

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИСВЧПЭ РАН)

УТВЕРЖДЕНО
Решением Ученого совета
ИСВЧПЭ РАН
от 31 июля 2017 г. протокол №9
Директор С.А. Гамкрелидзе



**ПРОГРАММА
вступительного экзамена
в аспирантуру
для поступающих
на направление подготовки
11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи
по специальности**

ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру
для поступающих на направление подготовки
11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи
по специальности

1. Классификация веществ по удельной электрической проводимости: диэлектрики, полупроводники, металлы. Кристаллические структуры германия и кремния, полупроводниковых соединений 3-5 групп Периодической системы Д.И. Менделеева (включая нитриды элементов 3 группы), а также основных политипов карбида кремния. Модельные представления о механизме электропроводности собственных и примесных полупроводников.

2. Основы зонной теории полупроводников. Приближение сильно связанных электронов. Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазимпульс. Зоны Бриллюэна. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны. Зонная структура германия, кремния, арсенида галлия, арсенида алюминия, нитрида галлия, нитрида алюминия.

3. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителей заряда. Элементарная теория примесных состояний.

4. Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда. Диффузия и дрейф носителей заряда. Подвижность и коэффициент диффузии, время жизни и диффузационная длина.

5. Дефекты кристаллической решётки. Точечные дефекты замещения и внедрения. Дислокации. Возникновение дислокаций несоответствия в эпитаксиальных гетероструктурах. Изоморфные, псевдоморфные и метаморфные гетероструктуры.

6. Гетеропереходы. Применение гетеропереходов для создания квантово-размерных структур. Эффекты размерного квантования в классических и квантовых сверхрешетках. Двумерные системы. Двумерные подзоны. Плотность состояний в двумерной системе. Транспорт в двумерных системах. Эффект Штарка и поляризация квантовых состояний. Квантовый эффект Холла.

7. Квантовые проволоки. Одномерные подзоны. Плотность состояний в одномерной системе. Проводимость одномерной системы. Квантовые точки. Оптикаnanoструктур. Межзонное и внутризонное поглощение света в твердых телах. Межзонное и межподзонное поглощение в nanoструктурах. Правила отбора.

8. Графен. Перспективы применения в полупроводниковой электронике.

9. Молекулярно-лучевая эпитаксия как основной метод получения квантово-размерных структур. Оборудование. Молекулярно-лучевая эпитаксия арсенидов элементов 3 группы. Особенности молекулярно-лучевой эпитаксии нитридов элементов 3 группы.

10. Электронно-дырочный переход в термодинамическом равновесии, при прямом и обратном включении. Зонная диаграмма. Область объёмного заряда при изменении величины и знака напряжения на переходе. Поверхностные эффекты. Виды пробоя. Вольтамперная характеристика перехода. Ток насыщения.

11. Диоды с барьером Шоттки. Энергетическая диаграмма контакта металл-полупроводник. Особенности барьера Шоттки в полупроводниковых соединениях 3-5 групп Периодической системы Д.И. Менделеева. Вольт - амперная характеристика барьера Шоттки. Омические контакты к полупроводникам.

12. Диод на переменном токе. Барьерная и диффузионная емкости. Импульсные характеристики и быстродействие диодов. Диоды с накоплением заряда. Емкостная спектроскопия глубоких уровней.

13. Полупроводниковые СВЧ диоды. Диоды Ганна. Лавинно - пролетные диоды. Инжекционно - пролетные диоды. Туннельные диоды. Обращенные диоды. Туннельно-резонансные диоды.

14. Принцип работы биполярного транзистора. Биполярный транзистор в термодинамическом равновесии и при подаче напряжений на эмиттер и коллектор. Зонная диаграмма. Четыре вида токов через переходы. Коэффициенты инжекции и переноса заряда в базе с учётом рекомбинации, коэффициент передачи тока от эмиттера к коллектору. Сопротивление базы и ёмкость коллектора. Проблема "частота - мощность". Эквивалентная схема малого сигнала. Частотные ограничения.

15. Гетеропереходы и транзисторы с гетеропереходами: биполярные транзисторы с широкозонным эмиттером и "суперинжекцией".

16. Структуры "металл - диэлектрик - полупроводник" (МДП) и МДП - транзисторы. Граница раздела диэлектрик-полупроводник: поверхностные состояния на границе раздела, фиксированный и подвижный заряды. Метод вольт-фарадных характеристик: квазистатический и высокочастотный методы, оценка качества границы раздела. Индуцированный и встроенный каналы - нормально открытые и нормально закрытые транзисторы в качестве ключей. КМОП - транзисторы. Степень легирования области канала, подвижность и пролётное время. Частотные ограничения.

17. Полевой транзистор. Принцип работы, вольт - амперные характеристики, эквивалентная схема малого сигнала.

18. Модуляционно - легированные гетеропереходы с двумерным электронным газом. Полевые транзисторы на гетероструктурах с двумерным электронным газом - НЕМТ (High Electron Mobility Transistor) - транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале. Короткоканальные эффекты. Быстродействие и частотные характеристики НЕМТ - транзисторов. Сравнение характеристик НЕМТ - транзисторов на гетероструктурах арсенидов и нитридов элементов 3 группы.

