

МИКРОВОЛНОВОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

С.В.Богачев, Г.А.Емельченко, В.А.Ильин,
С.Г.Конников, А.О.Косогов, О.В.Косогов,
В.А.Татарченко, В.И.Третьяков.

Впервые измерено поглощение СВЧ мощности в монокристаллах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в магнитном поле. Обнаружена анизотропия в полевых зависимостях СВЧ поглощения. Сигнал ЭПР Cu^{2+} отсутствует.

Исследование высокотемпературных металлооксидных сверхпроводников с помощью методов ЭПР¹⁻⁷ дало интересную информацию о наличии и положении в кристаллической решетке парамагнитных центров, в том числе ионов Cu^{2+} , и об особенностях взаимодействия микроволнового излучения со сверхпроводником в нормальном и сверхпроводящем состоянии. Однако до настоящего времени результаты ЭПР-измерений относятся к полукристаллическим керамическим образцам, в которых нивелируется сильная анизотропия свойств, обусловленная слоистой перовскитовой структурой таких материалов^{8,9}. В связи с этим представляем первые предварительные результаты изучения методами ЭПР монокристаллов $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Образцы представляли собой плоскопараллельные пластины с размерами (a, b) -плоскости $(1,8 \pm 0,8) \cdot (1 \pm 0,4)$ мм толщиной 60 ± 40 мкм вдоль кристаллографической оси $c \perp (a, b)$. Монокристаллы выращивались медленным охлаждением частично расплавленной смеси оксидов Y_2O_3 , CuO и BaO . Кристаллы характеризуются наличием двойников, образованных по системе $\{110\} / \{110\}$ ¹⁰.

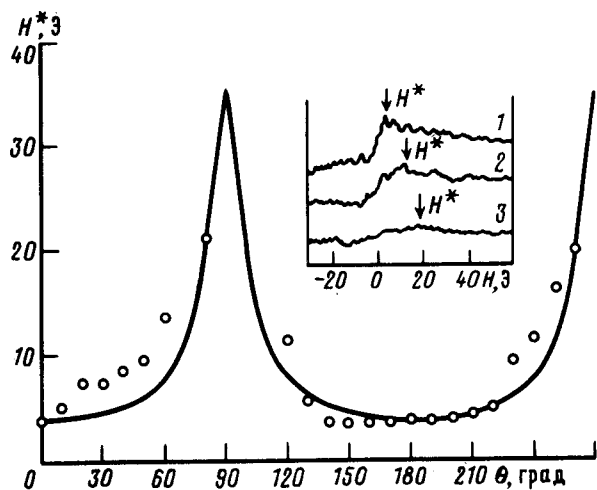


Рис. 1. Зависимость H^* от угла θ между направлением магнитного поля и осью c кристалла. На врезке — форма сигнала dR/dH при трех ориентациях образца (1 — $\theta = 0^\circ$, 2 — $\theta = 50^\circ$, 3 — $\theta = 70^\circ$)

Состав и его распределение вдоль (a, b) -поверхностей пластин и по сколу вдоль оси c контролировались с помощью рентгеновского спектрального микроанализа (РСМА) на установке "Самебах" (разрешение ~ 1 мкм). Установлено, что исследованные монокристаллы по $Y:Ba:C$ соотношению соответствуют соотношению 1:2:3 по всем направлениям как вдоль поверхностей (a, b) , так и в поперечном направлении. Что касается содержания кислорода, определявшегося комплементарным способом, усреднение по нескольким десяткам точек дает значение 6,7, т. е. $YBa_2Cu_3O_{6,7}$. Известно⁹, что структура перовскита, изученная для $YBa_2Cu_3O_x$ в функции от x , является стабильной при $6 < x < 7$. Переход от орторомбической структуры к тетрагональной происходит с уменьшением x при его значении 6,5, когда обе фазы могут сосуществовать при комнатной температуре. Наши образцы с $x > 6,5$ были орторомбическими с $a = 3,86 \text{ \AA}$, $b = 3,92 \text{ \AA}$, $c = 11,59 \text{ \AA}$.

