

## АНИЗОТРОПИЯ ВЕРХНЕГО КРИТИЧЕСКОГО ПОЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_x$ И $HoBa_2Cu_3O_x$

А.И. Головашкин, С.И. Красносвободцев, Е.В. Печень, Н.П. Шабанова

*Измерены температурные зависимости  $H_{c2}(T)$  сверхпроводящих пленок  $MBa_2Cu_3O_x$  ( $M = Y, Ho$ ). Для монокристаллических пленок  $dH_{c2}/dT \approx 8$  T/K при перпендикулярной и 1.4 T/K при параллельной оси  $\vec{c}$  ориентациях магнитного поля, длины когерентности  $\xi_c(0) \approx 3$  Å и  $\xi_{ab} \approx 16$  Å,  $H_{c2}(0) \approx 520$  и 95 T соответственно.*

Исследование температурных зависимостей критических магнитных полей  $H_{c2}(T)$  позволяет получить оценку значений длины когерентности Гинзбурга – Ландау  $\xi(0)$  для высокотемпературных металлооксидных сверхпроводников. В работе [1] для монокристалла  $YBa_2Cu_3O_x$  получены значения  $\xi_{ab}(0) = 34$  Å в плоскости  $a, b$  и  $\xi_c(0) = 7$  Å вдоль оси  $c$ . Поскольку  $\xi_c(0)$  больше расстояния  $d = 3,9$  Å между слоями  $Cu-O$ , в работе сделан вывод о трехмерной природе сверхпроводимости в этом материале. К выводу о ее двумерном характере приходят авторы работы [2] на основании исследований, выполненных на анизотропных поликристаллических пленках. Однако при этом используется проблематичная методика обработки эксперимента по началу резистивного сверхпроводящего перехода. Представляет интерес определение  $\xi(T)$  и других параметров высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) фазы в образцах с более совершенной структурой. В настоящей работе выполнены сравнительные исследования температурных зависимостей критических магнитных полей поликристаллических и монокристаллических пленок  $YBa_2Cu_3O_x$  и  $HoBa_2Cu_3O_x$ .

Пленки ВТСП получены на подложках  $SrTiO_3$  методом импульсного лазерного распыления [3]. Структура пленок определялась режимами осаждения и кристаллографической ориентацией подложек. Ниже приводятся данные для образца  $YBa_2Cu_3O_x$  67, имеющего изотропную поликристаллическую структуру, а также для образцов  $YBa_2Cu_3O_x$  127 и  $HoBa_2Cu_3O_x$  207, структура которых монокристаллическая с двойникованием перестановки в плоскости (001), причем ось  $c$  ориентирована перпендикулярно плоскости подложки. Зависимости сопротивления  $R$  образцов от магнитного поля  $H$  регистрировались при фиксированной температуре  $T$ . Стабильность  $T$  не хуже 0,01 K (при абсолютной погрешности  $< 0,1$  K) обеспечивалась

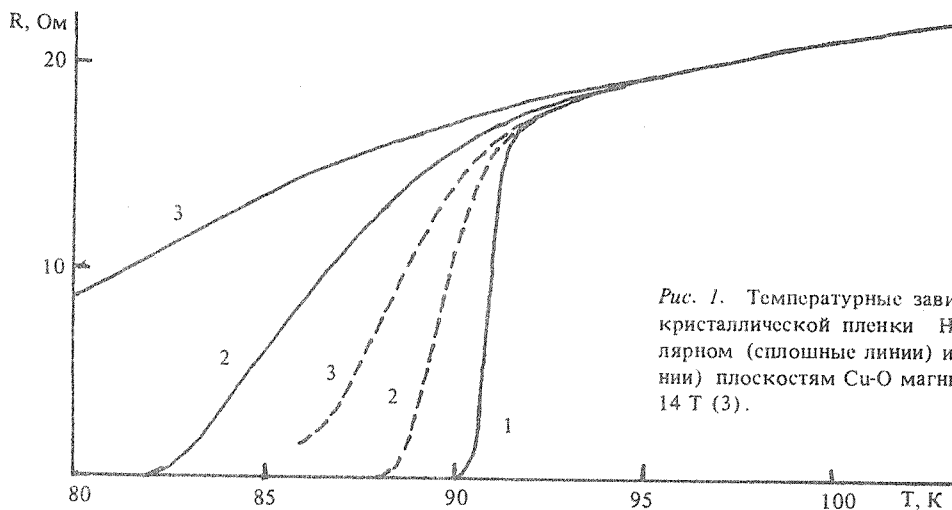


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления монокристаллической пленки  $HoBa_2Cu_3O_x$  207 в перпендикулярном (сплошные линии) и параллельном (штриховые линии) плоскостям  $Cu-O$  магнитном поле:  $H=0$  (1), 5 Т (2), 14 Т (3).

