

- [5] Олещук А. Ю., Петренко П. А., Боброва З. А., Малиновский Т. И. // См. [1]. С. 66—68.
- [6] Нарасимхамурти Т. Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов. М.: Мир, 1984. 295 с.
- [7] Návlicek I., Ivanov N. R., Fousek J. // Czech. J. of Physics. 1986. V. B36. N 12. P. 1451—1454.
- [8] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. 584 с.
- [9] Романюк Н. А., Мыцык Б. Г. // Оптика анизотропных сред. М., 1985. С. 155—159.
- [10] Sanctuary R., Gunter P. // Phys. St. Sol. (a). 1984. V. 84. N 1. P. 103—111.
- [11] Van Kleef R. P., Rasing T. H., Stoelinga J. H. M., Wyder P. // Sol. St. Comm. 1981. V. 39. N 2. P. 433—437.
- [12] Влох О. Г., Каминский Б. В., Кытык А. В., Половинко И. И., Свелеба С. А. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 11. С. 3436—3438.
- [13] Jamet J. P. // Phase Transitions. 1988. V. 11. N 2. P. 335—371.

Львовский государственный  
университет им. Ив. Франко  
Львов

Поступило в редакцию  
24 ноября 1988 г.  
В окончательной редакции  
14 февраля 1989 г.

УДК 539.292

Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989

## НАМАГНИЧЕННОСТЬ И ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Р. Лайхо,<sup>1</sup> Е. Суннонен,<sup>1</sup> Ю. П. Степанов, М. П. Власенко, Л. С. Власенко

Во многих работах, посвященных исследованию высокотемпературных сверхпроводников ВТСП методом ЭПР, сообщалось о наблюдении при температурах ниже критической сильного изменения поглощения микро-

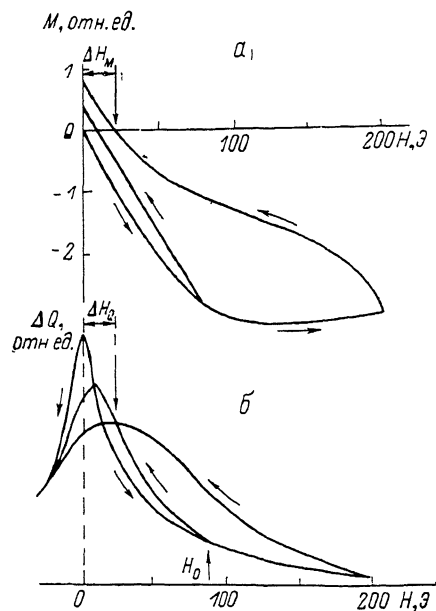


Рис. 1.

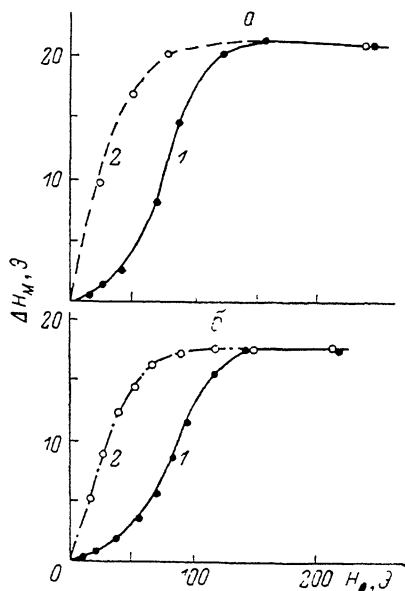


Рис. 2.

волновой мощности при сканировании магнитного поля через нулевое значение (см., например, [1-4]). Сигнал изменения поглощения имеет вид, подобный линии магнитного резонанса, но знак его противоположен знаку

<sup>1</sup> Физическая лаборатория Вихури университета г. Турку, Финляндия.

обычных сигналов поглощения ЭПР и соответствует уменьшению поглощения при уменьшении напряженности магнитного поля. Сообщалось также, что этот сигнал наблюдается не только в СВЧ диапазоне, но и в области частот от единиц до десятков мегагерц [5]. Было также обнаружено, что положение наблюдаемой линии, соответствующей минимуму потерь, зависит от напряженности магнитного поля, в котором предварительно был намагничен образец ВТСП [6]. В работе [7] была обнаружена связь между поглощением ВЧ мощности в нулевом магнитном поле и остаточной намагниченностью различных образцов ВТСП после их намагничивания.

В настоящей работе приведены результаты исследований намагниченности и ВЧ поглощения в ВТСП и продемонстрирована корреляция между полным магнитным моментом образцов и положением линии ВЧ поглощения в магнитном поле. В связи с отсутствием в настоящее время детальной физической модели, объясняющей все особенности ВЧ и СВЧ поглощения в ВТСП в магнитных полях, изложенные ниже результаты представляются важными.

Эксперименты проводились с керамическими образцами  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ,  $\delta \approx 0.1$ . Намагниченность измерялась с помощью ВЧ-СКВИДа в диапазоне магнитных полей 0—1500 Э и температур 4.2—90 К.

Регистрация сигналов изменения поглощения ВЧ мощности при сканировании магнитного поля в пределах от  $-50$  до  $+300$  Э осуществлялась по изменению добротности колебательного контура автодинного генератора, в катушку которого помещался образец. Измерения проводились в диапазоне температур 77—90 К и частот 5—30 МГц. При измерении поглощения на частоте 9 ГГц образец помещался в пучность магнитного поля резонатора спектрометра ЭПР, а сигнал регистрировался непосредственно с СВЧ детектора без применения модуляции магнитного поля.