Измерения ЭПР проводились в X -диапазоне на спектрометре SE/x-2543 "Radiopan" (частота $\sim 9,15$ ГГц.). Установлено, что в исследованных монокристаллах металлооксидов ЭПР отклик ионов меди Cu^{2+} не обнаруживается ни в нормальном ($T = 290$ К), ни в сверхпроводящем состоянии ($T = 78$ К). Паспортная чувствительность установки 10^{11} спинов. Таким образом, наблюдающийся при $T > T_c$ сигнал двухвалентной меди в поликристаллических металлооксидах $\text{Y} - \text{Ba} - \text{Cu} - \text{O}$, особенно интенсивный в несверхпроводящей "зеленой" керамике состава Y_2BaCuO_5 ^{1,4} и более слабый в сверхпроводящей "черной" керамике, характеризуемый компонентами g -тензора $g_{\parallel} \approx 2,03 \div 2,06$ и $g_{\perp} \approx 2,2$, по-видимому, обусловлен фазовой и структурной неоднородностью керамических образцов и не имеет отношения к меди в регулярных позициях сверхпроводящей фазы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, как и предполагалось в^{1, 5, 7}.

При температурах $T < T_c \approx 90$ К в монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ наблюдаются особенности в поглощении СВЧ мощности, наиболее ярко выраженные в области нулевого статического магнитного поля. Аналогичный эффект в керамических образцах описан в²⁻⁶. В монокристаллах в отличие от керамик, эффект существенно анизотропен. На рис. 1 в качестве примера приведены полевые зависимости первой производной сигнала СВЧ поглощения $dR/dH = f(H)$, снятые при медленной развертке и сильной модуляции ($H_m = 4$ Э) величины H на частоте $f = 100$ кГц при различных значениях угла θ между H и осью c кристалла. С изменением θ форма сигнала закономерно изменяется: при $H \parallel c$ сигнал имеет наибольшую интенсивность и минимальную ширину, при $H \perp c$ соотношение амплитуды и ширины сигнала обратное. Если выбрать в качестве параметра значение статического магнитного поля H^* , соответствующее области перегиба на кривой поглощения СВЧ мощности, то ориентационную зависимость можно аппроксимировать выражением:

$$H^*(\theta) = H_{\parallel} (\cos^2 \theta + \epsilon^2 \sin^2 \theta)^{-1/2},$$

где $H_{\parallel}^* \approx 4$ Э, $H_{\perp}^* \approx 35$ Э, $\epsilon = H_{\parallel}^* / H_{\perp}^*$. Наблюдаемая анизотропия не является эффектом формы кристалла, так как ширина и интенсивность сигнала керамических образцов, подобных монокристаллам, не зависит от ориентации образца относительно H .

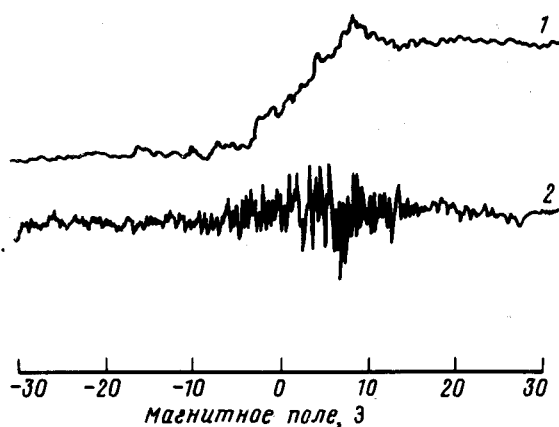


Рис. 2. Форма сигнала dR/dH в ориентации $\theta = 50^\circ$ (амплитуды модуляции: 1 - 4 Э, 2 - 0,125 Э)

Отличительной особенностью монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ является сильный осцилляционный характер зависимости $(dR/dH) = f(H)$ в области слабых статических полей, выявляющийся при малых амплитудах модуляции. Диапазон полей, в которых наблюдаются осцилляции большой амплитуды, коррелирует с шириной "перемодулированного" сигнала dR/dH (рис. 2). При повторном сканировании осцилляционная картина устойчиво воспроизводится в том же интервале магнитных полей вблизи нулевого поля, но при этом различается в деталях своей структуры.

