

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В СИСТЕМЕ  $Y_2O_3-CuO$ К. Г. Гарцман, А. В. Голубков, И. А. Смирнов,  
Э. Ч. Мехралиев, Ю. Н. Филин

Целью данной работы являлось исследование скорости и механизма диффузии в системе  $Y_2O_3-CuO$ . Интерес к этой системе, в частности, обусловлен тем, что она представляет собой часть тройной системы  $Y_2O_3-CuO-BaO$ , в которой обнаружено существование соединения  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ , обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью [1]. Одним из основных способов получения соединения  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  является керамическая технология, основанная на спекании порошков  $Y_2O_3$ ,

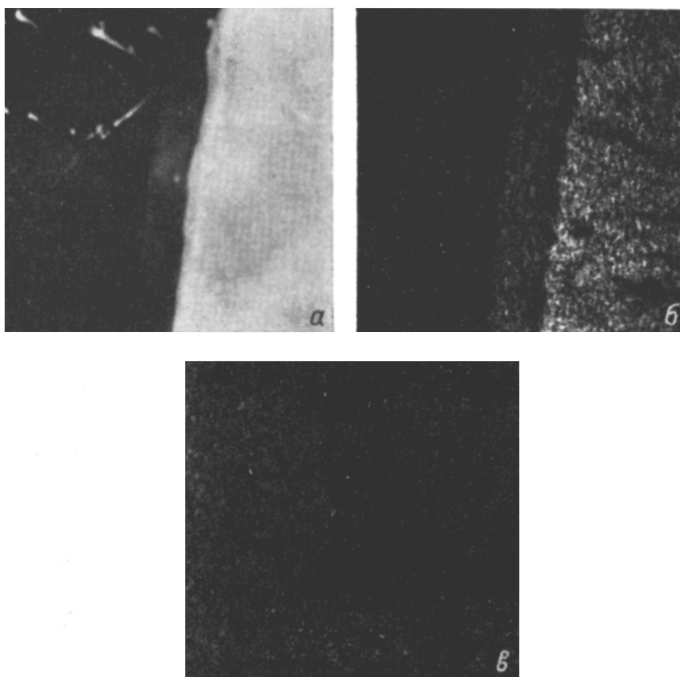


Рис. 1. Распределение элементов на границе раздела фаз  $Y_2O_3-CuO$ .

а — электронное изображение ( $100 \times 100$  мкм); б, в — рентгеновское изображение в лучах  $K_\alpha Cu$  и  $L_\alpha Y$  соответственно.

$CuO$ ,  $BaO$  [2]. При этом образование соединения происходит в твердой фазе и определяется диффузионными процессами между исходными компонентами.

Необходимые для исследования образцы  $Y_2O_3$  были приготовлены из порошкообразного материала марки «оч» методом прямого индуцированного плавления в холодном контейнере [3]. Полученный слиток представлял собой крупнозернистую керамику с размером зерен 2—3 мм.

Подложки из  $Y_2O_3$  заливались расплавом  $CuO$  с последующим быстрым охлаждением. Для изучения диффузионных процессов в системе  $Y_2O_3-CuO$  часть образцов отжигалась при разных температурах. Состав образующихся диффузионных зон исследовался методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) в микроанализаторе MS-46. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 30 кэВ и поглощенном токе электронов 30 нА. Изучалось распределение элементов в направлении, перпендику-

лярном границе раздела  $Y_2O_3-CuO$ , по рентгеновским линиям  $K_{\alpha}Cu$  и  $L_{\alpha}Y$ . При определении состава промежуточного слоя вводились поправки на атомный номер, поглощение, флуоресценцию.

В неотожженных образцах наблюдалась резкая граница между фазами  $Y_2O_3$  и  $CuO$ .

В отожженных образцах наблюдалось образование промежуточного слоя между фазами  $Y_2O_3-CuO$ . В качестве примера на рис. 1, 2 приведены

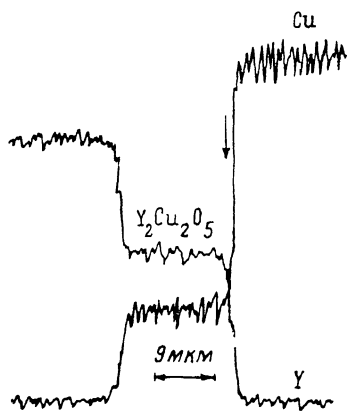


Рис. 2. Графическое изображение распределения элементов на границе раздела фаз  $Y_2Cu_2O_5-CuO$ .

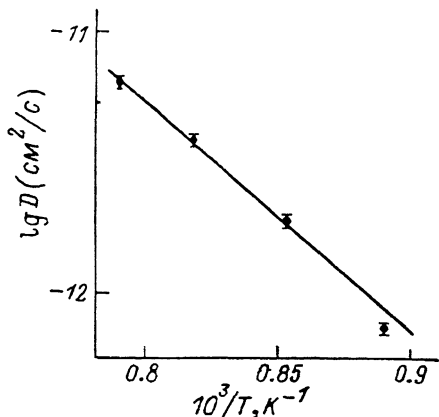


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента диффузии меди в  $Y_2Cu_2O_5$ .

