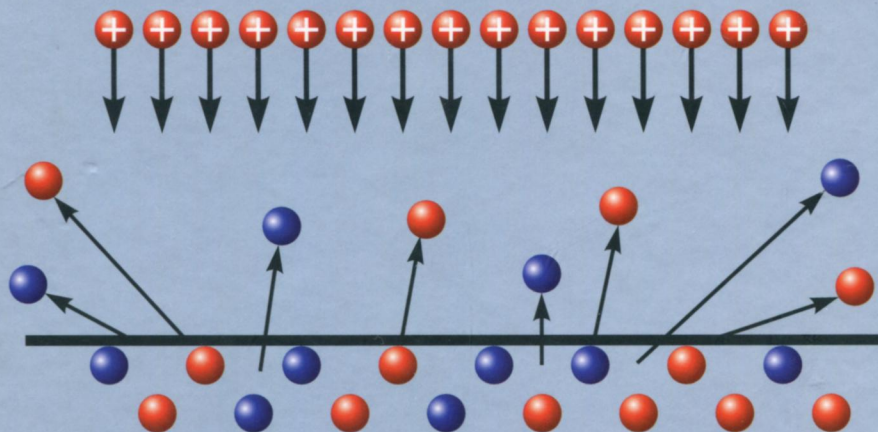


И.А. Курзина, Э.В. Козлов, Ю.П. Шаркеев,
С.В. Фортуна, Н.А. Конева, И.А. Божко, М.П. Калашников



**НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ
ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ И НИТРИДНЫЕ
СТРУКТУРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ ПРИ
ИОННО-ЛУЧЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**И.А. Курзина, Э.В. Козлов, Ю.П. Шаркеев,
С.В. Фортуна, Н.А. Конева, И.А. Божко,
М.П. Калашников**

**НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ
И НИТРИДНЫЕ СТРУКТУРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ
ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

*Ответственный редактор
доктор технических наук Н.Н. Коваль*



Томск – 2008

УДК 539.22/23+541.412:29.19.21

Н 254

Н 254 **Курзина И.А., Козлов Э.В., Шаркеев Ю.П., Фортуна С.В., Конева Н.А., Божко И.А., Калашников М.П.** Нанокристаллические интерметаллидные и нитридные структуры, формирующиеся при ионно-плазменном воздействии / Отв. ред. Н.Н. Коваль. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 324 с.

ISBN 978-5-89503-398-2

Монография посвящена описанию фундаментальных явлений в наноструктурных материалах. Дано систематическое изложение современного состояния исследований формирования наноразмерных интерметаллидных фаз в объеме и в поверхностных слоях металлов. Представлены результаты комплексных исследований, выполненных авторами, приведен обзор результатов, опубликованных другими исследователями. Обобщены экспериментальные результаты по влиянию нанокристаллического состояния на микроструктуру и физико-механические свойства металлов, сплавов и твердофазных соединений. Рассмотрены методы и возможности ионно-плазменного воздействия на металлы. Показано, что вследствие изменения структуры и химического состава поверхностных слоев имеет место изменение физико-механических свойств материалов. Рассмотрены фундаментальные аспекты использования интерметаллидов в качестве упрочняющих фаз в имплантированных слоях и нанесенных покрытиях.

Книга предназначена для специалистов в области физики конденсированного состояния и физики взаимодействия потоков ускоренных заряженных частиц и плазмы с твердым телом, научных работников, занимающихся вопросами физики, химии и механики наноструктурных материалов, а также для аспирантов и студентов, специализирующихся в области поверхностного упрочнения.

УДК 539.22/23+541.412:29.19.21

Рецензенты: д.ф.-м.н., профессор **С.Н. Кульков**,
д.ф.-м.н., профессор **Г.Е. Ремнев**,
д.ф.-м.н. **Ю.Ф. Иванов**

Рекомендовано к печати учеными советами ИФПМ СО РАН и ТГАСУ.

