

# Физика реального кристалла

Случинская И. А., доцент, к.ф.-м.н., кафедра полупроводников

## 1. Основные закономерности образования полупроводников.

### *Полупроводниковые соединения.*

Электроотрицательность элементов. Химическая связь в полупроводниковых соединениях  $A^N B^{8-N}$ . Основные закономерности образования полупроводниковых фаз. Соединения и твердые растворы. Химическая связь в полупроводниках, производных от  $A^N B^{8-N}$ . Соединения с резонансными и дефектными связями. Химическая связь в полупроводниковых соединениях  $A^{IV} B^{VI}$  и  $A^V_2 B^{VI}_3$ .

## 2. Дефекты в полупроводниковых материалах.

### *Собственные дефекты.*

**Точечные дефекты:** междоузельные атомы, вакансии, дефекты Шоттки, пары Френкеля, антиструктурные и стехиометрические дефекты. Основные механизмы образования точечных дефектов.

**Дислокации.** Свойства дислокаций. Влияние дислокаций на некоторые физические свойства полупроводников. Основные методы наблюдения дислокаций.

**Двумерные дефекты:** малоугловые границы, границы кручения, граница зерен, двойники, дефекты упаковки.

**Макроскопические дефекты:** объемные нарушения, поры, включения второй фазы.

**Примеси:** замещения и внедрения. Доноры, акцепторы, амфотерные и изоэлектронные примеси.

Примеси в элементарных полупроводниках.

Примеси в полупроводниковых соединениях.

## 3. Фазовые равновесия в полупроводниковых системах.

**Диаграммы фазового равновесия.** Т-Х диаграммы состояния бинарных систем.

**Диаграммы состояния с неограниченной растворимостью компонентов друг в друге.** Типы диаграмм с неограниченной растворимостью компонентов.

**Диаграммы состояния с ограниченной растворимостью компонентов:** эвтектические, перитектические.

**Диаграммы состояния с химическими соединениями.** Химические соединения: *конгруэнтно* и *инконгруэнтно* плавящиеся. **Неравновесные диаграммы состояния.**

## 4. Элементы общей теории образования фаз.

**Образование центров новой фазы:** гомогенное и гетерогенное.

**Рост центров новой фазы.** Механизмы роста центров новой фазы: послойный, слоисто-спиральный, нормальный.

**5. Получение чистых полупроводниковых материалов.** Кристаллизационные методы очистки. Коэффициент разделения примесей: равновесный и эффективный. Методы получения чистых полупроводниковых материалов и принципиальные возможности очистки. Вертикальная бестигельная зонная плавка — способ получения материала с высокой степенью чистоты. Метод контроля чистоты материала.

## 6. Выращивание объемных полупроводниковых кристаллов.

### *Получение кристаллов из жидкой фазы.*

**Выращивание кристаллов из расплава.** Метод нормальной направленной кристаллизации. Метод вытягивания из расплава (метод Чохральского). Выращивание кристаллов методом зонной плавки.

**Выращивание кристаллов из растворов.** Метод движущегося растворителя. Условия выращивания и дефектность монокристаллов. Неравновесные собственные дефекты.

#### **7. Выращивание объемных полупроводниковых кристаллов.**

*Выращивание полупроводниковых монокристаллов из газовой фазы.*

Основные этапы и стадии роста. Метод сублимации-конденсации. Метод химических реакций. Метод химического транспорта.

#### **8. Диффузия примесей в кристаллах.**

Диффузия. Уравнения диффузии. Механизмы диффузии примесей. Диффузионная длина. Основные параметры диффузии.

Распределение диффундирующих атомов по глубине кристалла: диффузия из бесконечно тонкого слоя и диффузия из постоянного источника.

Диффузия различных примесей в Ge и Si.

Определение зарядовых состояний диффундирующих примесных атомов: диффузия лития в германии, диффузия меди в германии. Влияние структурных несовершенств, состава, природы полупроводника и диффузанта на скорость и параметры диффузии: самодиффузия и гетеродиффузия.

**9. Растворимость примесей.** Взаимное влияние на предельную растворимость двух электроактивных примесей при их одновременном введении в полупроводник. Температурная зависимость растворимости примесей в элементарных полупроводниках. Ретроградная растворимость и эффекты, связанные с ней.

### **Основная литература**

И. А. Случинская. Основы материаловедения и технологии полупроводников. М.: МИФИ, 2002.

### **Дополнительная литература**

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. 2-е изд. М.: Наука, 1990.
2. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников: Пер. с англ. М.: Физматлит, 2002.
3. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: Высш. школа, 1976.
4. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М.: Высш. школа., 1983.
5. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. М.: Металлургия, 1988.
6. Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Л.: Наука, 1972.
7. Старк Дж.П. Диффузия в твердых телах. Пер. с англ. М.: Энергия, 1980.