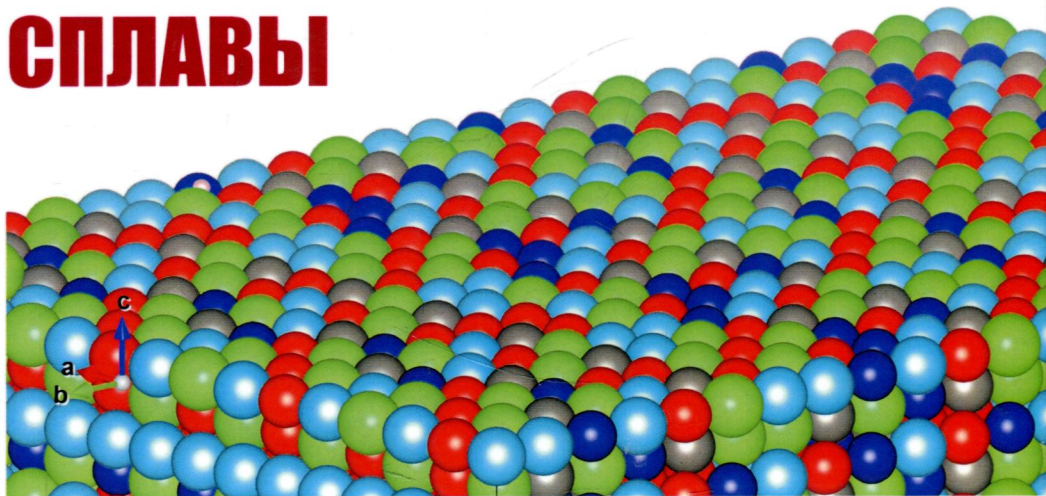


А. Д. Погребняк, Ф. Ф. Комаров, В. М. Береснев,
С. В. Константинов, Г. А. Салищев

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ И ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЕ СПЛАВЫ



И НИТРИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ИХ ОСНОВЕ



URSS

**А. Д. Погребняк, Ф. Ф. Комаров,
В. М. Береснев, С. В. Константинов,
Г. А. Салищев**

**МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ
И ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЕ
СПЛАВЫ
И НИТРИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ
НА ИХ ОСНОВЕ**



**URSS
МОСКВА**

ББК 22.375* 24.12 24.5 30.3 34.1 34.2 35

**Погребняк Александр Дмитриевич, Комаров Фадей Фадеевич,
Береснев Вячеслав Мартынович, Константинов Станислав Валерьевич,
Салищев Геннадий Алексеевич**

**Многокомпонентные и высокоэнтропийные сплавы и нитридные
покрытия на их основе. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 336 с.**

Настоящая монография посвящена первым результатам по созданию многокомпонентных и высокоэнтропийных сплавов и нитридных покрытий на их основе, полученным не только на территории стран СНГ, но и в дальнем зарубежье, например, в Китае, США, Швеции и других странах. В монографии систематизированы результаты исследований свойств и структуры высокоэнтропийных многокомпонентных сплавов разного состава и нитридных покрытий на их основе. В книге даны критерии формирования фаз и подходы к конструированию многоэлементных сплавов. Представлены результаты структурно-фазового состава, механических свойств, морфологии, трибологических свойств разных структур сплавов и нитридов на их основе. Описаны характеристики и свойства многокомпонентных сплавов в зависимости от параметров осаждения, таких как: потенциал смещения, остаточное давление в камере, температура подложки и многие другие параметры. Изложены материалы по модификации структуры и механических свойств многоэлементных покрытий и нитридов облучением ионов разных доз и энергий. Показана перспектива использования этих многоэлементных сплавов и нитридов на их основе в реакторах нового поколения из-за их высокой радиационной стойкости.

Книга предназначена для студентов, аспирантов и научных работников специальностей, занимающихся материаловедением и физикой твердого тела.

Полноцветная версия рисунков для более детального изучения размещена на web-странице настоящей книги в интернет-магазине URSS.ru: <http://urss.ru/272442> (см. также QR-код на обороте обложки)

Рекомендовано к печати Ученым советом Института прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко Белорусского государственного университета

Эскиз обложки: Владислав Rogoz

ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.
Формат 60×90/16. Печ. л. 21. Зак. № 162480.

