



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский технологический университет»  
**МИРЭА**



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

В.Л. Панков

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)

**05.27.06 «Технологии и оборудование для производства  
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»**

Форма обучения – очная, заочная

Москва, 2018

## **1. Материаловедение полупроводников и материалов электронной техники.**

1. Взаимосвязь "состав - структура - свойство" в твердых телах. Корреляция типа химической связи и кристаллической структуры, типа химической связи и зонной структуры материала. Основные отличия в свойствах (электрических, электрооптических, акустических, тепловых, механических) полупроводников, металлов и диэлектриков.

2. Основные закономерности образования полупроводниковых фаз. Применение принципа химического и кристаллохимического подобия для прогнозирования свойств твердых тел, переход от групп кристаллохимических аналогов к группам электронных аналогов. Полупроводниковые фазы и положение образующих их элементов в Периодической системе. Элементарные полупроводники, двойные и тройные полупроводниковые соединения. Принципы отбора многокомпонентных полупроводниковых фаз.

3. Общая характеристика элементарных полупроводников.  $1V$  группы. Закономерности изменения свойств в ряду элементарных полупроводников. Элементарные полупроводники  $V$ ,  $VI$ ,  $111$  групп.

4. Общая характеристика алмазоподобных полупроводников. Бинарные алмазоподобные полупроводниковые соединения. Многокомпонентные аналоги элементарных полупроводников.  $1V$  группы. Закономерность изменения свойств в изоэлектронных и изоэлектронных рядах.

5. Свойства полупроводников, зависящие от дефектности кристаллической решетки (прочность, твердость, пластичность, термические и электрические свойства). Классификация дефектов кристаллической структуры (по протяженности областей разупорядочения кристаллической решетки, по характеру образования).

6. Точечные дефекты. Собственные точечные (атомные) дефекты (СТД): Термодинамика собственных точечных дефектов, расчет равновесных концентраций. Поведение заряженных СТД. Особенности образования СТД в металлах, элементарных полупроводниках и полупроводниковых соединениях. Расчет энергии образования дефектов, экспериментальные методы определения энергии точечных дефектов, энергия миграции точечных дефектов. Характер влияния СТД на свойства полупроводников.

Примесные дефекты (внедрения, замещения) в элементарных полупроводниках и полупроводниковых соединениях. Описание поведения примесных дефектов в квазихимическом приближении. Поведение ассоциированных дефектов на основе примесных дефектов. Влияние примесных дефектов на свойства полупроводниковых кристаллов.

7. Элементы теории дислокаций. Краевая, винтовая и смешанная дислокации, контур и вектор Бюргерса, энергия линейного натяжения дислокаций. Динамика дислокаций: механизмы движения, плоскости скольжения, зависимость подвижности дислокаций от напряжения сдвига и температуры, энергия движущейся дислокации. Взаимодействие дислокаций между собой, с собственными точечными и примесными дефектами.

Особенности образования дислокаций в полупроводниковых соединениях. Влияние дислокаций на свойства полупроводников.

8. Поверхностные (малоугловые границы, границы зерен, дефекты упаковки) и объемные дефекты (разрывы сплошности кристалла). Термодинамические особенности поверхности кристалла. Реакционная способность твердых тел. Роль объемных и поверхностных дефектов в химических реакциях с участием твердых тел. Примеры реакций (поверхностное и внутреннее окисление и азотирование, фотолиз, внутритвердотельные реакции).

9. Электрические и оптические методы контроля параметров полупроводников и структур, поверхности полупроводников (общие представления).

## **2. Физико-химические основы процессов микроэлектроники.**

1. Диаграммы фазовых равновесий полупроводниковых систем. Диаграммы состояния систем «элементарный полупроводник - примесь». Ретроградная растворимость. Примеры диаграмм кремний-примесь, германий-примесь. Расчет кривых солидуса. Диаграммы состояния систем  $A^3-B^5$ . Расчет кривых ликвидуса в приближениях идеальных, регулярных, квазирегулярных растворов и квазихимическом приближении.

2. Фазовые и структурные превращения при кристаллизации. Метастабильные состояния при фазовых переходах. Особенности фазового перехода кристалл-расплав. Плавление по типу полупроводник-металл, плавление по типу полупроводник - полупроводник.

3. Механизмы роста полупроводниковых кристаллов. Рост кристаллов при образовании двумерных зародышей: термодинамика процесса, кинетика процесса роста. Рост кристаллов твердых растворов: явление внутрикристаллической ликвации, бездиффузионная кристаллизация. Поведение примесей при росте кристаллов.

4. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения. Концентрационное переохлаждение при кристаллизации.

5. Фазовые и структурные превращения при термическом отжиге и пластической деформации полупроводниковых кристаллов. Структурные превращения в твердом состоянии, общие закономерности. Кинетика и механизм превращений в твердом состоянии. Распад пересыщенных твердых растворов.

6. Термодинамические особенности реальной поверхности. Основные принципы и методы механической обработки кристаллов. Модель нарушенного слоя. Методы определения глубины нарушенного слоя. Основные этапы и методы получения подложек.

7. Диффузия и диффузионные процессы в полупроводниках. Основные типы диффузионных процессов. Первый и второй законы диффузии (диффузионный поток в непрерывной среде; ограничения, использованные при выводе уравнений; обобщенная форма закона сохранения вещества). Механизмы диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии.

8. Физико-химические основы легирования с помощью диффузии. Влияние состава сплава и природы диффузанта на скорость и параметры диффузии. Процессы самодиффузии и гетеродиффузии в металлах, элементарных полупроводниках и полупроводниковых соединениях. Влияние структурных несовершенств и технологических условий на профили распределения легирующей примеси.

9. Физико-химические основы травления полупроводников. Электрическая и химическая теории травления. Особенности травления элементарных полупроводников и соединений  $A^3B^5$ .

11. Физико-химические основы процессов осаждения защитных диэлектрических и металлических покрытий на поверхность полупроводников. Основы процессов окисления поверхности кремниевых подложек, нанесения пленок  $Si_3N_4$ , поликремния. Нанесение металлических пленок методами испарения и конденсации в вакууме; реактивное распыление как метод получения диэлектрических покрытий.

12. Физико-химические основы сухого (плазменного) травления полупроводников; методические особенности проведения этого процесса.

13. Физико-химические основы ионной имплантации. Основные физические принципы расчета параметров профилей распределения легирующей примеси. Дефектообразование при имплантации; аморфизация. Назначение и особенности различных типов послеимплантационного отжига. Применение ионной имплантации в технологии ИС: формирование скрытых слоев, геттерирование.

### **3. Технология полупроводников и материалов электронной техники.**

1. Методы получения объемных монокристаллов полупроводников. Общая классификация методов. Основные особенности, сравнительные достоинства различных методов, сферы их практического использования.

2. Процессы легирования. Способы легирования и выбор легирующих примесей. Принципы расчета легирующих добавок. Макро- и микронеоднородности распределения примесей в монокристаллах полупроводников. Способы повышения химической однородности кристаллов.

3. Управление структурным совершенством кристаллов. Причины образования дефектов кристаллической решетки и их связь с условиями получения монокристаллов. Способы снижения концентрации собственных точечных дефектов и плотности дислокаций при выращивании монокристаллических полупроводников.

4. Методы получения эпитаксиальных слоев полупроводниковых материалов. Классификация методов. Основные особенности, сравнительные достоинства различных методов, сферы их практического использования.

5. Управление составом и структурным совершенством эпитаксиальных слоев. Причины образования и способы устранения неоднородностей состава эпитаксиальных слоев. Основные причины образования структурных

дефектов в эпитаксиальных гетерокомпозициях. Способы повышения структурного совершенства эпитаксиальных слоев.

6. Перспективы и направления развития основных технологических методов получения монокристаллов и эпитаксиальных слоев полупроводниковых материалов.

7. Производство монокристаллического полупроводникового кремния. Основные химические и физические свойства, применение в электронной технике. Выращивание монокристаллов кремния методом Чохральского. Основные легирующие примеси. Способы легирования. Технологические приемы повышения однородности распределения примесей в объеме монокристаллов кремния. Основные фоновые примеси, особенности их поведения в кремнии, способы снижения концентрации. Получение высокочистых монокристаллов кремния методом бестигельной зонной плавки. Особенности метода, способы его реализации. Маркировка промышленного кремния.

8. Микродефекты в бездислокационных монокристаллах. Современные методы геттерирования точечных дефектов. Кремний для солнечной энергетики: современное состояние проблемы, основные способы получения дешевого кремния для преобразователей солнечной энергии.

9. Основные промышленные методы получения эпитаксиальных слоев кремния. Легирование эпитаксиальных слоев. Обеспечение однородности свойств и структурного совершенства эпитаксиальных слоев. Методы получения сверхтонких эпитаксиальных слоев и свехрешеточных структур на основе кремния.

10. Технология полупроводникового германия, основные химические и физические свойства, применение в электронной технике. Промышленные схемы получения полупроводникового германия. Основные методы получения монокристаллов германия. Проблемы снижения отходов германиевого производства и способы их решения. Получение эпитаксиальных слоев германия.

