

05; 12

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ И ДИФФУЗИИ  
В СИСТЕМАХ  $SiC-NbC$ ,  $SiC-TiC$ ,  $SiC-ZrC$ Г.К. Сафаралиев, Ю.М. Таиров,  
В.Ф. Цветков, Ш.Ш. Шабанов

1. Повышенный интерес к исследованию диффузионных процессов в системах  $SiC - NbC$ ,  $SiC - TiC$  и  $SiC - ZrC$  вызван стремлением выяснить те физические закономерности, которые необходимы при создании новых материалов. А именно, изучение диффузионных процессов в этих системах позволило бы определить условия образования твердых растворов, а также получение на их основе высокопрочной конструкционной керамики. Немаловажным является и тот факт, что, за исключением [1], в литературе отсутствуют данные по исследованию диффузионных процессов в системах  $SiC - NbC$ ,  $SiC - TiC$  и  $SiC - ZrC$ .

2. Проведено исследование, наглядно демонстрирующее непосредственное твердофазное взаимодействие между монокристаллами  $SiC$  политаипа 6H и  $NbC$ ,  $TiC$ ,  $ZrC$ . Сложенные „сэндвичем“ монокристаллы подвергались процессу горячего прессования в запышке порошка  $SiC$  дисперсностью  $5 \cdot 10^{-6}$  м. Температура горячего прессования составляла 2270–2570 К, давление прессования изменялось в диапазоне 20–40 МПа. Размеры монокристаллов  $SiC$  с одной стороны и  $NbC$ ,  $TiC$  и  $ZrC$ , с другой стороны составляли  $(5-6) \cdot 10^{-3}$  м по диаметру и до  $10^{-3}$  м по толщине.

3. Элементный состав и профиль распределения в тонком слое вблизи границы  $SiC - NbC$ ,  $SiC - TiC$  и  $SiC - ZrC$  исследовали методом электронной Оже-спектроскопии (ЭОС) на Оже-микроанализаторе „JAMP“. Данные по Оже-спектроскопии свидетельствуют о размытости границы раздела между монокристаллами  $SiC$  и  $NbC$ ,  $SiC$  и  $TiC$ ,  $SiC$  и  $ZrC$ , что указывает на интенсивный диффузионный процесс.

Анализ концентрационных профилей показал, что они весьма сходны и сосредоточены вблизи границы раздела, причем непрерывное возрастание парциальных атомных концентраций  $C_{Nb}$ ,  $C_{Ti}$ ,  $C_{Zr}$  в кристаллах  $SiC$  приводит одновременно к уменьшению  $C_{Si}$ . Установлено, что растворимость  $Nb$  в  $SiC$  выше, чем  $Si$  в  $NbC$ , а ход зависимости парциальной атомной концентрации  $C_{Si}$  от  $X$  в системе  $SiC - TiC$  отличается от аналогичных зависимостей для  $C_{Si}$  в системах  $SiC - NbC$ ,  $SiC - ZrC$ . Детальный анализ границы раздела показал отсутствие включений второй фазы в химических соединениях, имеющих место в системах