На рис. 3 приведены результаты измерений в малых полях ($H = 0 \div 2 \text{ Э}$) при малых модуляциях ($H_m = 0,125 \text{ Э}$) для случаев $H \parallel c$ и $H \perp c$. Для обеих ориентаций обнаруживается

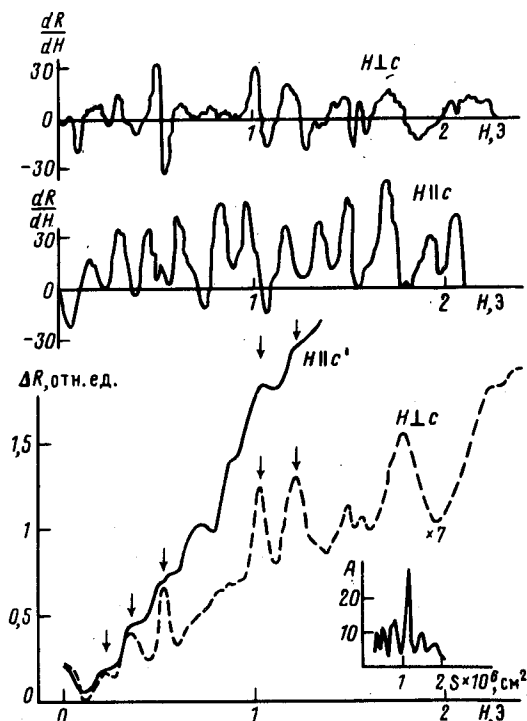


Рис. 3. Осцилляции dR/dH и ΔR в области нулевого магнитного поля для ориентаций $H \parallel c$ и $H \perp c$. На врезке – фурье-образ dR/dH для ориентации $H \parallel c$

несомненное соответствие положения по оси H осцилляционных особенностей, весьма наглядное в случае интегральных кривых. Эти особенности обостряются при переходе от $H \parallel c$ к $H \perp c$, но периодичность по полю практически сохраняется. Фурье-образ dR/dH обнаруживает резкий пик при $\Delta H = 0,176 \text{ Э}$, что близко к расстоянию между первыми максимумами зависимости $R(H)$ и соответствует площади $S = \Phi_0 / \Delta H \approx 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2$. Полученный результат несомненно подтверждает наличие процессов джозефсоновской природы, возможно, связанных с наличием двойников и неоднородным распределением кислорода по кристаллу. Необходимы, очевидно, дальнейшие исследования в этом направлении.

Авторы благодарны В.В.Кведеру за обсуждение результатов и А.А.Копылову за помощь в работе.

Литература

1. Kojima K., Ohbayashi K., Udagawa M., Hihara T. Jap. J. Appl. Phys. p. II, 1987, 26, 766.
2. Кведер В.В., Мчедлидзе Т.Р., Осипьян Ю.А., Шалынин А.И. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, приложение, 176.
3. Лыфгарь Д.Л., Моисеев Д.П., Мотуз А.А. и др. ФНТ, 1987, 13, 876.
4. Вендик О.Г., Гацура Е.Ф., Карманенко С.Ф. и др. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости, 1987, Свердловск, Информ. мат., ч. I с. 136.
5. Durny R., Hatata J., Ducharme S., et al. Phys. Rev. B., 1987, 36, 2361.
6. Мастеров В.Ф., Егоров А.И., Герасимов Н.П. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 289.
7. Алексеевский Н.Е., Гарифулин И.А., Гарифьянов Н.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 292.
8. Siegrist T., Sunshine S. et al. Phys. Rev. B, 1987, 35, 7137.
9. Stavola M., Krol D.M. et al. Phys. Rev. B., 1987, 36, 850.
10. Осипьян Ю.А., Афоникова Н.С. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 189.