



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

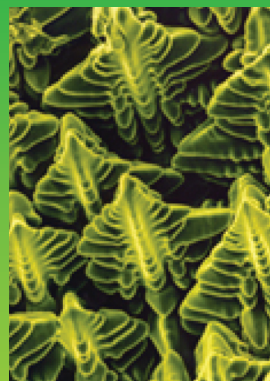
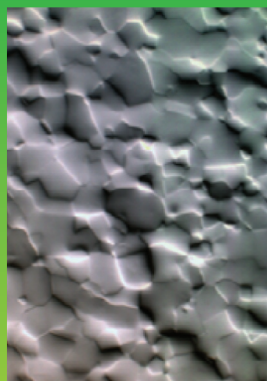
Институт
естественных наук

Г. В. КУРЛЯНДСКАЯ
В. И. ЛЕВИТ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Монокристаллы

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. М. ГОРЬКОГО

Г. В. Курляндская
В. И. Левит

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛЫ

Учебное пособие для студентов,
обучающихся по направлению «Физика»,
специальности «Метрология и метрологическое обеспечение»

Под редакцией профессора,
доктора физико-математических наук В. О. Васьковского

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2011

УДК 548(075.8)
К933

Рекомендовано к изданию
учебно-методической комиссией физического факультета

Рецензенты:

лаборатория технической диагностики Института машиноведения
УрО РАН (заведующий лабораторией, кандидат физико-
математических наук С. М. Задворкин);

Н. В. Баранов, доктор физико-математических наук, профес-
сор, заведующий лабораторией микромагнетизма (Институт физики
металлов УрО РАН)

Курляндская Г. В.

К933 Материаловедение. Монокристаллы: учеб. пособие / Г. В. Кур-
ляндская, В. И. Левит ; под ред. В. О. Васьковского. — Екатеринбу-
бург : Изд-во Урал. ун-та, 2011. — 240 с.
ISBN 978-4-7996-0681-7

В учебное пособие включены сведения о методах получения моно-
кристаллов, их кристаллографического описания и исследования реаль-
ной структуры, приведены результаты испытаний механических и маг-
нитных свойств некоторых металлических монокристаллов, а также об-
суждаются примеры необычных монокристаллов, возникающих в ре-
зультате жизнедеятельности живых систем или создаваемых искус-
ственно для применения в разных отраслях техники.

Для студентов старших курсов и аспирантов, заинтересованных в
получении дополнительных знаний в области прикладной физики, хи-
мии, металлургии, материаловедения, nano- и биотехнологий, а также в
смежных с ними областях.

УДК 548(075.8)

ISBN 978-4-7996-0681-7

© ГОУ ВПО «Уральский государственный
университет им. А. М. Горького», 2011
© Курляндская Г. В., Левит В. И., 2011

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- b — вектор Бюргерса
- c_{ij} — упругие константы
- C_L — концентрация примеси в жидкой фазе
- C_S — концентрация примеси в твердой фазе
- F — площадь сечения перпендикулярного оси растяжения образца
- f_S — ориентационный фактор (фактор Шмида).
- G — свободная энергия
- $\{hkl\}$ — индексы кристаллографических плоскостей
- P — сила, усилие
- r — радиус кластера
- $Phkl$ — прямая полюсная фигура
- β_i — направляющие косинусы
- ϵ_{ij} — тензор деформации
- K^* — коэффициент распределения примесей
- K — константа магнитной анизотропии
- K_u — константа наведенной магнитной анизотропии
- l — длина
- l_e — максимальная длина пробега краевых дислокаций
- l_s — максимальная длина пробега винтовых дислокаций
- m — коэффициент скоростной чувствительности деформации
- σ_{jk} — тензор механических напряжений
- ρ — плотность вещества
- λ_{ijrl}^ϵ — тензор модуля упругости
- λ — константа магнитострикции
- P — мощность электромагнитных потерь

s — поверхностное натяжение

T — абсолютная температура

w_ϵ — плотность свободной энергии

τ — напряжения сдвига

ВВЕДЕНИЕ

Кристаллы неорганических соединений уже не одно тысячелетие привлекают внимание людей и рассматриваются в виде предметов торга, коллекционирования и драгоценных украшений. Детальное описание кристаллов кварца мы находим уже в китайской медицинской книге, написанной во II столетии до нашей эры. Первыми стали обрабатывать кристаллы ювелиры. Уже в древности было развито искусство «расщеплять» и шлифовать драгоценные камни и из природных кристаллов создавать сверкающие гранями украшения.