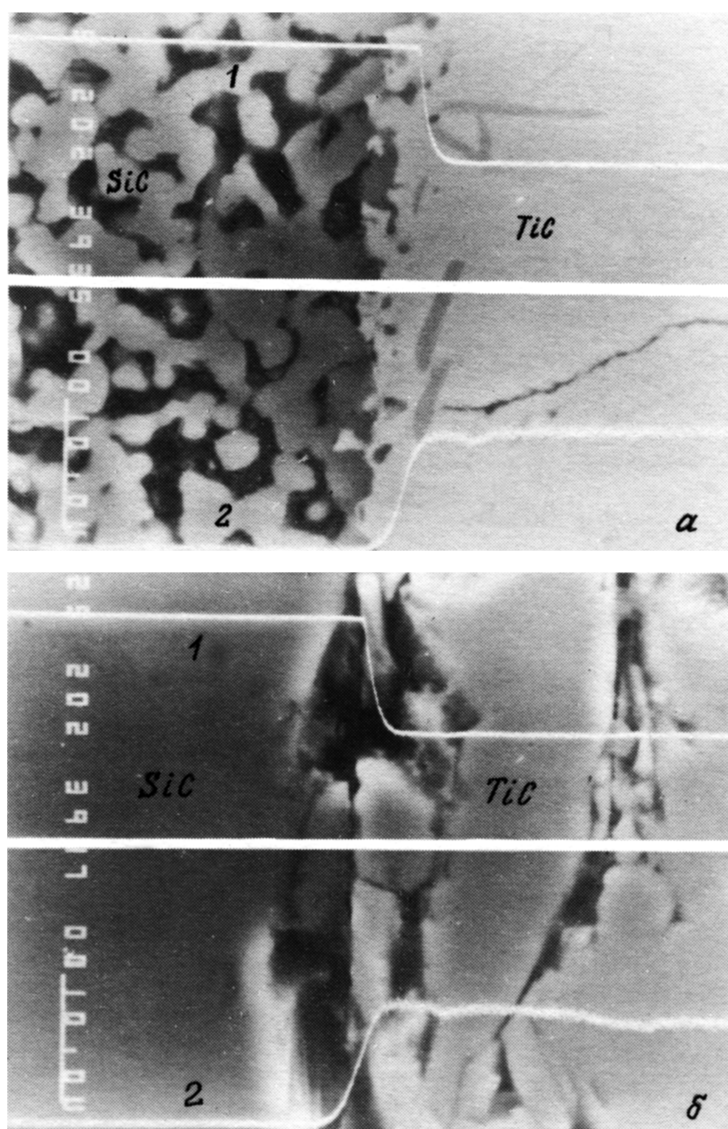


Рис. 1. Концентрационные профили  $Ti$  и  $Si$  в приконтактной области в системе  $SiC - TiC$  при  $T=2370$  К. а -  $SiC$  - поликристалл -  $TiC$  - монокристалл, б -  $SiC$  - монокристалл -  $TiC$  монокристалл; 1 - распределение парциальной атомной концентрации  $C_{Si}$  по толщине, 2 - распределение парциальной атомной концентрации  $C_{Ti}$  по толщине.

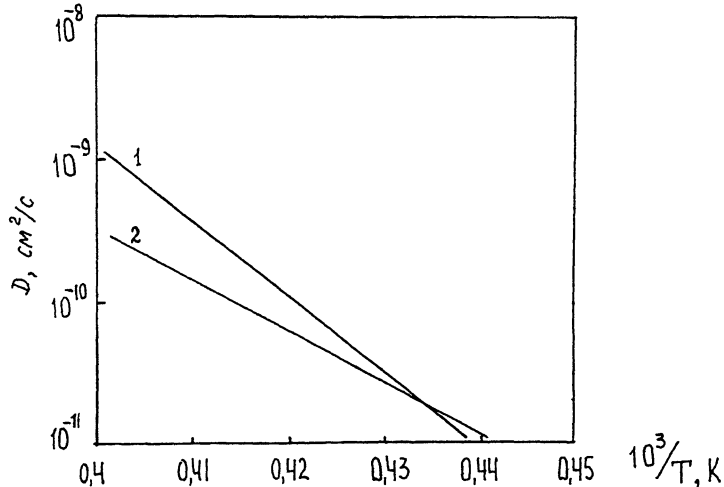


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициентов диффузии. 1 - в монокристаллическом  $\text{SiC}$  ( $D_{\text{Nb-SiC}}$ ), 2 - в монокристаллическом  $\text{NbC}$  ( $D_{\text{Si-NbC}}$ ).

$\text{SiC} - \text{NbC}$ ,  $\text{SiC} - \text{TiC}$  и  $\text{SiC} - \text{ZrC}$ . На рис. 1, а, б дано изображение концентрационных профилей  $C_{\text{Ti}}$  и  $C_{\text{Si}}$  в системах монокристалл  $\text{TiC}$  - поликристалл  $\text{SiC}$  и монокристалл  $\text{TiC}$  - монокристалл  $\text{SiC}$ . Видно, что для обоих случаев ход зависимости парциальных атомных концентраций  $C_{\text{Ti}}$  и  $C_{\text{Si}}$  от  $X$  аналогичны, причем кремний сохраняет свою концентрацию вплоть до границы раздела. По концентрационным профилям  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ti}$  и  $\text{Zr}$  в монокристалле  $\text{SiC}$  и  $\text{Si}$  в монокристаллах  $\text{NbC}$ ,  $\text{TiC}$  и  $\text{ZrC}$  был проведен расчет диффузионных параметров. Анализ твердофазной диффузии проводился на основе модели диффузии из неограниченного источника [2]. Значения коэффициентов диффузии компонентов в этих системах при температуре  $T=2370$  К приведены в таблице. Были также определены

### Т а б л и ц а

Значения коэффициентов диффузии компонентов в системах  $\text{SiC-NbC}$ ,  $\text{SiC-TiC}$ ,  $\text{SiC-ZrC}$

$D_{\text{Nb-SiC}} = 2.3 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$	$D_{\text{Si-NbC}} = 0.15 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$
$D_{\text{Zr-SiC}} = 2.2 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$	$D_{\text{Si-ZrC}} = 0.7 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$
$D_{\text{Ti-SiC}} = 6.3 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$	$D_{\text{Si-TiC}} = 0.34 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$

температурные зависимости коэффициентов диффузии в этих системах в интервале температур 2270–2500 К. На рис. 2 приведена зависимость  $D \sim f\left(\frac{1}{T}\right)$  для системы  $SiC - NbC$ . Видно, что значение коэффициента диффузии  $Nb$  в  $SiC$  ( $D_{Nb-SiC}$ ) с ростом температуры возрастает быстрее, чем  $D_{Si-NbC}$ . По температурной зависимости коэффициентов диффузии  $D_{Nb-SiC}$  и  $D_{Si-NbC}$  были определены значения кажущейся энергии активации процессов диффузии в системе  $SiC - NbC$ , которые составляли  $Q_{Nb-SiC} = 8.16$  эВ,  $Q_{Si-NbC} = 6.96$  эВ.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности образования твердых растворов в исследованных системах.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Brewer L., Krikorian O. // J. Electrochem. Soc. 1956. V. 103. P. 38-43.
- [2] Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. М.: Высшая школа, 1984. 288 с.

Дагестанский  
государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
1 ноября 1991 г.