

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
05.2; 05.4

12 апреля 1989 г.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ВБЛИЗИ T_c В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

Э.В. И ж и к, А.Я. К и р и ч е н к о,
Ю.Ф. Р е в е н к о, В.М. С в и с т у н о в,
Н.Т. Ч е р п а к

При экспериментальном исследовании ВТСП керамик типа $RBaCuO$ ($R = Y, Yb, Gd, Tm$) в высокочастотных (ВЧ) электромагнитных полях в области $T < T_c$ обнаружены особенности, которые проявляются в нарушении монотонной зависимости ВЧ поглощения от T [1] и различным образом зависят от амплитуды и частоты поля. Последнее указывает на различную природу этих особенностей.

Одна из указанных особенностей проявляется при повышении амплитуды поля и, по-видимому, обусловлена наличием слабых связей между гранулами [2]. Вторая особенность не зависит от амплитуды ВЧ поля в интервале значений $H = 1-0.03$ Э, однако сильно зависит от толщины и плотности образца, либо при заданной толщине от частоты поля.

С целью выяснения физической природы этой особенности проведены специальные измерения поглощения в образцах керамики $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ различной толщины и на различных частотах. Образцы изготовлены по обычной технологии в виде двух дисков с характеристиками: толщина $d_1 = 3.63$ мм, $d_2 = 2.13$ мм и плотность $\rho_1 = 4.54$ г/см³, $\rho_2 = 3.63$ г/см³. Измерения проводились в интервале температур $T = 300-77$ К в диапазоне частот $f = 1-10$ МГц. Диск керамики размещался на торце плоской индукционной катушки с $L = 3.4-100$ мкГн, намотанной на лейкосапфировый сердечник. Мерой поглощения энергии в образце является изменение доброт-

ности $Q = 2\pi fL / R_k$ колебательного контура, где L и R_k — индуктивность и сопротивление контура, учитывающие влияние образца. Измерялись температурные зависимости $Q(T)$ и $L(T)$ при фиксированной частоте. T_c определялась по началу сверхпроводящего перехода (СП) из резистивных измерений и по кривым $L(T)$.

Для образцов, толщина d которых на выбранной частоте измерений превышает глубину скин-слоя δ при $T=300$ К, при переходе образца в СП состояние на температурных зависимостях обычно наблюдаются резкое повышение добротности Q и снижение индуктивности контура. Кривые 1 и 2 на рис. 1, а являются типичными для рассматриваемого случая и качественно соответствуют аналогичным зависимостям, получаемым различными методами в широком диапазоне радиочастот [3]. Они приведены для первого образца, измеряемого при $f = 7.95$ МГц. Кривой 5 (для сравнения) приведена зависимость относительного изменения R — сопротивления на постоянном токе, полученная из резистивных измерений по четырехточечной схеме.

Понижение частоты измерений до $f = 1.66$ МГц приводит к нарушению монотонности в изменении $Q(T)$ (кривая 3) при качественном сохранении зависимости $L(T)$ (кривая 4). При этой частоте глубина скин-слоя δ уже превышает толщину образца при комнатной температуре. Последнее легко определяется по возмущению Q и L медным образцом, располагаемым у противоположной по отношению к катушке индуктивности стороне керамического диска. Общее снижение добротности на более низкой частоте и относительно более сильное изменение индуктивности связаны с изменением характеристик катушки индуктивности в частотном диапазоне измерений. Следует отметить, что в области $T=(80-85)$ К может наблюдаться некоторое нарушение монотонности зависимости $Q(T)$ (см. рис. 1, а), существенно зависящее от амплитуды ВЧ поля. При снижении H до 0.03 Э особенность исчезает, тем самым позволяя интерпретировать ее как дополнительные потери, обусловленные разрывом связей между гранулами [2].

Снижение толщины образца и его плотности сопровождается углублением минимума на кривой $Q(T)$ и смещением его в область более низких температур. В подтверждение этого на рис. 1, б приведены зависимости $Q(T)$ и $L(T)$ для второго образца меньшей толщины и плотности, измеренные на тех же частотах $f = 7.95$ МГц (кривые 1, 2) и $f = 1.66$ МГц (кривые 3, 4) соответственно. Зависимость $L(T)$ при этом не претерпевает качественных изменений. Примечательно, что снижение частоты, сопровождаемое возрастанием отношения $\delta/d > 1$ для образца, находящегося в нормальном состоянии, приводит к заметному снижению потерь, т.е. повышению Q (кривая 3), что находит естественное объяснение в рамках представлений о зависимости ВЧ поглощения от f , когда δ превышает d .

