

О ВОЗМОЖНОМ СТИМУЛИРОВАНИИ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В Bi-Sr-Ca-Cu-O

*А.Я.Кириченко, М.Б.Космына, А.Б.Левин,
Н.Т.Черняк*

Обнаружено снижение поверхностного сопротивления керамики Bi-Sr-Ca-Cu-O в сверхпроводящем состоянии при воздействии на нее микроволнового излучения. Эффект наблюдался в определенном интервале температур ($60 \text{ K} < T < T_c$) при частоте $\omega = 2\pi \cdot 3,6 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$.

Несмотря на большое число опубликованных работ по импедансным свойствам высоко-температурных сверхпроводников (ВТСП) интерес к этому направлению исследований не ослабевает. Это обусловлено как чисто научными, так и прикладными аспектами ВТСП. Следует заметить, что большая часть измерений проведена на материалах состава $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, поэтому наши представления о микроволновых свойствах ВТСП основаны, главным образом, на результатах измерений этих материалов (см., например, ¹).

В данном сообщении приведены результаты исследований импедансных свойств керамики Bi-Sr-Ca-Cu-O в интервале температур $T = 300 - 10 \text{ K}$, указывающие на возможность стимулирования электромагнитным излучением сверхпроводимости в ВТСП.

Bi-Sr-Ca-Cu-O -керамика синтезирована из окислов висмута и меди, карбонатов стронция и кальция. Исходные вещества в соотношении $\text{Bi} : \text{Sr} : \text{Ca} : \text{Cu} = 2,2 : 2 : 0,8 : 2$ были тщательно перемешаны в тигле из окиси алюминия и расплавлены при температуре $\sim 1000^\circ \text{C}$. При этой температуре расплав был выдержан 12 часов, затем охлажден до 700°C со скоростью 4 K/час . При температуре 700°C скорость охлаждения печи была увеличена до 50 K/час . Из полученного закристаллизованного расплава изготовлен образец с размерами $20 \times 20 \times 5 \text{ мм}$, который был отожжен на воздухе в течение 10 часов при температуре $\sim 760^\circ \text{C}$ и охлажден со скоростью 25 K/час .

Измерения проводились на частоте $\omega = 2\pi \cdot 3,6 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ методом возмущения квазиоптического диэлектрического резонатора образцом ВТСП ². Мощность излучения в волноводе не превышала $P = 1 \text{ мВт}$ и могла изменяться измерительным аттенуатором на два-три порядка. Экспериментально измерялась ширина резонанса $\Delta\omega$ возмущенного диэлектрического резонатора в зависимости от мощности P излучения в волноводе и от температуры T образца. Образец взаимодействовал с полем бегущей азимутальной волны типа EH_{n11} , при этом магнитная составляющая поля была перпендикулярна плоскости образца, а электрическая – параллельна ей. Образец не экранировался от внешних магнитных полей. Возможность влияния нелинейности детектора на результаты измерений исключалась.

На рис. 1 приведены зависимости ширины резонанса $\Delta\omega$ квазиоптического резонатора, возмущенного образцом ВТСП, от мощности P , параметром кривых $\Delta\omega(P)$ является T . Естественно, что при минимальных значениях P , используемых в эксперименте, с ростом T ширина резонанса $\Delta\omega$ возрастает пропорционально росту поверхностного сопротивления. При $T = 30 \text{ K}$ $\Delta\omega$ в слабом поле не зависит от P и начинает монотонно возрастать с ростом P выше некоторого значения (кривая 1). Этот характер зависимости имеет место в интервале $T = 10 \div 35 \text{ K}$. При повышении T до 50 K с точностью до ошибки измерений влияние P на $\Delta\omega$ не обнаруживается (кривая 2). При дальнейшем росте T зависимость $\Delta\omega(P)$ меняет знак производной $\partial(\Delta\omega)/\partial P$ в области повышенного уровня P (кривая 3, $T = 67 \text{ K}$). При повышении T до 74 K (кривая 4) зависимость $\Delta\omega(P)$ становится немонотонной, при этом на кривой появляется еще один падающий участок (в данном интервале изменения P).

Рост $\Delta\omega$ от P указывает на разрушающее действие микроволнового поля на сверхпроводимость. Снижение $\Delta\omega$ с ростом P может быть связано со стимулированием сверхпроводимости.

мости этим полем. Эксперимент указывает, что эффект стимулирования сверхпроводимости проявляется при температурах, превышающих некоторое значение T и становится особенно заметным вблизи T_c .