ISBN 978-5-89503-398-2

© ИФПМ СО РАН; ТГАСУ, 2008

© Авторы, текст, 2008

Оглавление

Введение	3
Литература к введению	11
Глава 1. Наноструктурные материалы. Классификация, структура и основные свойства	17
1.1. Методы получения наноструктурных материалов	21
1.2. Нанокристаллические покрытия	23
1.3. Особенности структуры нанокристаллических материалов ...	26
1.4. Особенности механических свойств наноструктурных материалов	30
1.5. Диффузионные свойства наноматериалов	33
1.6. Методы получения, структура и механические свойства объемного ультрамелкозернистого титана	37
Литература к главе 1	49
Глава 2. Механические свойства наноструктурных материалов	53
2.1. Соотношение Холла – Петча и его параметры в широком интервале размеров зерен	54
2.2. Модели Холла – Петча. Механизмы реализации соотношения Холла – Петча на поликристаллическом мезоуровне	56
2.3. Зависимость коэффициента k от размера зерна и проблема перехода его к отрицательному значению	58
2.4. Модели зерен поликристалла мезо- и микроуровней	64
2.5. Основные особенности структуры нанополикристаллического агрегата как следствие ИПД	72
2.6. Структура индивидуальных нанозерен	75
2.7. Зависимость плотности дислокаций от размера зерна и проблема мелких субзерен, не содержащих дислокации ...	76
2.8. Фундаментальные механизмы, приводящие к изменению величины коэффициента Холла – Петча на микроуровне	79
2.9. Механизмы, осуществляющие вклад в процесс проскальзывания по ГЗ	83
2.10. Влияние размера зерна на картину стадий пластической деформации. Деформационное упрочнение	84

2.11. Эволюция дефектной структуры поликристаллов меди микроуровня при пластической деформации.....	92
2.12. Механизмы деформации.....	95
2.13. Критические размеры зерен в нанобласти и механизмы деформации	100
2.14. Сопротивление деформированию. Основные вклады	104
Литература к главе 2	113
Глава 3. Ионное воздействие на поверхность твердых тел.....	119
3.1. Параметры ионной имплантации и ее технологическая реализация	124
3.2. Физико-химические процессы при взаимодействии ускоренных ионов с твердым телом.....	130
3.3. Структурно-фазовые превращения в поверхностных ионно-легированных слоях	145
3.4. Режимы и особенности ионной имплантации, реализованной на источнике «Радуга-5»	152
Литература к главе 3	159
Глава 4. Особенности экспериментального исследования наноматериалов и материалов, подвергнутых ионному облучению	165
4.1. Методика исследований структурно-фазового состояния с использованием просвечивающей электронной микроскопии.....	166
4.2. Оценка среднего размера зерен в наноматериалах и поверхностных ионно-легированных слоях по данным рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии	170
4.3. Анализ текстуры наноструктурных покрытий	180
4.4. Особенности тонкой структуры экстинкционных контуров. 187	
4.5. Внутренние напряжения в ионно-имплантированном слое ..	190
4.6. Измерение остаточных внутренних напряжений в покрытиях методами просвечивающей электронной микроскопии.....	193
Литература к главе 4	196
Глава 5. Интерметаллические и тугоплавкие соединения. Структура и физико-механические свойства.....	201
5.1. Свойства соединений двухкомпонентной системы никель – алюминий.....	204

5.2. Диаграмма состояния и физико-химические свойства соединений системы титан – алюминий	210
5.3. Диаграмма состояния и физико-химические свойства системы титан – никель	216
5.4. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы железо – алюминий	223
5.5. Фазы внедрения (твердые растворы внедрения).....	229
5.6. Сильно нестехиометрические твердые соединения на основе фаз внедрения	234
Литература к главе 5	239
Глава 6. Формирование интерметаллидных фаз	
в наноструктурном состоянии с использованием ионной имплантации	243
6.1. Влияние имплантации ионов титана на элементно-фазовый состав и структурное состояние поверхностных слоев никеля.....	257
6.2. Формирование наноструктурных фаз при имплантации ионов алюминия в никель.....	259
6.3. Модификация структурно-фазового состояния и механических свойств поверхностных слоев титана в условиях имплантации ионами алюминия.....	269
6.4. Структурно-фазовое состояние поверхностных слоев железа, имплантированного алюминием	282
6.5. Общие закономерности формирования наноразмерных фаз в никелевых, титановых и железных матрицах	285
Литература к главе 6	291
Глава 7. Модификация микроструктуры покрытий	
на основе нитрида титана при ионной имплантации.....	294
7.1. Послойное исследование микроструктуры покрытия TiN, имплантированного азотом	297
7.2. Модификация топологии поверхности и физико-механических свойств покрытий в процессе ионной имплантации	312
Литература к главе 7	318