

Рассмотренный эффект аномального поглощения сдвиговых волн может быть использован для изучения свойств малых объемов жидкости, для изучения эффектов, связанных с образованием двойного электрического слоя на границе раздела твердое тело – электролит, для эффективной передачи энергии и разогрева тонких слоев жидкости, а также для нахождения толщин этих слоев и, как следствие этого, для определения микрорельефа и неоднородностей на поверхности твердого тела.

Авторы выражают благодарность В.И. Беклемышеву, И.И. Махонину и Л.А. Чернозатонскому за обсуждение полученных результатов и возможностей практического использования рассмотренного эффекта.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ландау Л.Д.; Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука. 1986. 736 с.
- [2] Плесский В.П., Тен Ю.А. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 5. С. 296-300.

Поступило в Редакцию
21 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 21

12 ноября 1989 г.

05.4

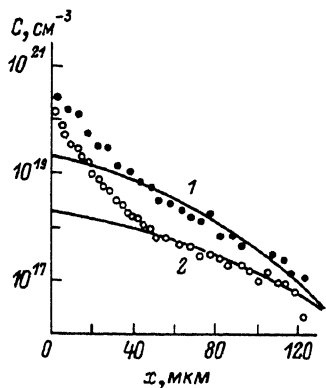
ДИФфуЗИЯ СЕРЕБРА И МЕДИ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКЕ СИСТЕМЫ $Y-Ba-Cu-O$.

С.Ф. Гафаров, Т.Д. Джафаров,
Г.С. Куликов, Р.Ш. Малкович,
Е.А. Скорятина, В.П. Усачева

1. Изменение атомного состава высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) зачастую оказывает сильное влияние на характеристики материала [1], в связи с чем исследование самодиффузии и диффузии примесей в ВТСП имеет важное научное и практическое значение. Процессы атомной диффузии играют важную роль в технологии ВТСП – при изготовлении материала, создании контактов, различных температурных обработках и т.д., а также определяют стабильность ВТСП [2, 3].

До настоящего времени исследовалась в основном диффузия кислорода [4-7]. Диффузия других элементов в ВТСП уделялось сравнительно мало внимания. Чанг и Барр [8] определили коэффициент диффузии серебра в массивном образце $SrBa_2Cu_3O_7$ при одной температуре 931 °С. Накаджима и др. [9] исследовали диффузию компо-

Рис. 1. Концентрационные профили примесей после диффузии в γ -Ba-Cu-O. 1 - медь (800 °C, 10 мин), 2 - серебро (700 °C, 11 мин). Сплошные кривые - *erfc* функции.



нент подложки (*Si*, *Mg* и *Al*) в пленке $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ в интервале 603–953 °C и определили значения коэффициентов диффузии и энергии активации. О диффузии компонент подложки и самодиффузии в пленках γ -Ba-Cu-O сообщалось также в работе О.М. Бакунина и др. [10].

Настоящая работа посвящена исследованию диффузии серебра и меди в массивные образцы спеченой керамики системы γ -Ba-Cu-O. Серебро используется в качестве контакта в ВТСП, а также в качестве покрытия [8, 11].

2. Использовались образцы спеченой керамики γ -Ba-Cu-O в виде параллелепипедов с размерами 8x8x1.5 мм. Пористость составляла ~25%. Диффузия исследовалась с применением радиоактивных изотопов ^{110m}Ag и ⁶⁴Cu. Слой диффузанта толщиной ~1 мкм наносился на одну сторону образца вакуумным напылением. Диффузионный отжиг проводился на воздухе в интервале 500–800 °C. Продолжительность отжига t варьировалась от 10 минут до 33 часов. Глубина диффузии изменялась при этом от ~80 до нескольких сот мкм. После отжига с образцов на шлифовальной шкурке М20 и М28 снимались плоскопараллельные слои толщиной от 1 до 10 мкм и измерялась гамма-активность этих слоев.

3. Профиль концентрации $c(x)$ состоял из двух участков (рис.1). Первый, начальный участок (до ~20–40 мкм) характеризовался весьма резким изменением концентрации и слабо зависел от времени и температуры. Для второго участка характерным было сравнительно плавное изменение концентрации и четко выраженная зависимость от температуры и продолжительности диффузионного отжига. Анализ в настоящей работе подвергался именно этот участок концентрационного профиля. При этом предполагалось, что диффузия подчиняется закону Фика и соблюдается условие постоянного источника: $c(0, t) = c_0 = \text{const}$. Поскольку толщина образца намного превышала глубину диффузии, можно было считать образец полубесконечным телом и использовать для определения коэффициента диффузии D соотношение $c = c_0 \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$. Обычно удавалось удовлетворительно сопоставить второй участок концентрационного профиля с кривой *erfc* (рис. 1).

