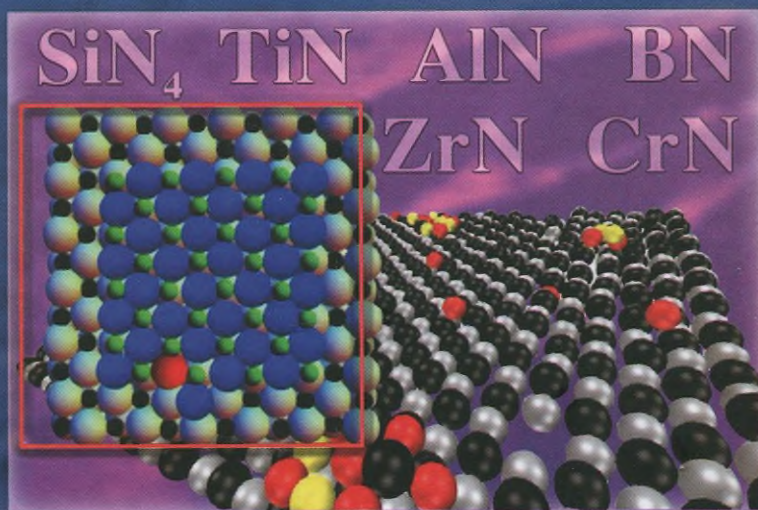


666.3
М34



А.В. РАГУЛЯ, В.М. КРЯЧЕК,
Л.И. ЧЕРНЫШЕВ, Т.В. ГУДИМЕНКО

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ТРАДИЦИОННЫЕ И НОВЫЕ РЕШЕНИЯ



НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК
УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им. И. Н. ФРАНЦЕВИЧА

NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE
FRANTSEVICH INSTITUTE
FOR PROBLEMS OF MATERIALS

A. V. RAGULYA, V. M. KRYACHEK,
T. V. GUDYMENKO, L. I. CHERNYSHEV

**NITRIDE
BASED
MATERIALS -
TRADITIONS
AND NEW SOLUTIONS**

*“SCIENTIFIC BOOK-
PROJECT*

KYIV NAUKOVA DUMKA 2017

А. В. РАГУЛЯ, В. М. КРЯЧЕК,
Л. И. ЧЕРНЫШЕВ, Т. В. ГУДИМЕНКО

**МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ
НИТРИДОВ -
ТРАДИЦИОННЫЕ
И НОВЫЕ РЕШЕНИЯ**

*ПРОЕКТ
“НАУКОВА КНИГА ”*

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2017

В монографии дан анализ современного состояния научных исследований в области создания керамических материалов на основе нитридов методами порошковой металлургии. Систематизированы основные этапы технологии изготовления наиболее распространенных в практике тугоплавких нитридов кремния, титана и алюминия. Обобщены результаты определения физико-механических и функциональных свойств многочисленных нитридных материалов. Рассмотрены закономерности формирования фазового состава и микроструктуры материалов в зависимости от влияния различных факторов. Приведены примеры применения продукции, изготовленной из нитридных материалов и композитов.

Для научных и инженерно-технических работников и конструкторов, материаловедов, преподавателей вузов, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

У монографії проаналізовано сучасний стан наукових досліджень в галузі створення керамічних матеріалів методами порошкової металургії. Систематизовано головні етапи технології виготовлення тугоплавких нітрідів кремнію, титану та алюмінію, найпоширеніших у практиці. Узагальнено результати визначення фізико-механічних і функціональних властивостей численних нітрідних матеріалів. Розглянуто закономірності формування фазового складу і микроструктури матеріалів залежно від впливу різних факторів. Наведено приклади застосування продукції, виготовленої з нітрідних матеріалів і композитів.