распределения элементов на границе раздела фаз  $Y_2O_3-CuO$  в образце, отожженном 120 ч при температуре  $900^\circ C$ . Состав промежуточных слоев во всех отожженных образцах соответствовал соединению  $Y_2Cu_2O_5$ , что

#### Основные диффузионные параметры

$T, ^\circ C$	$t, ч$	$d, мкм$	$D, см²/с$
870	100	10	$0.7 \cdot 10^{-12}$
900	120	18	$1.89 \cdot 10^{-12}$
950	100	24	$4 \cdot 10^{-12}$
990	100	30	$6.25 \cdot 10^{-12}$

согласуется с данными [4], по которым в системе  $Y_2O_3-CuO$  образуется только одно соединение —  $Y_2Cu_2O_5$ . В таблице указаны толщина слоев  $d$ , температура  $T$  и время  $t$  отжига.

Так как диффузия происходит с образованием нового соединения (реактивная диффузия), то, используя параболическую зависимость (1) закона роста при реактивной диффузии [5], можно вычислить коэффициенты диффузии при разных температурах и построить зависимость коэффициента диффузии  $D$  от температуры (рис. 3)

$$x = 2\sqrt{Dt}. \quad (1)$$

По зависимости коэффициента диффузии от температуры определены основные диффузионные параметры — энергия активации  $Q=2.2$  эВ и предэкспоненциальный множитель  $D_0=2.7 \cdot 10^{-4}$   $см²/с$ .

Исследования позволили установить, что образование промежуточного слоя происходит за счет диффузии меди через промежуточный слой в сторону фазы  $Y_2O_3$ , что видно из сопоставления положения слоя с положением границы раздела фаз  $Y_2O_3$  и  $CuO$  до отжига. Положение границы раздела фаз до отжига указано на рис. 1, 2 стрелкой.

Температурная зависимость коэффициента диффузии подчиняется закону Аррениуса. Значение энергии активации не противоречит предположению о вакансионном механизме диффузии меди в  $Y_2Cu_2O_5$ .

Авторы благодарны Р. Ш. Малковичу за сделанные им полезные замечания при обсуждении результатов работы

- [1] Hinks D. G., Soderholm L., Capone D. W., Jorgensen J. D. et al. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 50. N 23. P. 1688—1693.  
 [2] Bednorz J. G., Muller K. A. // Z. Phys. — Condens. Mat. 1986. V. 64. P. 189—195.  
 [3] Мелех Б. Т., Андреев А. А., Картенко Н. Ф., Коркин И. В., Смирнов В. В., Филин Ю. Н. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1982. Т. 18. № 1. С. 98—101.  
 [4] Справочник «Диagramмы состояния систем тугоплавких оксидов». № 3—5. Л.: Наука, 1987. С. 119—120.  
 [5] Френкель Я. И., Сергеев М. И. // ЖЭТФ. 1939. Т. 9. № 2. С. 189—191.

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

Поступило в Редакцию  
5 января 1989 г.

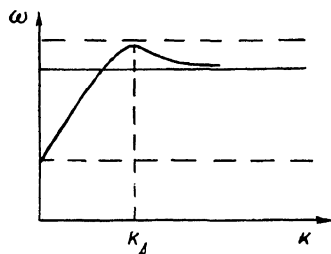
УДК 538.221

Физика твердого тела, том 31, в. 6, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 6, 1989

## К ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН

А. Д. Бордман,<sup>1</sup> С. А. Никитов

В работах [1, 2] рассмотрены свойства нелинейных безобменных поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). В частности, там указано, что в тонких пленках ферромагнетика при  $k \rightarrow 0$  ( $k$  — волновое число ПМСВ) продольные солитоны ПМСВ (солитоны огибающей) образоваться не могут в силу невыполнения критерия Лайтхилла [3]. В [4, 5], однако, было экспериментально обнаружено, а затем качественно объяснено, что



Качественный вид спектра ПМСВ, распространяющийся в ферромагнитной пленке вблизи от металлического экрана.

такие солитоны могут образоваться вблизи дипольно-обменных щелей ПМСВ, у одного из краев которых производная групповой скорости по волновому числу имеет противоположный знак. В предыдущей работе [6] нами было показано, что солитоны огибающей могут образовываться для ПМСВ и в безобменном приближении, в случае, когда угол между направлением распространения и внешним магнитным полем отличен от прямого. В настоящем сообщении мы опишем еще одну возможность существования солитонов огибающей ПМСВ.

Известно [7], что если ПМСВ распространяется в ферромагнитной пленке вблизи от металлического экрана, ее спектр качественно выглядит так, как это показано на рисунке. Найдем дисперсионное уравнение нелинейной ПМСВ, распространяющейся в такой пленке (толщина пленки  $d$ , расстояние от пленки до экрана  $l$ ). Решение для магнитостатического потенциала  $\Psi$  нелинейной ПМСВ записывается в виде [6]

$$\Psi = A(1 + L_1 k x) e^{kx} + A\alpha(1 + L_2 k x) e^{-kx} + AL_3 e^{-3kx} + AL_4 e^{3kx} + \text{к. с.}, \quad (1)$$

где  $A$  — амплитуда потенциала;  $L_1 \div L_4$  сложные функции, зависящие от частоты, волнового числа и мощности волны;  $L_1 \div L_4$  пропорциональны

<sup>1</sup> Физический факультет Солфордского университета. Солфорд, Англия.