Симметрия натуральных кристаллов и связанные с ней особые физико-химические свойства издревле привлекали внимание не только представителей королевских династий, но и естествоиспытателей. Постоянство углов между гранями и длины ребер наводили на мысль о связи формы кристаллов и их внутреннего строения, а законы поляризации и двойного лучепреломления легли в основу развития кристаллофизики. Например, особый научный интерес пробудило двойное преломление света, наблюдаемое в некоторых кристаллах, особенно у известкового шпата. Его систематическое изучение привело в прошлом столетии к открытию поляризованного света и созданию поляризационных приборов для исследования оптических свойств хи-

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СИММЕТРИЯ И ОПИСАНИЕ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ	11
2. ТЕРМОДИНАМИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	38
3. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ	51
3.1. Метод Чохральского	51
3.2. Метод Бриджмена	57
3.3. Зонная плавка	61
3.4. Направленная рекристаллизация.....	65
3.5. Методы получения монокристаллов с использованием процессов испарения и осаждения из газовой фазы.....	67
4. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ....	79
4.1. Методы исследования структуры металлов и сплавов	80
4.1.1. Методы исследования макроструктуры	80
4.1.2. Методы исследования микроструктуры	84
4.1.3. Другие <i>методы</i> оценки качества металлических изделий и особенностей структуры.....	89
4.1.4. Определение ориентации монокристаллов	92
4.2. Механические свойства монокристаллов	103

5. ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОКРЕМНИСТЫХ СПЛАВОВ	140
5.1. Общая характеристика сплавов Fe—Si.....	141
5.2. Термомеханическая обработка электротехнических сталей	144
5.2.1. Ориентационная зависимость продольного эффекта ТМехО выше точки Кюри.....	155
5.2.2. Особенности ТМехО при небольшом отклонении плоскости образцов от плоскости (110).....	162
5.3. Структурные изменения в сплаве Fe—3 % Si при высокотемпературной ТМехО.....	166
5.3.1. Различные схемы ТМехО.....	167
5.3.4. Сопоставление структурных изменений после ТМехО вдоль кристаллических осей [001] и [110].....	176
5.4. Об атомном упорядочении в сплаве Fe—3 % Si при высокотемпературной ТМехО.....	188
5.5. Современное состояние исследований наведенной магнитной анизотропии.....	200
6. ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ.....	214
6.1. Монокристаллы жаропрочных сплавов	214
6.2. Методы и схемы направленной кристаллизации по выплавляемым моделям	217
6.3. Монокристаллы чистых металлов для сверхпроводящих магнитов и точной электроники.....	228

7. ПРИМЕРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЖИВЫМИ СИСТЕМАМИ.....	244
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	257
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	259

Учебное издание

Курляндская Галина Владимировна
Левит Владимир Ильич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ Монокристаллы

Учебное пособие

Под редакцией В. О. Васьковского

Зав. редакцией *М. А. Овечкина*
Редактор и корректор *С. Г. Галинова*
Компьютерная верстка *Г. Б. Головиной*
Подготовка иллюстраций *В. Н. Лепаловский*

План выпуска 2012 г. Подписано в печать 21.03.2012.
Формат 60/84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Уч.-изд. л. 9,7. Усл. печ. л. 10,46. Тираж 150 экз. Заказ 401.

Издательство Уральского университета.
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ.
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.
Тел.: + (343) 350-56-64, 350-90-13.
Факс: +7 (343) 358-93-06.
E-mail: press.info@usu.ru

ISBN 978-5-7996-0681-7



9 785799 606817