7. Методы измерения дрейфовой подвижности неосновных носителей заряда.
8. Измерение времени жизни носителей заряда методом модуляции проводимости.
9. Емкостные методы определения параметров состояний на границе раздела структур
10. Емкостные методы определения параметров состояний в объеме материала.
11. Оптические методы определения параметров материалов и систем, характеризующих степень кристаллического совершенства: коэффициент диффузии, диффузионная длина (методы светового зонда и движущегося светового луча).
12. Оптические методы определения параметров материалов и систем, характеризующих степень кристаллического совершенства: скорость поверхностной рекомбинации, время жизни носителей заряда (методы светового зонда и движущегося светового луча).
13. Интерференция света. Порядок интерференционного экстремума. Расчет толщины слоев.
14. Оборудование для измерения толщины слоев методами интерферометрии. Интерферометр Майкельсона.
15. Основные уравнения эллипсометрии. Обратная задача эллипсометрии. Эллипсометры. Структура, характеристики, параметры. Разрешение.
16. Принципы работы сканирующего зондового микроскопа (СЗМ). Сканирующие элементы. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца.
17. Формирование и обработка СЗМ изображений. Нормирование изображения. Устранение искажений, фильтрация, усреднение. Методы восстановления поверхности по СЗМ изображению.
18. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Зонды для СТМ. Измерение работы выхода (ВАХ) в СТМ. Измерение ВАХ туннельного контакта.
19. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Основы АСМ. Зондовые датчики АСМ. Контактная АСМ. Колебательные методики АСМ.
20. Конфокальная оптическая микроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия.
21. Люминесцентная спектрофотометрия. Типы люминесценции. Происхождение флуоресценции и фосфоресценции. Релаксационные каналы возбужденного состояния. Стоксова и антистоксова люминесценция. Закон Стокса.
22. Рэлеевское и комбинационное рассеяние света. Упругое рассеяние света. Уравнение Рэля. Классическое объяснение комбинационного рассеяния света. Тензор поляризуемости.

23. Источники и приемники инфракрасного излучения. Схема двухлучевого спектрофотометра. Природа ИК спектров. Сравнение спектров ИК поглощения и комбинационного рассеяния.
24. Дифракция рентгеновских лучей. Уравнения Лауэ и закон Брэгга. Отражающая плоскость. Ограничивающая сфера и сфера отражения. Векторное представление закона Брэгга. Разрешенные и запрещенные дифракционные рефлекссы.
25. Геометрия Брэгга-Бретано. Порошковая дифракция. Факторы, определяющие интенсивность рефлекссов. Дифракция электронов.
26. Электронная микроскопия. Конструкция и характеристики основных блоков просвечивающего и растрового электронного микроскопа. Электромагнитная фокусировка.
27. Неупругое рассеяние и поглощение энергии в растровом микроскопе. Создание изображения характеристическим рентгеновским излучением. Вторичные электроны. Факторы, влияющие на вторичную эмиссию.

Рекомендуемая литература:

1. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение.— М.: Техносфера, 2004. — 528 с.
2. Пасынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. Учеб. для студ. вузов по спец. электронной техники. 3-е изд. — СПб.: Издательство «Лань», 2001. — 368 с.
3. В. В. Лучинин, Ю. М. Таиров, А. А. Васильев. Особенности материаловедческого и технологического базиса микросистем. Микросистемная техника, №1, 1999, С. 7-11.
4. Миронов В.А. Основы сканирующей зондовой микроскопии, М.: Техносфера, 2004.
5. Кларк Э. Р., Эберхардт К. Н. Микроскопические методы исследования материалов. М.: Техносфера, 2007. 376 с.
6. Пентин Ю. А., Курамшина Г. М.. Основы молекулярной спектроскопии. М. Мир БИНОМ 2008 г. 398 с.
7. Физические методы исследования неорганических веществ. Под. ред. А.Б. Никольского, М.: Академия, 2006. 444 с.
8. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера. 2004, 384 с.
9. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия для материаловедения. М.: Техносфера, 2005. 256 с.
10. Фельдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989, 342 стр.
11. Вудроф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989, 568 стр.
12. Основы аналитической электронной микроскопии. Под ред. Ж.Дж. Грена, Дж. Гольдштейна и др. М.: Металлургия, 1990, 583 стр.
13. Конников С. Г. Количественная растровая электронная микроскопия. Учебное пособие, СПб ГТУ, 1999

14. Рыков С. А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур. СПб.: Наука, 2000, 60 с.
15. Черепин В. Т. Ионный микрозондовый анализ. Киев: Наукова думка, 1992
16. Ведринский Р. В., Гегузин И. И. Рентгеновские спектры поглощения твердых тел. Москва: Энергоатомиздат, 1991, 184 стр.

Авторы

д.т.н., профессор С. П. Малюков

д.т.н., профессор О. А. Агеев

к.ф.-м.н., доцент Ю. И. Юзюк

Программа одобрена на заседании Ученого совета ФЭП
от 21.02.2011 года, протокол № 3.

Программа утверждена Ученым Советом физического факультета ЮФУ
30 ноября 2010 года. Протокол № 3.

«Согласовано»

Декан ФЭП

д.т.н., профессор Б. Г. Коноплев

Декан ФизФ

д.ф.-м.н., профессор В. С. Малышевский