Исследуемые образцы являются однофазными со слабой „металлической“ зависимостью R от T в нормальном состоянии. Это означает, что при охлаждении образца до $T=T_c$ δ медленно

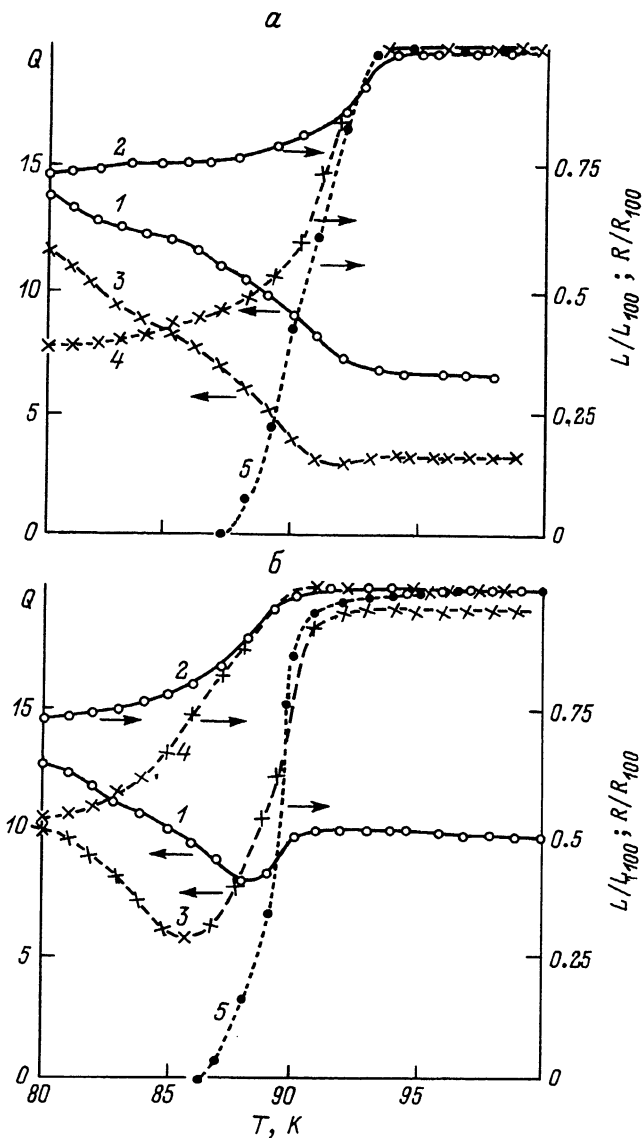


Рис. 1. Зависимости $Q(T)$ и L/L_{100k} ВТСП-керамических образцов на частотах $f = 7.95$ МГц (сплошные кривые) и $f = 1.66$ МГц (пунктирные кривые), а также зависимость R/R_{100k} (точки) а) для первого образца ($d_1 = 3.63$ мм, $\rho_1 = 4.54$ г/см³); б) для второго образца ($d_2 = 2.13$ мм, $\rho_2 = 4.17$ г/см³).

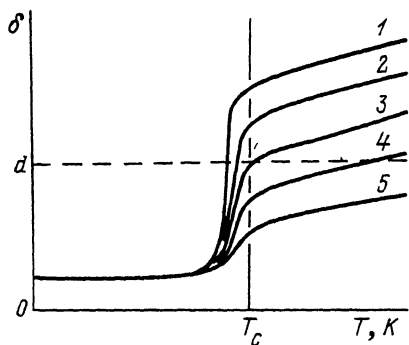


Рис. 2. Характер изменения скин-слоя δ с температурой T вблизи СП перехода для нескольких значений частоты f .

уменьшается до некоторой величины $\delta(T_c)$, а затем резко снижается в области СП перехода до значений $\delta_s(T)$.

Можно качественно представить зависимость глубины δ скин-слоя образца с толщиной

d (рис. 2, штриховая горизонтальная прямая) при изменении T . Параметром кривых является f , минимальная для верхней кривой (1) и повышающаяся с ростом номера на рис. 2.

