

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

**О. И. Подкопаев, А. Ф. Шиманский, Т. О. Павлюк**

**ВЫРАЩИВАНИЕ  
МОНОКРИСТАЛЛОВ ГЕРМАНИЯ  
С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ СТРУКТУРОЙ,  
СОДЕРЖАНИЕМ ПРИМЕСЕЙ  
И ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Монография

Красноярск  
СФУ  
2017

УДК 548.55  
ББК 22.375.14  
П442

**Р е ц е н з е н т ы:**

И. В. Трифанов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и стандартизации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнёва;

В. Л. Корниенко, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института химии и химической технологии СО РАН

**Подкопаев, О. И.**

П442      Выращивание монокристаллов германия с контролируемой структурой, содержанием примесей и оптическими свойствами : монография / **О. И. Подкопаев**, А. Ф. Шиманский, Т. О. Павлюк. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 152 с.  
ISBN 978-5-7638-3585-4

Обобщен экспериментальный материал отечественных и зарубежных ученых по проблеме получения монокристаллов германия с контролируемой структурой, составом и оптическими свойствами. Представлены собственные результаты авторов по выращиванию малодислокационных и особо чистых кристаллов германия, разработке новых контейнерных материалов, исследованию поведения кислорода в германии и его влияния на структурное совершенство и свойства монокристаллов.

Предназначена для студентов, обучающихся по направлениям «Материаловедение и технологии материалов», «Химическая технология монокристаллов, материалов и изделий электронной техники», а также специалистов, занимающихся изучением и производством полупроводников.

**Электронный вариант издания см.:**  
**<http://catalog.sfu-kras.ru>**

**УДК 548.55**  
**ББК 22.375.14**

ISBN 978-5-7638-3585-4

© Сибирский федеральный университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ГЕРМАНИЯ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИСЛОКАЦИЙ И ПРИМЕСЕЙ .....	6
1.1. Возникновение дислокаций в процессе роста кристалла из расплава .....	6
1.2. Выращивание монокристаллов германия с низкой плотностью дислокаций методом Чохральского .....	12
1.3. Моделирование роста монокристаллов .....	27
1.4. Выращивание кристаллов особо чистого германия методом Чохральского .....	38
1.5. Модифицированный метод Степанова .....	42
1.6. Метод осевого теплового потока вблизи фронта кристаллизации .....	45
1.7. Вертикальный метод Бриджмена и метод замораживания в поле градиента температуры .....	46
1.8. Бестигельные методы .....	51
2. КИСЛОРОД В ГЕРМАНИИ .....	52
2.1. Поведение кислорода в германии .....	52
2.2. Исследование содержания оптически активного кислорода в монокристаллическом германии .....	59
2.3. Преципитаты на основе кислорода .....	67
3. ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ГЕРМАНИЯ С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ .....	73
3.1. Исследование взаимосвязи удельного электрического сопротивления и температурной стабильности оптических свойств монокристаллов германия, легированных сурьмой .....	81
3.2. Выращивание монокристаллов твердых растворов германий–кремний .....	88
3.3. Разработка способов повышения температурной стабильности оптических свойств монокристаллов германия методом легирования .....	95
4. КОНТЕЙНЕРЫ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГЕРМАНИЯ .....	104
4.1. Контейнеры на основе аморфного оксида кремния .....	104
4.2. Проблема смачивания поверхности контейнерных материалов расплавом германия .....	120
4.3. Получение особо чистого германия с использованием контейнеров для зонной плавки на основе аморфного оксида кремния .....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	135