

В.А. ФЕДОРОВ, Н.Т. КУЗНЕЦОВ

**АНАЛИЗ
И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

2008



САМАРА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

В.А. ФЕДОРОВ, Н.Т. КУЗНЕЦОВ

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2008

УДК 621.315(075)

ББК 31.233

Ф 333



**Инновационная образовательная программа
«Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий»**

Рецензенты: кафедра полупроводниковой электроники и нано-
технологий Самарского государственного уни-
верситета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф.
А. Н. К о м о в),
д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Н е г а н о в

Федоров В.А.

Ф 333 **Анализ и исследование полупроводниковых материалов:**
учеб. пособие / В.А. Федоров, Н.Т. Кузнецов. – Самара: Изд-во
Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2008. 84 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-0697-1

Изложены теоретические основы процессов, используемых в ис-
следовании полупроводниковых материалов и их технологии и бази-
рующихся на гетерогенном равновесии системы конденсированная
фаза - газ. Рассмотрены особенности тензиметрических методов иссле-
дования материалов электронной техники. Описаны физико-хими-
ческие основы исследования веществ и полупроводниковых материа-
лов на их основе.

Предназначено для студентов специальности 210201 – Проек-
тирование и технология радиоэлектронных средств.

УДК 621.315(075)
ББК 31.233

ISBN 978-5-7883-0697-1

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ТЕХНОЛОГИИ..... | 5 |
| 1.1. Роль процессов испарения и конденсации в технологии микроэлектроники..... | 5 |
| 1.2. Классификация процессов испарения..... | 10 |
| 1.3. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона..... | 12 |
| 1.4. Общий подход к равновесию системы конденсированная фаза – газ..... | 17 |
| 1.5. Различные формы уравнений температурной зависимости давления насыщенного пара и константы равновесия | 20 |
| 1.6. Вычисление термодинамических величин по данным равновесия..... | 22 |
| 2. ТЕНЗИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ..... | 26 |
| 2.1. Статические методы | 26 |
| 2.2. Квазистатические методы..... | 31 |
| 2.3. Динамические методы..... | 37 |
| 3. МЕТОД ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИХ СИЛ..... | 51 |
| 4. ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ..... | 59 |
| 4.1. Определение стандартных теплот образования..... | 59 |
| 4.2. Определение теплоемкости..... | 62 |
| 5. МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД..... | 69 |
| 6. ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД..... | 76 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 84 |

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие написано на основе курса лекций "Методы исследования полупроводников". Ограниченный объем пособия не позволил включить материалы всего курса лекций. В частности, авторы были вынуждены исключить ряд численных примеров, иллюстрирующих некоторые особенности термодинамики гетерогенных равновесий. Данное пособие состоит по существу из шести частей.

Первая часть посвящена рассмотрению роли методов исследования полупроводников и различных материалов в технологии микроэлектроники.

Во второй части излагаются принципы термодинамических методов исследования материалов электронной техники, рассматриваются теоретические основы этих методов, некоторые особенности постановки эксперимента, а также обработка результатов экспериментов и подход к их трактовке. Эта часть представляет особый интерес в связи с развитием методов компьютерного расчета сложных гетерогенных и гомогенных равновесий с целью создания новых технологических путей синтеза материалов микроэлектроники, эпитаксиальных структур и оптимизации и совершенствования существующих.

Следует отметить, что в части пособия, касающейся термодинамических методов исследования, авторы специально не придерживались принятой в настоящее время системы единиц СИ, так как в термодинамике она создает ничем не оправданные затруднения в расчете равновесий на основе уравнения изотермы Вант-Гоффа. Этот расчет основан на использовании величин стандартной Гибса ΔG . Эта величина может быть легко получена из уравнения изотермы Вант-Гоффа только в том случае, если давление будет измерено в атмосферах, что позволит выразить давление при стандартных условиях в простом единичном виде (любое $P_i = 1 \text{ атм.}$).

Авторы используют в пособии как равноправные тепловые единицы калорию и джоуль, поскольку современная справочная литература и текущая периодика используют обе эти тепловые единицы.