Если выполняется условие $\delta(T) > d$ при комнатной температуре (кривые 1 и 2), то при некоторой температуре в области СП перехода $\delta(T)$ сравнивается с d образца. В случае $\delta(T) < d$ при $T \approx 300$ К (кривые 4 и 5) указанное обстоятельство не может иметь места. Кривой 3 соответствует промежуточный случай, когда $\delta(T_c) = d$. Очевидно, что условие $\delta(T) = d$ в области СП перехода слабо зависит от f в силу двух причин: резкой зависимости $\delta(T)$ в этой области и отсутствия дисперсии δ_s [4]. Следовательно, наблюдаемый минимум $Q(T)$ в области СП перехода можно полностью объяснить размерным радиочастотным эффектом. Особенность в радиочастотных потерях при $\delta(T_c) = d$ возникает за счет различия в механизмах, приводящих к изменению потерь энергии в катушке с образцом ВТСП на высоких и низких частотах, т.е. при $\delta < d$ и $\delta > d$. Как видно из рис. 2, условие $\delta = d$ может выполняться и при $T > T_c$ (см., например, кривую 4). Однако в силу слабой температурной зависимости импеданса при $T > T_c$ размерный эффект является весьма слабо выраженным и не всегда четко наблюдаемым.

Обнаруженный эффект в ВТСП при $T \leq T_c$ аналогичен эффекту, наблюдаемому в нормальном металле при изменении статического магнитного поля [5]. Следует подчеркнуть, что в [5] при теоретическом анализе авторами использовано условие: ВЧ поле на противоположных сторонах металлической пластины имеет противоположную поляризацию, в результате чего появилось условие наблюдения эффекта $2\delta = d$. В [6] воспроизведена геометрия опыта [5] для ВТСП и получены аналогичные результаты.

В настоящей работе в отличие от [5, 6] имеет место одностороннее облучение образца, поэтому особенность проявляется при $\delta(T) = d$. Условие наблюдения облегчается резким изменением $\delta(T)$ в широком интервале значений (от $\delta(T_c)$ до $\delta_s(T)$).

Наблюдаемый эффект позволяет непосредственно определять глубину скин-слоя δ вблизи T_c . Например, для образца 1 $\delta(T) = 3.6$ мм на частоте $f \geq 3$ МГц при $T = 92$ К. Эффект должен наблю-

даться во всех материалах, включая пленки. Он может оказаться полезным при исследовании температурной и полевой зависимости δ , важных для изучения природы сверхпроводимости в материалах с высоким значением T_c . Слабые магнитные поля $H < 150 \text{ Э}$ не влияют на глубину и положение минимума. Отсюда следует, что слабые магнитные поля не влияют на δ при $T \leq T_c$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К и р и ч е н к о А.Я., Ч е р п а к Н.Т. В сб.: Твердотельная электроника миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, Харьков: ИРЭ АН УССР. 1988. С. 112-116.
- [2] С в и с т у н о в В.М., Р е в е н к о Ю.Ф., Г р и г у т ь О.В., Т а р е н к о в В.Ю. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости, Информ. мат. Свердловск: УрО АН СССР. 1987. ч. 2. С. 104-105.
- [3] К и р и ч е н к о А.Я., Ч е р п а к Н.Т. // Препринт ИРЭ АН УССР. № 369. Харьков. 1988. 27 с.
- [4] К а u t z R.L. // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 1. P. 308-312.
- [5] F i s h e r H., К а о Y.H. // Solid State Commun. 1969. V. 7. N 2. P. 275-277.
- [6] Ж е р е б ч е в с к и й Д.Э., Ч а б а н е н к о В.В., М о и с е е в а Т.Н. // Препринт ИМФ АН УССР. № 13.88. Киев. 1988. С. 32-33.

Институт радиофизики
и электроники АН УССР,
Харьков

Поступило в Редакцию
14 октября 1988 г.
В окончательной редакции
9 февраля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
09.

12 апреля 1989 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИФУРКАЦИЙ НА ПОРОГЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

А.Р. В о л к о в с к и й, Н.Ф. Р у л ь к о в

Известно [1], что связь, накладываемая на системы с индивидуальной стохастической динамикой, может приводить к синхронизации стохастических колебаний. Несмотря на наличие работ, в которых рассматривается это явление,¹ остаются неисследованными бифуркации, определяющие переход к такому режиму. Тем самым остается открытым вопрос о возможном характере границ зоны стохастической синхронизации.

¹ См., например, [2-4].