



## Книготорговая компания ООО «Лань-Трейд»

192029, г. Санкт-Петербург, ул. Крупской, д. 13  
(812) 412-85-78, 412-85-91, root@lanpbl.spb.ru, www.lanbook.ru

ИНН 7801220018, КПП 780101001, р/с 40702810136060007559  
в Филиале № 7806 ВТБ 24 (ЗАО) г. Санкт-Петербург  
к/с 30101810300000000811, БИК 044030811  
ОГРН 1027800515885, ОКПО 59440846, ОКВЭД 51.47.21, 51.43.22



## Александров С. Е., Греков Ф. Ф. Технология полупроводниковых материалов: Учебное пособие. 2-е изд., испр.

ISBN 978-5-8114-1290-7

Год выпуска 2012

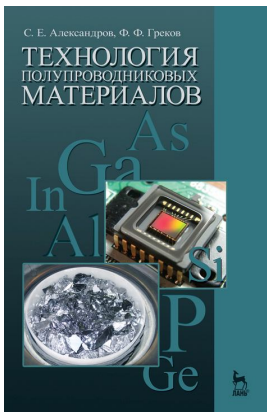
Тираж 1500 экз.

Формат 12,8 × 20 см

Переплет: твердый

Страниц 240

Цена 460,02 руб.



Представлена технология и техника производства полупроводниковых материалов, имеющих широкое применение в электронной промышленности. Рассмотрены основные физические и химические свойства элементарных полупроводников и компонентов бинарных соединений, необходимые для обоснования рациональных приемов их глубокой очистки, синтеза и получения в виде массивных монокристаллов.

Приведены традиционные и новейшие технологические схемы и технические решения, даны краткие описания оборудования, позволяющие формировать оптимальные схемы производства с учетом требований к качеству продукции.

Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по магистерской программе «Современные проблемы материаловедения» направления подготовки магистров «Материаловедение и технология материалов». Оно также может быть использовано при обучении в системах повышения квалификации и в учреждениях дополнительного профессионального образования.

### Рецензенты:

*П. Н. Брунков* — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН; *Р. А. Мирзоев* — доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой «Теоретические основы металлургии цветных металлов» СПбГПУ.

### Введение

Необходимым компонентом и условием работы в области материалов электронной техники и наноматериалов является знание накопленного опыта технологической деятельности с наиболее важными объектами изучаемого класса.

Этот опыт может быть применен на практике и служит базой для создания новых процессов и материалов. Знание основ и деталей известных технологических операций формирует интуицию магистра и позволяет достигать результатов в той области, где точный расчет или моделирование пока недоступны, служит для апробации новых идей и является источником продуктивных аналогий.

В пособии даны примеры алгоритмов достижения технологических целей, т. е. наборы физико-химических принципов, методов и средств, необходимых для получения материалов заданного состава и строения.

Освещен круг вопросов, в которых магистр, обучающийся по программе «Материаловедение наноматериалов и компонентов электронной техники», должен быть хорошо осведомлен. Пособие может быть использовано для расширения компетенции в рамках читаемых курсов, при подготовке к семинарам по технологической тематике, а также при подготовке магистерской выпускной работы.

Рассмотрены основные свойства и процессы получения высокочистого полупроводникового кремния и германия, а также компонентов важнейших соединений АЗВ5 — алюминия, галлия, индия, фосфора и мышьяка. Из числа методов синтеза рассмотрены примеры процессов, нашедших применение в промышленности, а также иллюстрирующие кинетические механизмы, недостаточно освещенные в литературе.

Получение полупроводников в монокристаллическом состоянии освоено как в виде массивных заготовок, так и в виде пленок. Пленочная технология неразрывно связана с технологией приборных структур, и поэтому их целесообразно рассматривать совместно. В настоящем пособии основное внимание уделено методам выращивания массивных монокристаллов из расплава.

Александров С. Е., Греков Ф. Ф. Технология полупроводниковых материалов: Учебное пособие. 2-е изд., испр.

## Оглавление

[Список принятых сокращений ..... 5](#)

[Введение ..... 6](#)

[Глубокая очистка исходных веществ ..... 8](#)