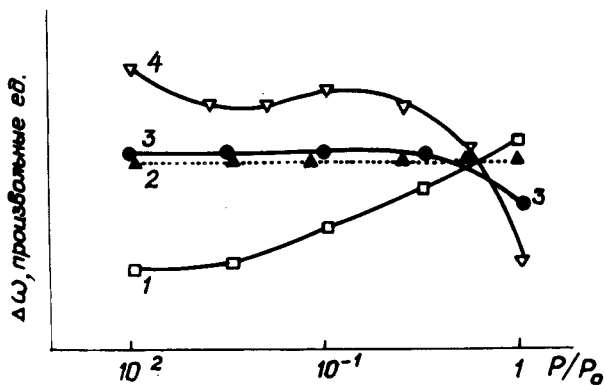


Рис. 1. Зависимость ширины резонанса $\Delta\omega$ квазиоптического резонатора, возмущенного образцом ВТСП, от мощности P : 1 - $T = 30$ К; 2 - $T = 50$ К; 3 - $T = 67$ К; 4 - $T = 74$ К

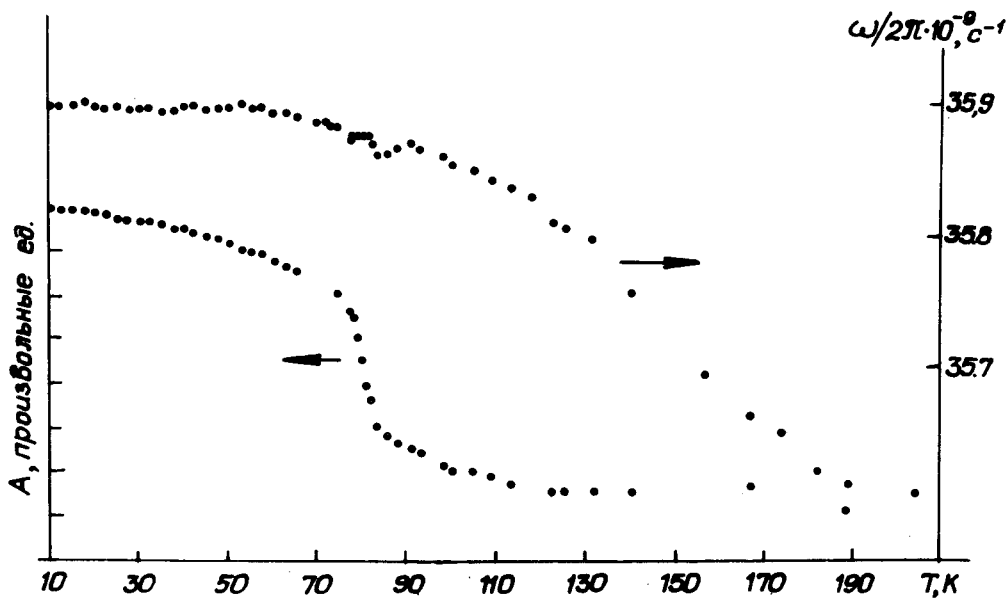


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента A поглощения электромагнитной энергии и резонансной частоты $\omega/2\pi$ квазиоптического резонатора с образцом ВТСП

Эффект стимулирования сверхпроводимости в других условиях эксперимента ранее был обнаружен в низкотемпературных сверхпроводниках^{3,4}. Предложенные микроскопические теории^{5,6} хорошо объясняют экспериментальные результаты, полученные на этих сверхпроводниках⁷.

Обсудим качественно некоторые особенности наблюдаемого эффекта в модели гранулированного образца ВТСП с неоднородными контактами между отдельными гранулами. Немонотонность зависимости $\Delta\omega(P)$ (кривая 4) может указывать, что при фиксированной температуре излучение разрушает или стимулирует сверхпроводимость в зависимости от величины P . Такая немонотность следует из теории⁶, которая была развита для неоднородных контактов и может указывать, что длина L контактов удовлетворяет неравенству $L < \xi(T)$ ^{6,7}, где $\xi(T)$ — длина когерентности. При этом сверхпроводящие свойства усиливаются только для

мощности $P > (1/3v_F l L^2 / \Delta_0)^{10/11}$, где v_F — скорость Ферми, l — длина свободного пробега электронов при рассеянии на примесях, Δ_0 — энергетическая щель в объеме образца вне контакта. При меньших уровнях мощности излучение приводит к подавлению сверхпроводимости в контакте.

То обстоятельство, что немонотонная зависимость $\Delta\omega(P)$ в данном интервале значений P имеет два перегиба, повидимому, связано с наличием двух сверхпроводящих фаз в образце. Наличие последних подтверждается температурной зависимостью коэффициента A поглощения электромагнитной энергии в резонаторе с образцом. A увеличивается с уменьшением поверхностного сопротивления, т.е. с ростом собственной добротности резонатора, нагруженного образцом. Зависимость $A(T)$ хорошо коррелирует с зависимостью резонансной частоты $\omega(T)$ (рис. 2).

Однако известно ⁸, что величина $\xi(T)$ в Bi—Sr—Ca—Cu—O весьма мала, порядка межатомных расстояний в кристаллической решетке ВТСП, поэтому справедливость приложения модели ⁶ в данном случае вызывает сомнения и требует доказательств.

Литература

1. Fathy A. et al. Phys. Rev. B, 1988, 38, 7023.
2. Кириченко А.Я., Черняк Н.Т. Препринт № 369, ИРЭ АН УССР, Харьков, 1988, 27 с.
3. Wyatt A.F.G. et al. Phys. Rev. Lett., 1966, 16, 1166.
4. Dayem A.H., Wiegand J.J. Phys. Rev., 1967, 155, 419.
5. Элиашберг Г.М. Письма в ЖЭТФ, 1970, 11, 186.
6. Асламазов Л.Т., Ларкин А.И. ