

- [4] Артемов В.И., Руткевич И.М., Синкевич О.А. // ТВТ, 1980, Т. 18, № 6, С. 1126-1136.
- [5] Комов В.И., Руткевич И.М. XI Всес. конф. по генераторам низкотемпературной плазмы, Новосибирск, Тез. докл. 1989, Т. 1, С. 216-217.
- [6] Липатов Н.И., Минеев А.П., Мышенков В.И., Пашинин П.П., Прохоров А.М. Газовый разряд и волноводные молекулярные лазеры. Труды ИОФАН, Т. 17, М.: Наука, 1989. С. 3-52.

Поступило в Редакцию  
7 марта 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 8

26 апреля 1991 г.

05

© 1991

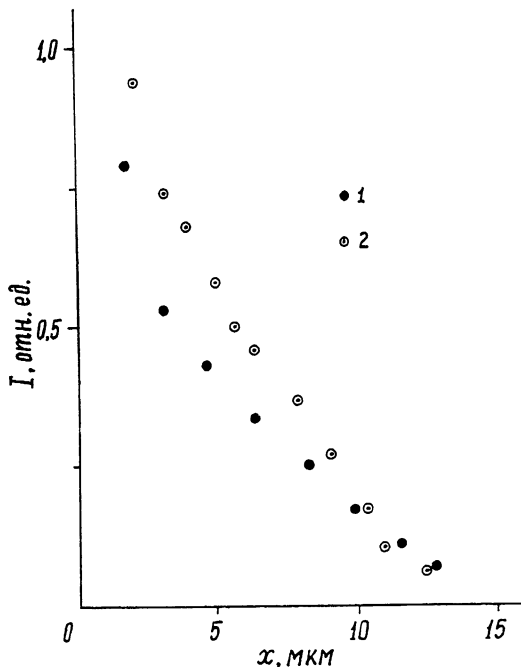
### ЗАМЕДЛЕНИЕ ЗЕРНОГРАНИЧНОЙ ДИФФУЗИИ $^{63}\text{Ni}$ В $\alpha\text{-Fe}$ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.В. Покоев, Д.И. Степанов,  
И.С. Трофимов, В.М. Миронов

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию влияния магнитных полей на диффузионные процессы в твердых телах [1, 2]. Хорошо известно, что диффузионная проницаемость границ зерен поликристалла может оказывать решающее влияние на его свойства, например, прочность, пластичность и др. [3], а сама зернограничная диффузия является весьма эффективным инструментом в исследовании строения границ зерен [4]. Данные о влиянии магнитных полей на диффузионную подвижность атомов по границам зерен в литературе отсутствуют. В то же время изучение зернограничной диффузии в условиях наложения внешнего магнитного поля может способствовать пониманию механизмов диффузии и выявлению новых возможностей практического использования диффузионных процессов.

В настоящей работе методом остаточной активности Грузина [5] впервые обнаружено влияние постоянного магнитного поля (ПМП) на зернограничную диффузию  $^{63}\text{Ni}$  в  $\alpha\text{-железе}$ .

На отполированные торцевые поверхности цилиндрических образцов из армко-железа, отожженных предварительно в вакууме с целью получения крупного и равноосного зерна ( $\sim 3$  мм), электролитически наносился слой изотопа  $^{63}\text{Ni}$  толщиной  $\sim 0.05$  мкм. Приготовленные таким образом образцы отжигались в вакууме при



Зависимость относительной интегральной интенсивности  $\beta$ -излучения диффузанта  $^{63}\text{Ni}$  от глубины зоны диффузии: 1 - отжиг без ПМП; 2 - отжиг в ПМП напряженностью 5 кЭ.

температуре 730 °С в течение 80 часов в однородном ПМП напряженностью 5 кЭ, создававшимся электромагнитом ФЛ-1 и стабилизированным источником питания СТ-40. Направление магнитного поля совпало с осью цилиндрических образцов. Для сравнения параллельно проводились отжижки контрольных образцов в идентичных условиях, но без ПМП.

После отжигов исследовалось распределение диффузанта по глубине диффузионной зоны, определяемое по интегральной интенсивности  $\beta$ -излучения изотопа  $^{63}\text{Ni}$  с торцевой поверхности образца. Интегральная интенсивность излучения фиксировалась  $\beta$ -анализатором.

На рисунке приведены усредненные распределения относительной интегральной интенсивности; которая пропорциональна относительной концентрации диффузанта  $^{63}\text{Ni}$ , по глубине диффузионной зоны после отжигов в ПМП и без него.

Параметры объемной и зернограничной диффузии определялись по стандартной методике [3, 6], использующей начальные участки и „хвосты” концентрационных распределений диффузанта по глубине зоны диффузии.