терморегулятором с емкостным термодатчиком. Данные для всех образцов получены в двух ориентациях магнитного поля: перпендикулярной ( $H_{\perp}$ ) и параллельной ( $H_{\parallel}$ ) плоскости пленки. За начало, середину ( $T_c$ ) и конец сверхпроводящего перехода приняты значения температуры, при которых  $R$  составляет соответственно 0,9, 0,5, и 0,1 $R_n$ , где  $R_n$  — сопротивление, определенное экстраполяцией линейной зависимости  $R(T)$  в нормальном состоянии.

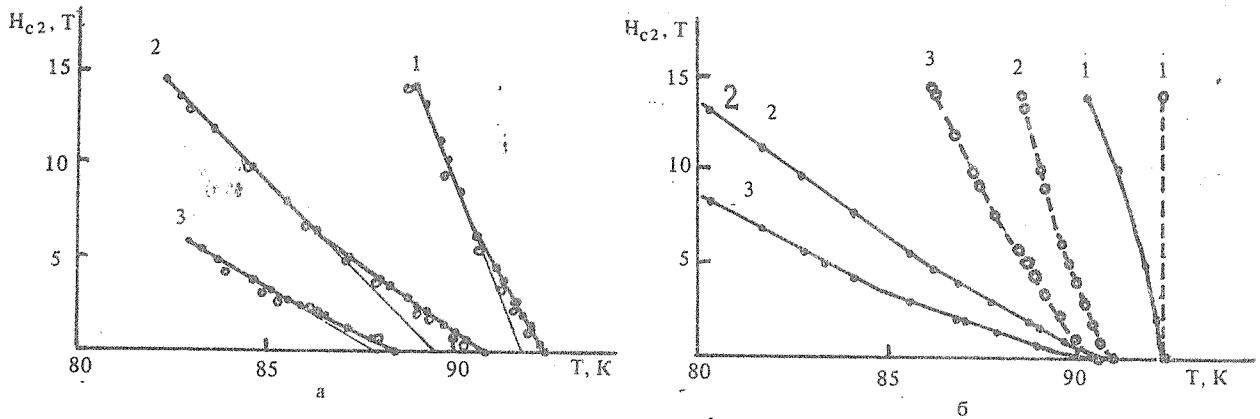


Рис. 2. Температурные зависимости критических магнитных полей поликристаллической пленки  $YBa_2Cu_3O_x-67$  (а) и  $HoBa_2Cu_3O_x-207$  (б) при ориентациях поля параллельно (светлые кружки) и перпендикулярно (темные кружки) плоскости пленки. Кривые построены по началу (1), середине (2) и концу (3) перехода.