11. Технология соединений типа  $A^3B^5$  и твердых растворов на их основе. Классификация и основные свойства соединений  $A^3B^5$ . Закономерности изменения свойств в этой группе материалов. Области применения.

12. Арсенид галлия: основные химические и физические свойства, применение в электронной технике. Проблемы поддержания стехиометрии монокристаллов. Способы синтеза арсенида галлия. Методы выращивания монокристаллов арсенида галлия из расплава. Легирование монокристаллов: основные легирующие примеси, способы легирования. Главные источники загрязнения монокристаллов арсенида галлия, основные фоновые примеси, способы снижения их концентрации.

13. Получение эпитаксиальных слоев арсенида галлия. Основные методы газофазной эпитаксии арсенида галлия. Жидкофазная эпитаксия арсенида галлия. Сравнительные характеристики методов. Термодинамические и кинетические аспекты процессов эпитаксиального

осаждения. Развитие низкотемпературных процессов, способы стимуляции эпитаксии.

14. Особенности получения монокристаллов и эпитаксиальных структур других соединений  $A^3B^5$ . Твердые растворы на основе соединений  $A^3B^5$ . Области применения. Зависимость основных свойств твердых растворов от их состава. Методы получения гетероструктур на основе твердых растворов. Способы снижения плотности структурных дефектов. Проблемы формирования гетероструктур с резкими гетерограницами.

15. Соединения типа  $A^2B^6$ . Основные свойства соединений; закономерности изменения свойств в этой группе материалов. Роль собственных точечных дефектов в формировании физических свойств соединений. Области применения. Основные методы получения монокристаллов и эпитаксиальных слоев соединений  $A^2B^6$  и их твердых растворов. Проблемы контроля стехиометрии. Легирование.

16. Соединения типа  $A^4B^6$ . Основные свойства, области применения. Основные методы получения монокристаллов и эпитаксиальных слоев соединений  $A^4B^6$  и их твердых растворов. Проблемы контроля стехиометрии. Легирование.

#### **4. Технология приборов твердотельной электроники.**

1. Структура биполярного транзистора – основа для создания микроэлектронных изделий малой и средней степеней интеграции. Конструкции, параметры и работа элементов.

2. Структура МДП-транзистора – основа для создания микроэлектронных изделий высоких степеней интеграции. Основные конструкции, работа и параметры.

3. Технологический процесс изготовления ПИМС на биполярных транзисторах. Последовательность, назначение, характеристики и особенности технологических операций.

4. Технологический процесс изготовления ИМС на одноканальных МДП-транзисторах. Базовые конструкции, принцип работы МДП-транзистора. Последовательность, назначение, характеристика и особенности технологических операций.

5. Технологический процесс изготовления ИМС на комплементарных МДП-транзисторах. Последовательность, назначение, характеристика и особенности технологических операций.

6. Классификация методов изоляции элементов ПИМС. Сравнительная характеристика методов, возможности и ограничения. Изоляция элементов р-п-переходом, конструктивно-технологическое воплощение.

7. Технология МДП-ИМС с поликремниевым затвором. Проблемы МДП-технологии, решаемые данным процессом. Последовательность и характеристика технологических операций.

8. Технохимическая обработка подложек. Характеристика загрязнений. Физико-химические принципы очистки. Химическое и электрохимическое травление.

9. Процессы литографии. Физические принципы фотолитографии. Фоторезист. Разрешающая способность. Последовательность и характеристика процесса фотолитографии. Характеристика эллионных методов литографии.

10. Термохимическое, ионноплазменное, плазмохимическое травление. Физико-химические принципы, аппаратурное оформление, особенности применения.

11. Получение оксидных слоев. Физико-химические принципы, аппаратурное оформление, свойства слоев.

12. Получение р-п переходов. Термическая диффузия, характер распределения примеси, технология, контроль диффузионных слоев.

13. Металлизация. Требования к проводящим слоям и контактам, получение и свойства металлических слоев, многослойная металлизация. Причины отказов прибора, связанных с металлизацией.

14. Процессы сборки прибора. Присоединение кристалла к корпусу, монтаж выводов, герметизация, Характеристика корпусов.

