



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский технологический университет»

МИРЭА



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

 В.Л. Панков

» марта 2018 г.

Программа вступительного экзамена

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки

11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи»

Направленность (научная специальность)

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

Форма обучения – очная, заочная

Москва, 2018

Полупроводниковая электроника. Первые эффекты на полупроводниках: отрицательный температурный коэффициент, эффект выпрямления, эффекты Зеебека и Пельтье, фотопроводимость. Роль отечественных учёных в развитии теории полупроводников и полупроводниковой электроники.

Электронные полупроводники. Германий и кремний. Кристаллическая структура, кристаллографические плоскости и оси. Дефекты кристаллической решётки. Методы очистки, выращивания монокристаллов и легирования. Полупроводниковые двойные и тройные соединения. Соединения "германий - кремний".

3. Электропроводность полупроводников. Генерация и рекомбинация. Доноры и акцепторы. Основные и неосновные носители подвижного заряда. Диффузия и дрейф носителей заряда. Основные параметры: ширина запрещённой зоны, подвижность и коэффициент диффузии, время жизни и диффузионная длина. Зонная диаграмма. Двухдолинные полупроводники.

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.

Диоды и их разновидности. Выпрямительные диоды, СВЧ - детекторы, фотодиоды, варикапы, стабилитроны, туннельные диоды, ла- винно-пролётные диоды, диоды с барьером Шотки, диоды Ганна. Основные функции и области применения.

Биполярный транзистор в термодинамическом равновесии и при подаче напряжений на эмиттер и коллектор. Зонная диаграмма. Четыре вида токов через переходы. Понятия коэффициента инжекции, коэффициента переноса заряда в базе с учётом рекомбинации, коэффициента передачи тока от эмиттера к коллектору. Усиление по току. Модель реального транзистора. Сопротивление базы и ёмкость коллектора. Проблема "частота - мощность". Частотные ограничения и оттеснение тока эмиттера к периферии. Отвод тепла.

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 отпертые и нормально запертые транзисторы в качестве ключей. Основные вентили - функции булевой алгебры. КМОП - транзисторы. Степень легирования области канала, подвижность и пролётное время. Частотные ограничения. Приборы с зарядовой связью.

Гетеропереходы и транзисторы с гетеропереходами: биполярные транзисторы с широкозонным эмиттером и "супреинжекцией" и полевые (МДП) транзисторы с каналом в области двумерного электронного газа - ДЭГ - транзисторы с модулированной проводимостью канала или НЕМТ - High Electron Mobility Transistor - транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале.

Интегральная электроника. Пути развития, современное состояние и перспективы. Факторы, стимулирующие постоянный рост степени интеграции: быстродействие, надёжность, экономика. Системы автоматизированного проектирования - САПР. Иерархические уровни проектирования. Использование при проектировании "стандартных элементов". Верификация. Система тестов. Отставание темпов проектирования от темпов роста степени интеграции. Базовые матричные кристаллы (БМК) и вентиляльные матрицы (ВМ) как средство ускорения темпов проектирования. Число уровней разводки и процент используемых вентилялей. Закон Вейбула и закон Пуассона. Понятие о производственной и эксплуатационной надёжности.

Основные тенденции развития микроэлектронного производства. Перспективные планы развития микроэлектроники. Взаимное влияние экономики и производства изделий микроэлектронной техники. Тенденции развития заводов по производству ИС. Критические процессы технологического цикла производства ИС.

Проблемы уменьшения размеров транзисторных элементов. Повышение подвижности носителей заряда в канале. Уменьшение эквивалентной толщины оксида подзатворного диэлектрика. Диэлектрики с высокой диэлектрической проницаемостью.

Планарная технология и её элементы - технологические процессы: эпитаксия, диффузия и ионная имплантация, нанесение изолирующих и проводящих плёнок, фотолитография.

Рост кристаллов и подготовка подложек: выращивание кристаллов по методу Чохральского, технология механической обработки полупроводников, технология химической очистки поверхности полупроводниковых материалов.

Эпитаксиальные процессы: эпитаксия из газовой фазы, молекулярно-лучевая эпитаксия, КНС (кремний на сапфире)-технология, КНИ (кремний на изоляторе)-технология.

Систематизация и технологические основы процессов окисления и нанесения защитных покрытий: механизм роста и кинетика окисления, методы окисления и оборудование, свойства окисных пленок, граница раздела окисел-кремний.

Метод химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ). Механизмы формирования тонких пленок методом ХОГФ. Основные задачи методов осаждения: рост сверхтонких слоев, снижение температурного бюджета, осаждение на рельефы с высоким аспектным соотношением. Основные типы реакторов. Кинетика процесса осаждения. Режим ограничения массопереноса, контроль химической реакции на поверхности. Процессы ХОГФ пленок диоксида кремния. Процессы ХОГФ пленок нитрида и оксинитрида кремния. Осаждение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью. Процессы ХОГФ слоев с низкой диэлектрической проницаемостью.

Многоуровневые системы металлизации ИС. Основные тенденции развития. Переход к медным проводникам. Уменьшение диэлектрической проницаемости изолирующего диэлектрика. Процесс заполнения металлического рельефа диэлектриком.

Основные виды процессов легирования: диффузия, ионная имплантация, комбинированные способы легирования.

Процессы литографирования технологических слоев: процесс литографии, оптическая литография, фоторезисты, другие методы литографии, состояние и перспективы развития технологии литографии.

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

Методы осаждения атомарных слоев. Механизмы роста. Области применения, перспективы и тенденции развития. Методы химического осаждения из растворов.

Основные конструкции и сборочные операции в производстве изделий электронной техники.

Заводы по производству ИС (фабы). Общие принципы функционирования линий по производству ИС. Чистые комнаты и оборудование. Кластерные технологические системы. Процент выхода годных.

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. Проблемы "износа" элементов интегральных схем при высоких уровнях интеграции. Срок службы как интервал времени до "наступления предельного состояния" - "износа".

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

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 ИС. Пять фаз в цикле существования изделия на рынке.

Микроэлектромеханические системы. Принципы конструирования и технологии.

Нанoeлектроника. Содержание, состояние и перспективы развития и использования.

Основная литература

1. Киреев П.С. Физика полупроводников. М. Высшая школа, 1975. - 584 с.
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М. Наука, 1978. - 616 с.
3. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Пер. с англ. - М.: Мир, 1984.-456 с.
4. Технология СБИС: В 2-х кн. Пер. с англ./Под ред. С.Зи.-М.: Мир, 1986.-404 с.

5. Сугано Т., Икома Т., Такэиси Ё. Введение в микроэлектронику: Пер. с яп.-М.: Мир, 1988.-320 с.
6. Автоматизация технологического оборудования микроэлектроники/ Под ред. А.А.Сазонова.-М.: Высш. шк., 1991.-334 с.
7. Таруи Я. Основы технологии СБИС: Пер. с япон.-М.:Радио и связь, 1985.-480 с.
8. Моро У. Микролитография: В 2-х ч.: Пер. с англ.- М.: Мир, 1990.-605 с.
9. Курносков А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.-М.: Высш. шк., 1986. - 386 с.
10. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие, 2 изд. // Старостин В.В. - Бином, 2010. - 277 с.
11. Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology / ed. by Yoshio Nishi, Robert Daerling. - Marcel Dekker. 2000.
12. Металлизация ультрабольших интегральных схем: учебное пособие // Громов Д. Г., Мочалов А. И., Сулимин А. Д., Шевяков В. И. - Бином, 2009. - 277 с.
13. Основы микроэлектроники // В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин, изд. НГТУ, Новосибирск, 2004.
14. Система кремний-диоксид кремния субмикронных СБИС// Г. Я. Красников, Н. А. Зайцев, Техносфера, 2003.
15. Наноструктурные материалы // Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля, Академия, 2005.
16. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике // Под ред. А.Л.Асеева, изд. СО РАН, Новосибирск, 2004.
17. Щука А. А. Микроэлектроника. - М.: Физматкнига, 2007. - 464 с.
18. программное обеспечение и Интернет-ресурсы:
19. Перспективный план развития отрасли - The International Technology Roadmap for Semiconductors (<http://public.itrs.net>)
20. Основные информационные ресурсы отрасли:
21. Отраслевые журналы Semiconductor International (<http://www.reedbusinessinformation.com>), Solid State Technology
22. (<http://www.reedbusinessinformation.com>), журнал Elsevier, посвященный разработкам в области материаловедения - Materials Today (<http://www.materialstoday.com/>).
23. Основной ресурс индустрии: www.semiconductor.net:
24. Группа ведущих компаний- производителей полупроводниковых устройств: www.semtech.org.

Директор
Физико-технологического института

В.В. Кузнецов