

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
СИСТЕМЫ

БИМСХ, Институт порошковой металлургии

Электрические свойства нитридов III и IV группы элементов периодической системы существенно отличаются из-за различия их электронного строения. Перспективным неметаллическим материалом нитридов III группы элементов является нитрид алюминия  $AlN$ , обладающий высокими диэлектрическими (при температуре 293 К диэлектрическая проницаемость порядка 10, тангенс угла диэлектрических потерь порядка  $10^{-3}$  на частоте 100 кГц,  $\rho \approx 10^{13}$  Ом см) и теплофизическими (значение коэффициента теплопроводности порядка 180 Вт/м К) свойствами и который все шире используется в электронной технике [2-4]. Нитрид титана  $TiN$  (представитель нитридов IV группы элементов) обладает металлической проводимостью (удельное электросопротивление  $\rho = 4,5 \cdot 10^{-5}$  Ом см [1]) и также широко используется в технике [2]. Так как электрические свойства  $TiN$  существенно зависят от примесей, можно ожидать, что электропроводность материалов двухфазной системы  $AlN - TiN$  будет определяться содержанием  $TiN$ .

Для получения высокоплотной керамики из нитридов алюминия и титана методами горячего прессования или спекания в азотных средах используют активирующие добавки, которые влияют на физические свойства нитридов. Технология высоких давлений позволяет получать высокоплотные материалы без активирующих добавок при малом времени спекания.

Целью работы являлось исследование электрических и упругих свойств композиционных материалов  $AlN - TiN$ , полученных с использованием технологий высоких давлений.

В качестве исходного служили порошки, полученные способом плазмохимического синтеза: нитрид алюминия с содержанием 0,7 % свободного алюминия, нитрид титана с содержанием свободного титана

0,3 %. Удельная поверхность порошков порядка  $15 \text{ м}^2/\text{г}$ . Баротермическая обработка заготовок из порошковых смесей  $\text{AlN} - \text{TiN}$  производилась на аппаратах высокого давления типа "елочка" при давлении 6,3 ГПа в интервале температур 1173-2373 К. С целью уменьшения диссоциированного азота из системы  $\text{AlN} - \text{TiN}$  в процессе спекания заготовки из порошковой смеси помещали в экранирующие оболочки из нитрида бора. Величину удельного сопротивления определяли с помощью электрометра В7-30 и тераомметра Е6-13А. Модуль Юнга определяли ультразвуковым методом. Плотность (кажущаяся) материала определялась методом гидростатического взвешивания.

Установлено, что зависимость плотности от состава  $g(x)$  композиционного материала  $\text{AlN} - \text{TiN}$ , полученного при давлении 6,3 ГПа и температурах 1173-2073 К при времени спекания 45 с, наиболее близка к теоретической зависимости  $g(x)$  (рис. 1, кривые 1, 2). По данным рентгенофазового анализа исследуемый материал при указанных параметрах спекания остается двухфазным. Плотность материала  $\text{AlN} - \text{TiN}$  при температурах спекания  $T > 1873 \text{ К}$  под давлением 6,3 ГПа зависит и от времени спекания. Например, при температуре спекания 2023 К и 6,3 ГПа при времени спекания 240 с плотность образцов  $\text{AlN}$  уменьшилась на 18 %, а плотность образцов  $\text{TiN}$  - 7 % (рис. 1, кривая 3). Уменьшение плотности при данных условиях спекания, вероятно, связано с процессами диссоциации молекул  $\text{AlN}$  и  $\text{TiN}$  на атомы и частичной диффузии азота в контейнер. При температуре спекания  $T \geq 2073 \text{ К}$  при 6,3 ГПа в образцах  $\text{AlN} - \text{TiN}$  наблюдается увеличение их пористости и уменьшение плотности (рис. 1, кривая 3). Методом рентгенофазового анализа, например, на образцах  $\text{AlN}$ , полученных при температуре спекания 2073 К под давлением 6,3 ГПа при времени спекания 180 с, на рентгенограммах наряду с линиями основной фазы отмечено наличие линий слабой интенсивности, характерных для  $\text{TiO}_2$ .

Физико-механические свойства, в частности, упругие свойства неметаллических нитридов, зависят от свойств исходных порошков, их обработки, режимов синтеза [5,6]. В двухфазной системе  $\text{AlN} - \text{TiN}$  наблюдается отклонение экспериментальных зависимостей модуля упругости от состава  $E(x)$  (рис. 1, кривые 5,6), от теоретической зависимости  $E(x)$  (рис. 1, кривая 5). Повышение значения модуля