- 1.1. Кремний ..... 8
  - 1.1.1. Обзор свойств кремния ..... 8
  - 1.1.2. Получение хлоридов кремния ..... 13
  - 1.1.3. Очистка хлоридов методом частичного гидролиза ..... 16
  - 1.1.4. Очистка тетраоксида кремния и ТХС ректификацией ..... 17
  - 1.1.5. Получение кремния восстановлением хлоридов ..... 18
  - 1.1.6. Силановый метод получения кремния ..... 24
  - 1.1.7. Иодидный метод очистки кремния ..... 26
  - 1.1.8. Очистка кремния кристаллизационными методами ..... 27
- 1.2. Германий ..... 30
  - 1.2.1. Обзор свойств германия ..... 30
  - 1.2.2. Источники германия ..... 34
  - 1.2.3. Получение и глубокая очистка тетраоксида германия ..... 36
  - 1.2.4. Получение и восстановление оксида германия ..... 40
  - 1.2.5. Кристаллизационная очистка германия ..... 43
- 1.3. Алюминий ..... 45
  - 1.3.1. Обзор важнейших свойств алюминия ..... 45
  - 1.3.2. Электролитическое рафинирование алюминия ..... 47
  - 1.3.3. Зонная очистка алюминия ..... 50
  - 1.3.4. Очистка алюминия дистилляцией через субгалогениды ..... 55
- 1.4. Галлий ..... 60
  - 1.4.1. Свойства галлия ..... 60
  - 1.4.2. Источники галлия ..... 63
  - 1.4.3. Хлоридные методы ..... 68
  - 1.4.4. Электролитическое рафинирование ..... 70
  - 1.4.5. Кристаллизационные методы ..... 74
  - 1.4.6. Катодное распыление поверхности ..... 77
  - 1.4.7. Вакуумная прокатка ..... 78
- 1.5. Индий ..... 79
  - 1.5.1. Свойства индия ..... 79
  - 1.5.2. Источники индия ..... 81
  - 1.5.3. Предварительное рафинирование ..... 85
  - 1.5.4. Электролитические методы очистки индия ..... 86
  - 1.5.5. Плавка под экстрагирующим флюсом ..... 91
  - 1.5.6. Дистилляционные методы ..... 93
  - 1.5.7. Кристаллизационные методы ..... 94
- 1.6. Фосфор ..... 96
  - 1.6.1. Свойства фосфора ..... 96
  - 1.6.2. Химические методы очистки свободного фосфора ..... 100
  - 1.6.3. Гидридный метод ..... 104
  - 1.6.4. Очистка на геттере-экстрагенте ..... 109
- 1.7. Мышьяк ..... 109
  - 1.7.1. Обзор физико-химических свойств мышьяка ..... 109
  - 1.7.2. Химико-металлургические методы очистки мышьяка ..... 117
  - 1.7.3. Сублимационные методы ..... 123
  - 1.7.4. Хемосорбционный метод ..... 125
  - 1.7.5. Направленная кристаллизация ..... 128

[Синтез полупроводниковых соединений ..... 132](#)

- 2.1. О классификации методов синтеза ..... 132
- 2.2. Роль диаграммы состояния при разработке режима синтеза ..... 133
- 2.3. Синтез сплава нелетучих компонентов ..... 134
- 2.4. Синтез сплавов, содержащих летучий компонент ..... 138
  - 2.4.1. О трехмерных Р–Т-х диаграммах состояния ..... 138
  - 2.4.2. Стехиометрический синтез арсенида галлия ..... 141
  - 2.4.3. Синтез фосфидов галлия и индия ..... 147
  - 2.4.4. Синтез соединений из раствора-расплава ..... 149
  - 2.4.5. Общие особенности синтеза сплавлением ..... 151
- 2.5. О диаграммах состояния нитридных систем ..... 152
- 2.6. Автокапиллярный механизм взаимодействия ..... 154
- 2.7. Взаимодействие газа с твердой дисперсной фазой ..... 165
- 2.8. Газофазный синтез ..... 175
- 2.9. Косвенные методы синтеза ..... 180

|  |                     |
|--|---------------------|
| 2.10. Синтез метастабильных фаз .....  | 185                 |
| <a href="#">Технология монокристаллов .....</a>  | <a href="#">194</a> |
| 3.1. О классификации методов выращивания монокристаллов .....                          | 194                 |
| 3.2. Выращивание монокристаллов из расплава .....                                      | 195                 |
| 3.3. Состояние расплава. Роль диаграммы состояния .....                                | 196                 |
| 3.4. Материал контейнера .....   | 199                 |
| 3.5. Метод Киропулоса .....  | 201                 |
| 3.6. Метод Бриджмена — Стокбаргера .....   | 202                 |
| 3.7. Метод Чохральского .....  | 205                 |
| 3.7.1. Общая характеристика и разновидности метода .....                               | 205                 |
| 3.7.2. Тепловой режим. Влияние технологических параметров на геометрию кристалла ..... | 207                 |
| 3.7.3. Распределение примесей по кристаллу .....                                       | 210                 |
| 3.7.4. Дефекты кристаллического строения .....   | 217                 |
| 3.7.5. Выращивание кристаллов разлагающихся соединений .....                           | 219                 |
| 3.7.6. Формообразование в методе Чохральского .....                                    | 221                 |
| 3.8. Выращивание монокристаллов методом бестигельной зонной плавки .....               | 223                 |
| 3.9. Метод Вернейля .....  | 225                 |
| <a href="#">Библиографический список .....</a>   | <a href="#">227</a> |

---