### Литература

1. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М., Высшая школа, 1984, 2005.
2. С. С. Горелик, М. Я. Дашевский. Материаловедение полупроводников и диэлектриков.- М., Металлургия, 2005.
3. В.В. Арбенина, А.В. Пономарев. Методы диагностики механических свойств полупроводниковых материалов и контроль качества обработки поверхности полупроводниковых структур. Уч. пособие. М., ИПЦ МИТХТ, 2004, 58 с.
4. В.В. Арбенина. Химическое травление в технологии полупроводниковых материалов и приборов. Учебное пособие. М., ИПЦ МИТХТ, 2005, 96 с.
5. Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов, Лань, Спб., 2011, 286 с.
6. Р.Х. Акчурин. Низкоразмерные полупроводниковые гетероструктуры. Учебное пособие. М., МИТХТ, 2004, 84 с.
7. А.А., Раскин, В.К. Прокофьева. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники. Ч. 1, М., Бином, 2010. 164 с.
8. В.М. Рощин, М.В. Сибилин. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники. Ч. 2, М., Бином, 2010. 180 с.
9. С.Е. Александров, Ф.Ф. Греков. Технология полупроводниковых материалов. С.-П., М., Краснодар, Изд-во «Лань», 2012. 240 с.
10. Акчурин Р.Х. Широкозонные полупроводники: SiC. GaN. М, МИТХТ, 2011.
11. Щука А.А. Электроника. С.-П., БХВ-Петербург, 2006.
12. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. 592с.

13. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. 496 с.
14. Батырев Н.И. Конструкция, технология и основные параметры полупроводниковых интегральных микросхем. Учебно-методическое пособие. Часть 1,2. М., МИТХТ, 2005.
15. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. М., Техносфера, 2005, 336 с.
16. Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. М., Техносфера, 2007, 368 с.
17. В.Ю. Киреев. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии. М., ФГУП «ЦНИИХМ», 2008, 428 с.
18. Фистуль В.И. Физика и химия твёрдого тела, т.т. 1,2, М. Металлургия, 1995.
19. Вайнштейн Б.К. (под. ред.). Современная кристаллография, т. 4, М., Наука, 1981.
20. Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах, М., Металлургия, 1978.
21. В.Б. Уфимцев, А.А. Лобанов. Гетерогенные равновесия в технологии полупроводниковых материалов. М., Металлургия, 1982.
22. Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников, М, Металлургия, 1984.
23. М.Г. Мильвидский. Полупроводниковые материалы в современной электронике. М., Наука, 1986.
24. В.П. Пасынков, В.С. Сорокин. Материалы электронной техники. М. Высшая школа, 1986.
25. В.Л. Антипов, В.С. Сорокин, В.А. Терехов. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы. М., Высшая школа, 1990.
26. Крапухин В.В., Соколов И.А., Кузнецов Г.Д. Физико-химические основы технологии получения полупроводниковых материалов. М., Металлургия, 1982.
27. Технология полупроводникового кремния (под ред. Э.С. Фалькевича). М., Металлургия, 1992.
28. М.Г. Мильвидский, О.В. Пелевин, Б.А. Сахаров. Физико-химические основы получения разлагающихся полупроводниковых соединений. М., Металлургия, 1974.
29. Конаков П.К., Веревоцкий Г.Е., Горяинов Л.А. Тепло- и массообмен при получении монокристаллов. М., Металлургия, 1971.
30. А.Я. Нашельский. Технология спецматериалов электронной техники. М., Металлургия, 1993.
31. В.Б. Уфимцев, Р.Х. Акчурин. Физико-химические основы жидкофазной эпитаксии. М., Металлургия, 1984.
32. Кузнецов В.В., Москвин П.П., Сорокин В.С. Неравновесные явления при жидкостной гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов. М., Металлургия, 1991.
33. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры (под ред. Л. Ченга и К. Плога). М., "Мир", 1989.



34. В.Н. Черняев. Технология производства интегральных микросхем, Высшая школа, М., 1991.
35. С.С. Стрельченко, В.В. Лебедев. Соединения  $A^3B^5$  :Справ. Изд. М., Металлургия, 1984.
36. Физика и химия соединений типа  $A^2B^6$  (под ред. М. Авена и Дж. Пренера), М., Мир, 1970.
37. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, М: Высшая школа, 1986.
38. Минайчев В.Е. Нанесение пленок в вакууме, М: Высшая школа, 1989.
39. Моряков О.С. Термические процессы в микроэлектронике, М: Высшая школа, 1987.
40. Зи С. Технология СБИС, М., Мир, 1986.
41. Пфанн В. Зонная плавка. М., Мир, 1970.
42. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М. Радио и связь, 1987.
43. Курносов А.Н., Юдин В.К. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных схем. М., Высшая школа, 1981.
44. Парфенов О.Д. Технология микросхем. М., Высшая школа, 1986.

Директор Института тонких  
химических технологий

М.А. Маслов