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские Технологии».
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

ISBN 978-5-9710-8872-1

© ЛЕНАНД, 2021



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

Оглавление

Глава 1. Многокомпонентные покрытия на основе высокоэнтропийных сплавов	7
1.1. Введение.....	7
1.2. Свойства высокоэнтропийных систем.....	9
1.3. Методы получения многокомпонентных систем в виде покрытий	14
1.4. Системы на основе металлических элементов средних масс (Al, Cr, Mo, Ti).....	16
1.5. Сопротивление окислению при термическом отжиге	23
1.6. Системы на основе металлических элементов смешанных масс	25
1.6.1. Структурно-фазовый анализ	26
1.6.2. Механические свойства	29
1.6.3. Морфология поверхности	33
1.6.4. Твердость и модуль упругости	35
1.6.5. Трибологические свойства	36
1.7. Системы на основе металлических элементов больших масс (Ta, Hf, W, Zr).....	43
1.7.1. Морфология поперечного сечения, механические и трибологические свойства.....	48
1.7.2. Кристаллическая структура и фазовый состав	51
1.7.3. Влияние потенциала смещения	54
1.7.4. Влияние парциального давления азота	62
1.7.5. Влияние температуры осаждения.....	68
1.7.6. Сопротивление окислению на воздухе	74
1.7.7. Сопротивление окислению в вакууме.....	84

Выводы к главе 1	87
Литература к главе 1	88
Глава 2. Критерии, определяющие формирование фаз и подходы к конструированию многоэлементных (высокоэнтропийных) сплавов	93
Выводы к главе 2	106
Литература к главе 2	107
Глава 3. Влияние параметров осаждения и термического отжига на элементный и фазовый составы многокомпонентных покрытий	110
3.1. Морфология и элементный состав поверхности исследуемых покрытий	110
3.2. Фазовый состав нитридных покрытий многокомпонентного сплава	130
3.3. Анализ напряженно-деформированного состояния исследуемых образцов	144
3.4. Термическая стабильность наноструктурных покрытий	146
3.5. Механические и трибологические характеристики многоэлементных нитридных покрытий	156
3.6. Механические свойства нитридных покрытий	158
3.7. Трибологические характеристики покрытий	166
Выводы к главе 3	173
Литература к главе 3	174
Глава 4. Модификация структуры и механических свойств многоэлементных покрытий ионным облучением	178
4.1. Исследование структуры и химического состава ВЭС до и после имплантации N^+	180

4.2. Влияние ионной имплантации на фазовый состав	185
4.3. Влияние ионной имплантации на механические свойства.....	191
Выводы к главе 4.....	193
Литература к главе 4.....	194
Глава 5. Радиационная стойкость многоэлементных и высокоэнтропийных сплавов и нитридных покрытий на их основе	200
5.1. Радиационно-стойкие материалы и покрытия для ядерных реакторов и космических аппаратов	200
5.2. Радиационные эффекты в микро- и наноструктурных материалах.....	206
5.3. Перспективные материалы ядерных и термоядерных энергетических установок.....	212
5.4. Радиационная стойкость многоэлементных и высокоэнтропийных сплавов и их нитридов	222
5.5. Методики формирования, ионного облучения и исследований вакуумных наноструктурированных покрытий.....	228
5.5.1. Методики формирования наноструктурированных покрытий.....	228
5.5.2. Методики ионного облучения и отжига сформированных покрытий	232
5.5.3. Методики исследований покрытий.....	234
5.6. Элементный состав, структура и свойства многоэлементных покрытий.....	239
5.6.1. Элементный состав покрытий	239
5.6.2. Фазовый состав, структура и морфология покрытий	243
5.6.3. Микротвердость и трибомеханические свойства покрытий	247

5.7. Влияние высокофлюенсного ионного облучения на состав, структуру и трибомеханические свойства наноструктурированных покрытий TiN, TiAlN, TiAlYN, TiCrN, (TiHfZrVNb)N.....	254
5.7.1. Теоретический расчет параметров высокофлюенсного ионного облучения наноструктурированных покрытий TiN, TiAlN, TiAlYN, TiCrN, (TiHfZrVNb)N.....	254
5.7.2. Элементный состав покрытий после облучения.....	267
5.7.3. Фазовый состав, структура и морфология покрытий после облучения	272
5.7.3.1. Ионное облучение систем TiN, TiAlN, TiAlYN	272
5.7.3.2. Ионное облучение системы $Ti_xCr_{1-x}N$	280
5.7.3.3. Ионное облучение покрытий (TiHfZrVNb)N	286
5.7.4. ДюрOMETрические характеристики покрытий после облучения	290
5.7.5. Трибомеханические характеристики покрытий после облучения	298
Выводы к главе 5.....	314
Литература к главе 5.....	318