

**А.П. АМОСОВ, Г.В. БИЧУРОВ**

**АЗИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА  
МИКРО- И НАНОПОРОШКОВ НИТРИДОВ**



Москва  
Машиностроение-1  
2007

**Амосов А.П., Бичуров Г.В.** Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридов. М.: Машиностроение-1, 2007.- 526 с.

Изложены результаты исследований процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) нитридов с применением неорганических азидов и галоидных солей (СВС-Аз), а также технология и оборудование для производства порошков этих нитридов. Приведена удобная классификация азидных систем СВС, которая включает разделы "Процессы СВС-Аз", "Составы СВС-Аз" и "Продукты СВС-Аз". Представлены результаты исследования закономерностей горения компонентов систем "Элемент – азид – галогенид" и синтеза нитридов. Исследовано влияние давления газа в реакторе, плотности исходной шихты, содержания компонентов в системах, размера частиц исходных компонентов и относительной плотности загрузки реактора на образование нитридов  $Si_3N_4$ ,  $AlN$ ,  $BN$ ,  $TiN$ ,  $ZrN$ ,  $HfN$ ,  $VN$ ,  $NbN$ ,  $TaN$ ,  $CrN$ ,  $MoN$ ,  $WN$ ,  $Fe_2N$ ,  $Co_2N$ ,  $Ni_3N$  и  $GaN$ . Определены общие особенности и взаимосвязь закономерностей горения азидных систем СВС и синтеза нитридов. Исследованы механизмы химических реакций и структурообразования нитридов. Определены характеристики порошков нитридов марки СВС-Аз. Показано, что азидная технология СВС позволяет получать микро- и нанопорошки нитридов высокого качества и является весьма перспективной для производства наноматериалов.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемой синтеза тугоплавких соединений. Книга может быть также полезна для аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Ил.170. Табл.139. Библиогр.362 назв.

ISBN 978-5-94275-344-3

© А.П. Амосов, Г.В. Бичуров, 2007  
© Машиностроение-1, 2007

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
<b>1. Получение, свойства и области применения нитридов</b>	<b>12</b>
1.1. Свойства и области применения нитридов	12
1.2. Технологические процессы получения нитридов	18
1.2.1. Синтез в электропечах сопротивления	18
1.2.2. Плазмохимический синтез	23
1.2.3. Малоемкие технологии	24
1.2.4. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез	26
1.3. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов с применением неорганических азидов	31
<b>2. Классификация составов, продуктов и процессов СВС-Аз</b>	<b>36</b>
2.1. Процессы СВС-Аз	37
2.2. Составы СВС-Аз	38
2.2.1. Системы "элемент – азид"	43
2.2.2. Системы "оксид элемента – восстановитель - азид натрия"	47
2.2.3. Системы "элемент - азид натрия – галоидная соль"	48
2.3. Продукты СВС-Аз	50
<b>3. Выбор методик, оборудования и условий синтеза для исследований</b>	<b>54</b>
3.1. Методика, приборы и оборудование, предназначенные для исследований	54
3.1.1. Методика проведения синтеза, измерения линейных скоростей и максимальных температур горения	54
3.1.2. Методика анализа синтезируемых продуктов	60
3.1.3. Погрешность измерений и аппроксимация графических зависимостей	67
3.2. Характеристика исходного сырья и материалов, используемых при синтезе нитридов в режиме СВС-Аз	68
3.3. Расчёт содержания компонентов исходных смесей и содержания азота в нитридах	76
3.4. Выбор технологических параметров, влияющих на процесс синтеза нитридов	77

<b>4. Термодинамический анализ образования нитридов в режиме СВС–Аз</b>	84
4.1. Нитрид кремния	87
4.2. Нитрид алюминия	89
4.3. Нитрид бора	92
4.4. Нитриды металлов	94
4.5. Расчет равновесных концентраций продуктов синтеза	98
<b>5. Закономерности горения азидных систем и синтеза тугоплавких азотсодержащих соединений</b>	103
5.1. Нитрид кремния	104
5.2. Нитрид алюминия	130
5.3. Нитрид бора	154
5.4. Нитрид титана	157
5.5. Нитрид циркония	195
5.6. Нитрид гафния	210
5.7. Нитрид ванадия	224
5.8. Нитрид ниобия	234
5.9. Нитрид тантала	241
5.10. Нитрид хрома	247
5.11. Нитрид молибдена	253
5.12. Нитрид вольфрама	256
5.13. Нитрид железа	259
5.14. Нитрид кобальта	265
5.15. Нитрид никеля	273
5.16. Нитрид галлия	278
5.17. Особенности, общие тенденции и взаимосвязь закономерностей горения азидных систем СВС и синтеза нитридов в режиме СВС-Аз	285
<b>6. Химическая стадийность и структурообразование нитридов в режиме СВС-Аз</b>	300
6.1. Химическая стадийность образования нитридов в режиме СВС-Аз	300
6.2. Структурообразование нитридов в режиме СВС-Аз	312
6.3. Исследование процесса и условий получения порошка нитрида кремния $\alpha$ -модификации	336

<b>7. Характеристика порошков СВС-Аз и керамики на их основе</b>	347
7.1. Порошки марки СВС-Аз	347
7.1.1. Физические свойства	347
7.1.2. Химические свойства	352
7.2. Керамика на основе порошков марки СВС-Аз	359
<b>8. Перспективы развития азидной технологии СВС</b>	374
8.1. Синтез композиций на основе нитридов	374
8.2. Синтез карбонитридов	379
8.3. Использование оксидов азотируемых элементов в процессах СВС-Аз	381
8.4. Использование органических соединений в процессах СВС-Аз	384
8.5. Динамическое микролегирование и СВС-Аз	386
8.6. Совмещение СВС-Аз и взрывного компактирования	389
<b>9. Технологический процесс СВС-Аз</b>	394
9.1. Лабораторная установка, включающая реактор постоянного давления	394
9.2. Опытно-промышленная установка, включающая реактор СВС-Аз объемом 19,4 литра	399
9.3. Экологические проблемы азидной технологии СВС	411
<b>10. Использование материалов и технологии СВС-Аз в народном хозяйстве</b>	419
10.1. Использование порошков марки СВС-Аз	419
10.2. Использование керамики на основе порошков марки СВС-Аз	421
10.3. Внедрение технологических процессов СВС-Аз	424
10.4. Сравнительная оценка качества порошков различных технологий синтеза	428
Заключение	433
Библиографический список	437
Приложения	477