19. Описание многополюсника $Y Z S$ матрицами. Назначение и построение согласующей цепи. Длинная линия: математическое описание, параметры, согласование с источником и нагрузкой. Типы линий, применяемых в СВЧ интегральных схемах. Шлейф: математическое описание, характеристики. Резонатор.

20. Описание параллельного, последовательного и каскадного соединения четырехполюсников $Y Z S$ матрицами. Понятие о математических методах описания произвольного соединения многополюсников.

21. Диаграмма Смита. Применение для согласования источника и нагрузки.

22. Анализ усилительного каскада с резистивной нагрузкой по вольт-амперным характеристикам транзистора. Типы усилительных каскадов — А, В, С, F. Определение оптимальных импедансов усилительного каскада по Y параметрам транзистора.

23. Обобщенные S -параметры Применения для синтеза усилительного каскада (определение оптимальных импедансов).

24. Типы усилителей- двухтактный, балансный. Пассивные устройства, необходимые для реализации данных усилителей: фазорасщепитель (balun), квадратурный мост. Распределенный усилитель, каскод, смеситель.

25. Количественные понятия СВЧ техники. Коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны; типы коэффициентов усиления усилительного каскада. Определение величины мощности, рассеиваемой в двухполюснике и ее применение для оценки энергетической эффективности усилительного каскада. КПД усилительного каскада. Коэффициент устойчивости транзистора. Частотная зависимость потенциально достижимого коэффициента усиления. Метод расчета. Характеристические частоты предельного усиления.

26. Шум: типы, источники шума в СВЧ усилительных цепях. Определение коэффициента шума усилителя. Методики измерения коэффициента шума.

27. Измерение S параметров. Краткое описание прибора. Калибровка коаксиального измерительного тракта. Задачи и суть операции deembedding. Зондовые измерения: типы и конструкции зондов, калибровка зондового тракта.

28. САПР - моделирование СВЧ интегральных схем в шлейфовом, электродинамическом приближении. Построение линейной малосигнальной эквивалентной схемы на основе S-параметров.

29. Микроэлектромеханические системы. Принципы конструирования и технологии.

30. Фотолитография в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Критерии применимости фоторезистов. Фотошаблоны и способы их получения. Изготовление фотошаблонов. Контактная фотолитография. Проекционная оптическая фотолитография.

31. Применение электронно-лучевой литографии для формирования Т - образных затворов полевых транзисторов. Многослойная система резистов.

32. Технологические особенности термического испарения металлов. Катодное распыление. Магнетронное распыление. Изготовление межэлементных соединений и контактов. Пассивные элементы интегральных микросхем. Методы контроля тонких пленок.

33. Процессы травления: физико-химические основы плазменной обработки, методы плазменного травления, факторы, определяющие скорость и селективность травления, процессы сухого травления в технологии монолитных интегральных схем.

34. Основные конструкции и сборочные операции в производстве изделий электронной техники.

35. Заводы по производству монолитных интегральных схем (фабы). Общие принципы функционирования линий по производству монолитных интегральных схем. Чистые комнаты и оборудование. Кластерные технологические системы.

36. Вопросы качества изделий полупроводниковой электроники. Важнейшие показатели качества: технические характеристики, надёжность и экономические показатели. Надёжность: основные определения. Интенсивность отказов и наработка на отказ. Безотказность и долговечность.

37. Категории испытаний: классификационные, приёмо-сдаточные, периодические и определительные. Испытания стопроцентные и выборочные. Определение объёмов выборки. Риск изготовителя и риск потребителя.

38. Основные экономические показатели: процент выхода годных, себестоимость и её состав, зависимость себестоимости от объёмов производства. Трудоёмкость групповых (на пластине) и индивидуальных (сборка, герметизация, финишный контроль) технологических процессов изготовления монолитных интегральных схем.

Литература:

1. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников, пер. с англ., М., Физматлит, 2002 г., 560 е.;
2. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков, М., изд. МИСИС, 2003 г., 480 е.;
3. Шик А .Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем, СПб., Наука, 2001г., 155 е.;
4. Лебедев А.И.. Физика полупроводниковых приборов. М., Физматлит, 2008, 488 е.;
5. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники, изд. НГТУ, Новосибирск, 2004 г., 340 е.;
6. Щука А.А. Наноэлектроника, М.: Физматлит, 2007 г., 464 е.;
7. Баскаков С.И. Лекции по теории цепей М. Либроком, 2008 г., 278 е.;
8. Галперин В.А., Данилкин Е.В., Мочалов А.И. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях. Учебное пособие, М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 г., 283 е.;
9. Моро У. Микролитография: В 2-х ч.: Пер. с англ.- М.: Мир, 1990 г., 605 е.;
10. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.-М.: Высш. шк., 1986 г., 386 е.;
11. Старостин В.В Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие, М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 г., 277 е.;
12. Громов Д. Г., Мочалов А. И., Сулимин А. Д., Шевяков В. И Металлизация ультраболььших интегральных схем: учебное пособие, М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с.