Коэффициент диффузии серебра изменяется в исследованном интервале температур от ~10⁻⁹ до ~10⁻⁷ см²с⁻¹, а меди - от ~10⁻¹⁰ до ~10⁻⁸ см²с⁻¹. Зависимость коэффициента диффузии

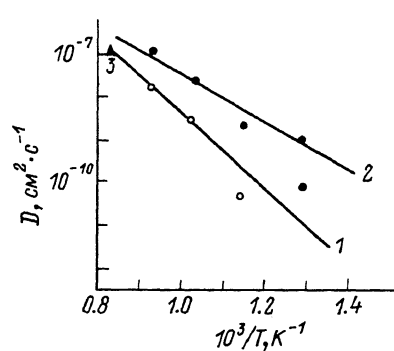


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициентов диффузии меди (1) и серебра (2) в $Y - Ba - Cu - O$. 3 - коэффициент диффузии серебра в $SmBa_2Cu_3O_7$ [8].

от температуры может быть описана при этом соотношениями (рис. 2) $D = 0.01 \exp(-\frac{1.1 \text{ эВ}}{kT}) \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ для серебра и $D = 3 \exp(-\frac{1.7 \text{ эВ}}{kT}) \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

Следует заметить, что процесс диффузии в исследованном материале, обладающем, как отмечено выше, значительной пористостью, носит сложный характер, в связи с чем полученные значения D являются эффективными значениями, определяемыми перемещением атомов как в объеме, так и по границам зерен и поверхности пор. Наличие начального участка концентрационного распределения, носящего недиффузионный характер, также связано, на наш взгляд, с пористостью материала: в процессе напыления пленки атомы Ag и Cu попадают на внутреннюю поверхность открытых пор до глубин $\sim 20-40$ мкм.

В заключение отметим, что данные, полученные нами для диффузии серебра в иттриевой керамике, находятся в удовлетворительном согласии с данными Чанг и Барра [8] для диффузии серебра в $SmBa_2Cu_3O_7$ (см. рис. 2).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Высокотемпературные сверхпроводники / Под ред. Д. Нелсона и др., М.: Мир, 1988. 400 С.
- [2] Bachtler H., Lorenz W.J., Schindler W., Saemann-Ischenko. // J. Electrochem. Soc. 1988. V. 135. N 9. P. 2284-2287.
- [3] Akachi T., Escudero R., Barrio R.A., Rios-Jara D., Baños L. // J. Phys. C. 1988. V. 21. N 13. P. 2565-2570.
- [4] Rosenberg R.A., Wen C.R. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 16. P. 9852-9855; 1988. V. 38. N 10. P. 7117.
- [5] Yeh N.-C., Tu K.N., Park S.I., Tsuei C.C. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 10. P. 7087-7090.

- [6] Yoshida A., Tamura H., Morohashi S., Hasuo S. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 9. P. 811-813.
- [7] Ikuma Y., Akijoshi S. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 8. P. 3915-3917.
- [8] Chung G., Barr L.W. // Sol. St. Comm. 1988. V. 67. N 2. P. 123-124.
- [9] Nakajima H., Yamaguchi S., Iwasaki K., Morita H., Fujimori H. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 15. P. 1437-1439.
- [10] Бакунин О.М., Выходец В.Б., Клоцман С.М., Левин А.Д., Матвеев С.А., Степанов К.А. // Тез. Всес. школы „Диффузия и дефекты“. Свердловск. 1989. С. 48.
- [11] Бессергеев В.Г., Диковский В.Я. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 37-40.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
17 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 21

12 ноября 1989 г.

01; 05.1

РАСЧЕТ УДАРНЫХ АДИАБАТ ПОРИСТЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ ПСЕВДОПОТЕНЦИАЛА

В.Ф. Лемберг, С.Г. Псахье,
В.Е. Панин

При создании новых материалов высокоэнергетическим импульсным воздействием часто в качестве исходной среды используются металлы с исходной пористостью (порошки, тела с внутренними пустотами, волокнистые материалы и т.д.). В связи с этим особое значение приобретает изучение влияния исходной пористости материалов на их свойства при ударно-волновом нагружении. В то же время корректные методики расчета разработаны, в основном, лишь для идеальных материалов. В настоящей работе исследуется влияние исходной пористости на ударные адиабаты непереходных металлов. В качестве примера приведены результаты, полученные для натрия и алюминия, как для непереходных металлов с различной валентностью и типом кристаллической структуры.

Основные закономерности ударного сжатия пористых твердых тел были рассмотрены еще в [1], где теоретически было предска-