Из рисунка видно, что внешнее ПМП оказывает заметное влияние на диффузию  $^{63}\text{Ni}$  в  $\alpha$ -железе: диффузионные процессы в

отжигах без ПМП протекают быстрее, чем при отжигах во внешнем магнитном поле. Следует отметить, что погрешность измерения относительной интегральной интенсивности  $\beta$ -излучения составляла 0,015 относительных единиц. Результаты расчета диффузионных параметров говорят о разной степени влияния ПМП на объемную и зернограничную диффузию изотопа, что, по-видимому, связано с существенно разной диффузионной подвижностью атомов  $^{63}\text{Ni}$  в объеме и в границе зерна [7]. Среднее значение коэффициентов объемной диффузии в ПМП и без него составили соответственно  $4,2 \pm 0,4 \cdot 10^{-13}$  и  $4,5 \pm 0,5 \cdot 10^{-13} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$ . Различие в значениях не превышает 8% и лежит в пределах ошибки эксперимента, которая составляет  $\sim 10\%$ . Данное обстоятельство не позволяет делать строгих выводов относительно влияния внешнего ПМП на диффузию в объеме зерна.

Гораздо более значительной оказывается разница в параметрах зернограничной диффузии. Произведение коэффициента зернограничной диффузии на ширину границы зерна и коэффициент сегрегации  $D_{gb} \cdot \delta \cdot k$  для образцов, отожженных в ПМП оказывается в 1,6 раза меньше, чем для образцов, отожженных без поля -  $3,5 \pm 0,3 \cdot 10^{-16} \text{ см}^3/\text{с}$  и  $5,5 \pm 0,5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^3/\text{с}$ , соответственно. Полученные результаты говорят о замедлении диффузии  $^{63}\text{Ni}$  в границах зерен поликристаллического  $\alpha$ -железа во внешнем ПМП. Данный эффект связан с действием на диффузионные атомы примеси гораздо большего, по сравнению с внешним, „эффективного” поля, возникающего внутри образца при внесении его во внешнее ПМП. Кроме того, внешнее ПМП изменяет доменную структуру образца. Более подробное обсуждение механизма замедления диффузии во внешнем поле выходит за рамки задач данной публикации.

Обнаруженный эффект представляется возможным использовать в технологических процессах, связанных с термообработкой многокомпонентных сплавов на основе Fe для замедления диффузии примеси по границам зерен в тех случаях, когда она является нежелательной.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б о й к о Ю.И., Ч и ж и к о в а И.Т. Тез. докл. П Всес. конф. „Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов”. Юрмала, 1990. Ч. 1. 102 с.
- [2] Б е р н ш т е й н М.Л., П у с т о в о й т В.Н. Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле. М.: Машиностроение, 1987. 256 с.
- [3] Б о к ш т е й н Б.С., К о п е ц к и й Ч.В., Ш в и н д л е р м а н Л.С. и др. Структура и свойства внутренних поверхностей раздела в металлах. М.: Наука, 1988. 272 с.
- [4] К л о ц м а н С.М. // УФН. 1990. Т. 160. Вып. 1. С. 99-139.
- [5] Г р у з и н П.Л. // ДАН СССР. 1952. Т. 86. В. 2. 1952. С. 289-292.

[6] Whipple R.T.P. // Phil. Mag. 1954. V. 45.  
P. 1225-1236.

[7] Кузьменко П.П. Диффузионные процессы в металлах.  
Киев: Наукова Думка, 1968. С. 16-18.

Самарский государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
12 февраля 1991г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 8

26 апреля 1991 г.

05.4

© 1991

### ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ НИТРИДОМ БОРА НА СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО МЕТАЛЛОКСИДА $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

Е.М. Г о л о п о б о в, И.И. П а п п,  
Н.А. П р ы т к о в а, Ж.М. Т о м и л о,  
Д.М. Т у р ц е в и ч, Н.М. Ш и м а н с к а я

Одной из перспективных областей практического использования высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) является криомикроэлектроника, базовыми элементами которой служат тонкое покрытие из ВТСП и несверхпроводящая подложка. Функциональные свойства устройства во многом определяются контактом ВТСП-подложка, поэтому важно выбрать пару материалов так, чтобы при термообработке взаимная диффузия атомов не оказывала бы существенного влияния на сверхпроводящие параметры покрытия.

Исследованию физико-химических основ этого вопроса посвящен ряд работ [1-5], в которых материал подложки при синтезе ВТСП вводится в состав исследуемого сверхпроводника. Нами было показано, [5], что подложки из нитрида бора для покрытий из висмутовых ВТСП по действию на сверхпроводящие параметры незначительно уступают  $MgO$  подложкам и лучше, чем  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и  $Si$ . По своим физико-химическим свойствам  $BN$  обладает рядом преимуществ перед другими материалами и нашел применение в полупроводниковой микроэлектронике [6].

В настоящей работе представлены результаты исследования взаимодействия ВТСП иттриевой системы с нитридом бора. Были приготовлены составы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + BN$  в соотношении  $1:2:3 + (BN)_x$ , где  $x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ . Синтез образцов проводился методом твердофазной реакции при температурах 700-710 °С в течение 42 часов на воздухе из смеси мелкодисперсных порошков  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $CuO$ ,  $BN$  (гексогональный). Скорость нагрева - 400 К/ч, скорость охлаждения -