Измерение намагниченности и поглощения проводились как при охлаждении образцов в нулевом магнитном поле ( $ZFC$ ), так и при охлаждении в магнитном поле ( $FC$ ). Кривые намагниченности  $M(H)$  и сигналы изменения добротности колебательного контура  $\Delta Q$  для одного из образцов, полученные при  $ZFC$  и  $T=77$  К, показаны на рис. 1. Стрелками показано направление изменения магнитного поля  $H$ . Видно, что кривые  $M(H)$  и  $\Delta Q(H)$  при изменении напряженности магнитного поля  $H$  в прямом и обратном направлении не являются обратимыми. При изменении  $H$  в обратном направлении намагниченность образца  $M$  обращается в нуль при некотором значении магнитного поля  $\Delta H_M$ , а при  $H=0$  в образце сохраняется остаточная намагниченность  $M_0$ , поведение которой при намагничивании образцов ВТСП исследовано в работе [7].

Как видно из рис. 1, б, добротность колебательного контура, содержащего ВТСП, максимальна, а потери ВЧ мощности минимальны сразу после охлаждения образца в нулевом магнитном поле. Увеличение  $H$  как в сторону положительных, так и отрицательных значений, приводит к уменьшению  $\Delta Q$ . После достижения какого-либо значения магнитного поля  $H_0$  и последующем уменьшении  $H$  максимум  $\Delta Q$  будет не в нулевом поле, а при  $H = \Delta H_Q$ . При этом интенсивность наблюдаемой линии ВЧ поглощения уменьшается, а ее ширина увеличивается. Положение этой линии, соответствующее минимуму потерь ВЧ мощности в образце, оказывается близким к значению магнитного поля, в котором полный магнитный момент образца равен нулю.

Зависимости  $\Delta H_M$  и  $\Delta H_Q$  от величины намагничивающего поля  $H_0$ , полученные при  $ZFC$  (1) и  $FC$  (2), показаны на рис. 2. Видно, что наблю-

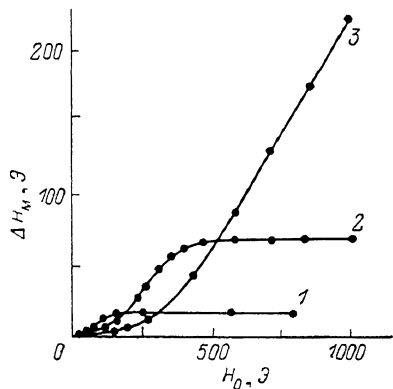


Рис. 3.

дается хорошая корреляция между поведением величин  $\Delta H_M$  и  $\Delta H_Q$ . Аналогичные результаты получены при измерении потерь в области СВЧ на частоте 9 ГГц, а также при различных температурах. Отметим, что с понижением температуры насыщение  $\Delta H_M$  и  $\Delta H_Q$  достигается в более сильных магнитных полях  $H_0$ , а сами значения  $\Delta H_M$  и  $\Delta H_Q$  в области насыщения оказываются большими. Для примера на рис. 3 приведены зависимости  $\Delta H_M$  от  $H_0$ , полученные при ZFC и  $T=77$  (1), 50 (2), 30 К (3).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о связи ВЧ поглощения и намагниченности ВТСП, причем минимум потерь ВЧ и СВЧ мощности наблюдается в таких магнитных полях, где намагниченность образцов близка к нулю. Некоторое различие в значениях  $\Delta H_M$  и  $\Delta H_Q$  (рис. 2) связано, по-видимому, с тем обстоятельством, что намагниченность регистрируется в экспериментах от всего объема образца, а вклад в сигнал ВЧ поглощения дают только области, куда проникает переменное поле.

В заключение авторы выражают благодарность Б. П. Захарчене, В. Г. Флейшеру, М. Г. Семенченко за полезные обсуждения результатов и А. Г. Бадалян за помощь в проведении экспериментов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Blazeu K. W., Müller K. A., Bednorz J. G., Berlinger W., Amoretti G., Bulugin E., Vera A., Maticotta F. C. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 13. P. 7241—7243.
- [2] Кведер В. В., Мчелидзе Т. Р., Осипьян Ю. А., Шалынин А. И. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. Приложение. С. 176—179.
- [3] Власенко Л. С., Семенченко М. Г., Степанов Ю. П. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. № 23. С. 1435—1439.
- [4] Александров В. И., Бадалян А. Г., Баранов П. Г., Вихнин В. С., Осико В. В., Удовенчик В. Т. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 3. С. 169—172.
- [5] Bhat S. V., Ganguly P., Ramakrishnan T. V., Rao C. N. P. // J. Phys. C: Sol. St. Phys. 1987. V. 20. P. L559—L563.
- [6] Khachatryan K., Weber E. R., Tejedor P., Stacy A. M., Portis A. M. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 16. P. 8309—8314.
- [7] Блиннов Е. В., Семенченко М. Г., Флейшер В. Г., Захарченя Б. П., Кулешов П. П., Степанов Ю. П. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 3. С. 147—150.

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

Поступило в Редакцию  
14 февраля 1989 г.

## ОСОБЕННОСТИ ХЕМОСОРБЦИИ НА РАЗМЕРНО-КВАНТОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКЕ

Р. П. Мейланов

Перенормировка электронного спектра хемосорбированного атома связана с особенностями плотности состояний электронной подсистемы подложки. В рамках модели Андерсона—Ньюнса [1, 2] энергия хемосорбированного атома определяется полюсами функции Грина адатома

$$G(\omega) = [\omega - E_a - \sigma_a(\omega)]^{-1},$$

$E_a$  — затравочная энергия адатома,  $\sigma_a$  — массовый оператор, который в простейшем случае изолированного адатома дается выражением

$$\sigma_a(\omega) = \sum_{p,s} |V_{p,s;a}|^2 (\omega - E_{ps})^{-1} = \Delta(\omega) + i\Delta(\omega). \quad (1)$$