Типичные зависимости  $R(T)$  в полях различной ориентации показаны на примере монокристаллической пленки  $HoBa_2Cu_3O_x-207$  на рис. 1. Увеличение магнитного поля приводило к уширению перехода при малом изменении температуры начала перехода и существенно более сильному влиянию поля, направленного вдоль оси  $c$ , по сравнению с перпендикулярной его ориентацией. На рис. 2 приведены  $H_{c2}(T)$  для поликристаллической и монокристаллической пленок, построенные по началу, середине и концу сверхпроводящего перехода. Вблизи  $T_c$  наблюдался близкий к линейному участок  $H_{c2}(T)$ , сменяющийся более резким линейным ростом  $H_{c2}$  при понижении  $T$ . Такое поведение может быть связано с сосуществованием в монокристалле двух фаз с очень близкими структурными параметрами [4] или с особенностями поверхности Ферми [1]. Для поликристаллической пленки анизотропия  $H_{c2}$  практически не проявлялась, а в случаях монокристаллических пленок отношение  $H_{c2\parallel}/H_{c2\perp}$  (по серединам переходов) для  $YBa_2Cu_3O_x-127$  равно 5,3, для  $HoBa_2Cu_3O_x-207$  — 5,6. Об отсутствии вклада в анизотропию  $H_{c2}$  эффектов, связанных с поверхностной сверхпроводимостью, свидетельствует идентичность критических полей поликристаллической пленки в  $H_{\perp}$  и  $H_{\parallel}$ . В связи с двойникованием анизотропия в плоскости  $a, b$  не учитывалась. В табл. 1 приведены значения удельного сопротивления вблизи начала перехода  $\rho_n$ , а также  $-dH_{c2}/dT \equiv H'_{c2}$ ,  $\xi_c(0)$  и  $H_{c2}(0)$ , полученные по серединам переходов. Параметры оценивались из следующих соотношений:  $\xi_{ab}(0) = 1,81 \cdot 10^4 (T_c H'_{c2})^{-1/2}$ ,  $\xi_c(0) = \xi_{ab}(0) H'_{c2\perp}/H'_{c2\parallel} / 1/$ ,  $H_{c2}(0) = 0,74 \cdot H'_{c2} T_c$ . Из зависимостей, построенных по началу перехода (рис. 2б, кривая 1), для  $HoBa_2Cu_3O_x-207$  найдено:  $H'_{c2\perp} = 6 \pm 0,3$  Т/К,  $H'_{c2\parallel} > 50 \pm 10$  Т/К,  $\xi_{ab}(0) \cong \cong 8$  Å,  $\xi_c(0) < 1$  Å. В работе [2] из зависимостей  $H_{c2}(T)$ , построенных по началу перехода в сверхпроводящее состояние, получено  $\xi_c(0) \cong 2$  Å. Таким образом, в монокристаллических пленках, обладающих более высокими  $T_c$  и низкими  $\rho_n$ , наблюдались более высокие значения  $H_{c2\parallel}$  и значительно меньшие  $\xi_c(0)$ . Это свидетельствует в пользу того, что уширение переходов в магнитном поле происходит вследствие неидеальности структуры образцов. При этом конец перехода соответствует наиболее ослабленным (дефектным) областям в объеме образца, а высокие значения  $H_{c2\parallel}$  и малые  $\xi_c(T)$  (удовлетворяется условие квазидвумерности  $\xi_c(0) < d/\sqrt{2}$ ), соответствующие верхней (рис. 1) части перехода, характеризуют свойства наиболее совершенной сверхпроводящей фазы.

Критические параметры и длина когерентности Гинзбурга –  
Ландау пленок ВТСП

Образец	$T_c$ , К	$\rho_n$ , мкОм·см	$H'_{c2\perp}$ , Т/К	$H'_{c2\parallel}$ , Т/К	$H_{c2\perp}(0)$ , Т	$H_{c2\parallel}(0)$ , Т	$\xi_{ab}(0)$ , Å	$\xi_c(0)$ , Å
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> -67 (поликрист.)	90,8	—	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1	130	130	—	—
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> -127 (монокрист.)	90,3	200	1,4 ± 0,1	7,5 ± 0,3	90	490	16	3
HoBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> -207 (монокрист.)	90,9	60	1,4 ± 0,1	8,0 ± 0,3	95	520	16	3

Малые значения длин когерентности при низком  $\rho_n$ , отсутствии заметного остаточного сопротивления монокристаллических пленок ( $R(0) \cong 0$ ), сохранении линейной зависимости  $R(T)$  вплоть до 600 К указывают на вероятную реализацию случая "чистого" сверхпроводника для исследованных материалов. Тогда из соотношения  $\xi_{ab}(0) = 0,74\hbar v_{Fab}/1,76\pi kT_c$  следует оценка для скорости Ферми  $v_{Fab} \cong 1 \cdot 10^7$  см/с.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют в пользу существования квазидвумерной сверхпроводимости в слоистых перовскитных высокотемпературных сверхпроводниках. Монокристаллические пленки Y(Ho)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> имеют более высокие  $H_{c2\parallel}(0)$  и  $H'_{c2\parallel}$  по сравнению с образцами, имеющими менее совершенную структуру.

Авторы выражают благодарность В.Г. Веселаго, Л.П. Максимову и В.Е. Махоткину за помощь в осуществлении эксперимента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Worthington T.K., Gallaheer W.J., Dinger T.P. Phys. Rev. Lett., 59, 1160 (1987).
2. Oh B. et al. Preprint. Stanford University and M.I.T., 1988.
3. Головашкин А.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 47, 157 (1988).
4. Taylor K.N.R. et al. Journ. Cryst. Growth, 85, 656 (1987).

Поступила в редакцию 18 июля 1988 г.