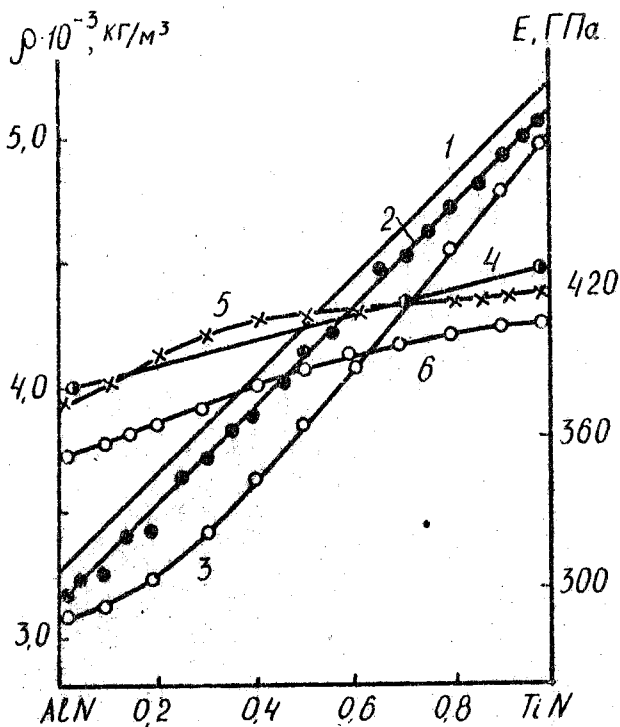


Рис. 1 Зависимости плотности (кривые 1-3, 1 - теоретическая кривая) и модуля упругости (кривые 4-6, 4 - теоретическая кривая) от состава (температура измерения 293 К) двухфазной системы  $AlN - TiN$ , полученных при давлении 6,3 ГПа и температурах: 2,5 - 1923 К (время спекания 45 с); 3,6 - 2173 К (время спекания 180 с).

упругости материалов системы  $AlN_x Ti N_{1-x}$  при  $0,2 < x < 0,4$ , полученных при давлении 6,3 ГПа и температуре 1923 К (время спекания 45 с), вероятно, связано со спецификой межкристаллитного взаимодействия в данных материалах. Значения модуля упругости образцов системы  $AlN - TiN$ , полученных при 6,3 ГПа и температуре 2073 К (время спекания 180 с), отличаются от теоретических значений, вследствие дефектов кристаллической решетки, пористости, образовавшем  $TiO$  в процессе спекания.

Зависимость удельного электросопротивления от состава  $\rho'(x)$  образцов системы  $AlN - TiN$ , полученных при давлении 6,3 ГПа и температуре 1923 К, характерна для гетерофазных систем типа "диэлектрик-проводник". Из таблицы I видно, что у образцов системы  $AlN - TiN$  при концентрациях  $TiN$  меньше 7 вес. % не образуется связанная структура  $TiN$ .

I. Удельное электросопротивление при комнатной температуре 293 К образцов системы  $AlN - TiN$ , полученных при давлении 6,3 ГПа и температуре 1923 К (время спекания 45 с).

Состав в вес. %	$AlN$	$0,97AlN - 0,03TiN$	$0,95AlN - 0,05TiN$
$\rho', \text{Ом см}$	$10^{12}$	$5 \cdot 10^9$	$4,7 \cdot 10^6$
Состав в вес. %	$0,093AlN - 0,07TiN$	$0,9AlN - 0,1TiN$	$0,7AlN - 0,3TiN$
$\rho', \text{Ом см}$	$1,6 \cdot 10^4$	$0,91$	$7,3 \cdot 10^{-3}$
Состав в вес. %	$0,5AlN - 0,5TiN$	$0,3AlN - 0,7TiN$	$TiN$
$\rho', \text{Ом см}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$

В заключение следует отметить, что интенсивные процессы тепло- и массопереноса при образовании двухфазной системы под давлением 6,3 ГПа происходят в интервале температур 1673 - 1973 К. Высокие модули упругости ряда составов системы  $AlN - TiN$  указывают

на практическое применение их в качестве фильер для протяжки проволоки из сплавов алюминия. В практическом плане представляет интерес и ряд составов системы, у которых температурный коэффициент удельного электросопротивления близок к нулю.

### Л и т е р а т у р а

1. Самсонов Г.В. Нитриды.-Киев:Наукова думка,1969.-378 с.
2. Неметаллические тугоплавкие соединения /Т.Я.Косолапова, Т.В.Андреева, Т.Б.Бортницкая и др. М.:Металлургия,1985.-222 с.
3. Такаמידзава Х. Технология изготовления подложек из нитрида алюминия композиции "Нихон Дэнки" - Эрекуторонику сэрамикусу, 1986 У.18.-№86.-Р.28-32.
4. Нитрид алюминия - новый высокотемпературный диэлектрик / В.Г.Аветиков, М.Д.Бердашская, Э.Е.Неделько и др. //Электронная техника. Сер. 6, Материалы, 1984.-В.6.-С.54-57.
5. Францевич И.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов //Справочник.-Киев: Наукова думка.-1982.-286 с.
6. Гнесин Г.Г. Бескислородные керамические материалы.-Киев: Наукова думка.-1987.-151 с.