

03;05.4;12

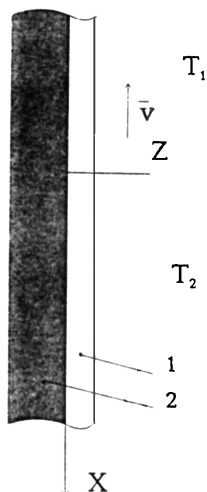
©1995

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И РОСТ КРИСТАЛЛОВ $Y_1Ba_2Cu_3O_7$

С. А. Чурин

Одной из проблем, с которой связывается использование явления высокотемпературной сверхпроводимости, является получение длиномерных кристаллов, обладающих большим критическим током. Способы получения таких кристаллов и их свойства описаны в многочисленных оригинальных работах [1-4] и обзорах [5,6]. Как правило, для получения кристалла вначале по порошковой технологии готовится исходный образец в форме стержня нужной длины и сечения. Предварительное плавление и кристаллизация исходной заготовки ведутся в вертикальной печи. Режимы плавления и кристаллизации, выбираемые авторами работ [1-4], заметно отличаются. Однако для них характерно нахождение заготовки длительное время, ≈ 100 часов при температуре $\approx 1000^\circ\text{C}$. Авторами [1-6] также отмечается, что плавление ВТСП керамик идет с разложением их на твердую и жидкую компоненты. Основу жидкой компоненты составляют соединения $BaCuO_2$ и CuO , а твердой — $Y_2BaCu_1O_5$.

Рост кристаллов идет через перитектическую реакцию $Y_2BaCuO_5 + L = Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ в температурном поле с градиентом $20-50^\circ\text{C} \cdot \text{см}^{-1}$ при температуре $1010-1005^\circ\text{C}$ и скорости движения исходной заготовки в этом поле $1 \cdot 10 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$. Иногда движение заменяется снижением температуры со скоростью $\sim 1^\circ\text{C} \cdot \text{ч}^{-1}$, что также обеспечивает движение по образцу области с градиентом температуры. Таким образом были получены кристаллы $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ с плотностью критического тока $j_c(B=0 \text{ Тл}, T=77 \text{ К}) = 10^4-10^5 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ и длиной несколько сантиметров [1-4]. Однако авторы работ [1-6] не обращают внимание на некоторые явления, сопровождающие плавление и кристаллизацию ВТСП керамик. Так, в процессе кристаллизации в температурном поле с градиентом происходит нарушение стехиометрии исходного образца. Верхняя часть, находящаяся в более холодной зоне, покрывается слоем $BaCuO_2$ со следами CuO . Нижняя часть кристалла обогащается фазой Y_2BaCuO_5 . В настоящей работе предложена модель этого явления и количественное его описание.



1 — пленка, 2 — заготовка; $T_2 > T_1$.

Здесь необходимо остановиться на процессах, сопровождающих плавление исходных керамических заготовок. Образовавшаяся жидкая фаза BaCuO_2 заполняет поры заготовки, что ведет к усадке образца. В результате часть жидкой фазы выжимается на поверхность заготовки и покрывает ее тонкой пленкой. А так как $\frac{d\alpha}{dT} < 0$, где α — коэффициент поверхностного натяжения, T — температура, то жидкость BaCuO_2 начинает подниматься вверх по образцу в область более низкой температуры.

В этом случае для тонкой пленки жидкости на поверхности образца (см. рисунок) может быть записано уравнение гидродинамики

$$\eta \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \rho g = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями

$$v|_{z=0} = 0, \quad (2)$$

$$\eta \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{z=h} = -\frac{d\alpha}{dx} = -\frac{d\alpha}{dT} \cdot \frac{dT}{dx}, \quad (3)$$

где η — вязкость жидкости, h — толщина пленки, ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, $\frac{dT}{dx}$ — градиент температуры вдоль образца.

Здесь мы пренебрегаем изменением плотности, вязкости жидкости по длине пленки.

Решением уравнения (1) с граничными условиями (2), (3) является функция

$$v(z) = -\frac{1}{2} \frac{\rho}{\eta} g z^2 + \frac{1}{\eta} \left(\rho g h - \frac{d\alpha}{dx} \right) z. \quad (4)$$

И расход жидкости в единицу времени на единицу длины периметра кристалла

$$\frac{\Delta Q}{p \Delta t} = -\frac{\rho g h^3}{\nu 6} + \frac{h^2}{2\nu} \left(\rho g h - \frac{d\alpha}{dT} \frac{dT}{dx} \right), \quad (5)$$

где ν — кинематическая вязкость, p — периметр кристалла

Для оценочных расчетов сделаем следующие допущения:

$$\nu = 0.1 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}; \quad h = 0.001 \text{ см}; \quad \rho \approx 5 \text{ г} \cdot \text{см}^3; \quad p = 1 \text{ см};$$

$$\frac{dT}{dx} \approx 15^\circ \text{C} \cdot \text{см}^{-1}; \quad \frac{dT}{dT} \approx 15^\circ \text{C} \cdot \text{см}^{-1}; \quad \frac{d\alpha}{dT} \approx -1 \text{ г} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}.$$

В этом случае для скорости перемещения массы жидкости получаем следующее значение:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \approx 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1},$$

что по порядку совпадает с наблюдаемой величиной. Данное явление нарушает стехиометрию выращиваемых кристаллов, изменяет их геометрию и ведет к прекращению роста, что и наблюдалось в процессе выращивания кристаллов $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ длиной до 50 мм и плотностью критического тока $j_c(B=0 \text{ Тл}, T=77 \text{ К})$ до $4 \cdot 10^5 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ [7].

Измерения плотности критического тока выполнялись в Российском электротехническом институте Волошиным И.Ф., Фишером Л.М. Автор считает своим долгом поблагодарить их за выполненную работу.

Настоящая работа проведена в рамках проекта 92139 Российской научно-технической программы "Высокотемпературная сверхпроводимость".

Список литературы

- [1] *Pellerin N., Odier P., Simon P., Chateigner D.* // Phys. C. 1994. V. 222. P. 133.
- [2] *Salama K., Selvamanickam V., Gao L., Sun K.* // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. P. 2352.
- [3] *McGinn P.J., Black M.A., Valenzuela A.* // Phys. C. 1988. V. 156. P. 57.
- [4] *Fisher L.M., Voloshin I.F., Churin S.A., Sil'yanov E.V.* // European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS). October 4-9, 1993. Gottingen, Germany. V. 1. P. 819.
- [5] *Башкиров Ю.А., Флейшман Л.С.* // СФХТ. 1992. Т. 5. С. 1357.
- [6] *Ли С.З., Олейников Н.Н., Гудилин Е.А.* // Неорганические материалы, 1993. Т. 29. P. 3.
- [7] *Волошин И.Ф., Фишер Л.М., Дроздов Ю.Н., Чурип С.А.* // Тез. докл. XXX Совещание по физике низких температур. 6-8 сентября 1994 г. Дубна, 1994. Ч. 1. С. 70.

Институт физики
микроструктур РАН
Нижний Новгород

Поступило в Редакцию
16 февраля 1995 г.