Для наукових та інженерно-технічних працівників і конструкторів, матеріалознавців, викладачів вищих навчальних закладів, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

Рецензенты :

доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Украины *П. М. Лобода*,
доктор технических наук, профессор *И. В. Уварова*

*Рекомендовано к печати ученым советом Института проблем
материаловедения имени И. Н. Францевича НАН Украины
(протокол № 4 от 17 мая 2016 г.)*

***Оригінал -макет виготовлено за кошти Цільової комплексної програми
“Створення та розвиток науково-видавничого комплексу
НАН України”***

Научно-издательский отдел медико-биологической,
химической и геологической литературы

Редакторы *О. И. Калашикова, Н. А. Серебрякова*

© А. В. Рагуля, В. М. Крячек,
Л. И. Чернышев, Т. В. Гудименко, 2017
© НВП «Видавництво “Наукова думка”
НАН України», дизайн, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 5 |
| СПИСОК ОСНОВНЫХ ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ВЕЛИЧИН | 6 |
| Г Л А В А 1. ТЕХНОЛОГИИ НИТРИДА КРЕМНИЯ | 7 |
| 1.1. Методы получения и свойства порошков | 10 |
| 1.2. Спекание микронных порошков..... | 29 |
| 1.3. Функциональные композиционные материалы на основе нитрида кремния | 74 |
| Г Л А В А 2. ТЕХНОЛОГИИ И СВОЙСТВА НИТРИДА ТИТАНА | 133 |
| 2.1. Методы получения порошков нитрида титана | 133 |
| 2.2. Высокотемпературная консолидация порошков..... | 165 |
| 2.3. Материалы на основе нитрида титана | 194 |
| Г Л А В А 3. НИТРИД АЛЮМИНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА ЕГО ОСНОВЕ..... | 265 |
| 3.1. Получение порошков | 268 |
| 3.2. Способы консолидации порошков | 306 |
| 3.3. Материалы на основе нитрида алюминия..... | 320 |
| 3.4. Взаимодействие нитрида алюминия с металлами и агрессивными средами | 383 |
| Г Л А В А 4. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ НИТРИДНЫХ ПОРОШКОВ И УДЛИНЕННЫХ СТРУКТУР | 391 |
| 4.1. Классификация наноструктур | 391 |
| 4.2. Получение порошков | 399 |
| 4.3. Композиционные порошки | 420 |
| 4.4. Дополнительная обработка порошков | 427 |
| 4.5. Получение композитов с нанодисперсными фазами | 431 |
| 4.6. Упрочнение нитридов удлинненными структурами | 437 |
| Г Л А В А 5. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНСОЛИДАЦИИ НАНОСТРУКТУРНЫХ НИТРИДОВ | 455 |
| 5.1. Формование нанопорошков | 455 |
| 5.2. Высокотемпературная консолидация..... | 462 |
| 5.3. Новые подходы к управлению структурообразованием в нитридных наноматериалах и их исследованию..... | 482 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 493 |
| SUMMARY | 494 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 495 |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| INTRODUCTION | 5 |
| LIST OF BASIC CONVENTIONAL ABBREVIATIONS OF THE QUANTITIES..... | 6 |
| C H A P T E R 1. TECHNOLOGY SILICON NITRIDE INTRODUCTION | 7 |
| 1.1. Methods of preparation and properties of powder | 10 |
| 1.2. Sintering powder | 29 |
| 1.3. Funcional composite materials based on silicon nitride | 74 |
| C H A P T E R 2. TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF TITANIUM NITRIDE | 133 |
| 2.1. Methods for manufactures of titanium nitride powder..... | 133 |
| 2.2. High consolidation powder | 165 |
| 2.3. Materials based titanium nitride..... | 194 |
| C H A P T E R 3. ALUMINUM NITRIDE AND BASED MATERIALS | 265 |
| 3.1. The resulting powder | 268 |
| 3.2. Methods of powder's consolidation | 306 |
| 3.3. Materials based on aluminum nitride | 320 |
| 3.4. Interaction of AlN with metals and corrosive environment | 383 |
| C H A P T E R 4. GETTING NANOSIZED NITRIDE POWDERS AND ELONGATED STRUCTURES | 391 |
| 4.1. Classification of nanostructures..... | 391 |
| 4.2. The resulting powder | 399 |
| 4.3. Composite powders | 420 |
| 4.4. Further treatment of powders | 427 |
| 4.5. Obtained composite nanostructured phases..... | 431 |
| 4.6. Nitride hardened with elongated structures..... | 437 |
| C H A P T E R 5. MODERN CONSOLIDATION TECHNOLOGIES FOR NANOSTRUCTURED NITRIDES | 455 |
| 5.1. Forming nanopowder..... | 455 |
| 5.2. High temperature consolidation | 462 |
| 5.3. New approaches to structure control in nitride nanomaterials..... | 482 |
| CONCLUSION | 493 |
| SUMMARY | 494 |
| REFERENCES | 495 |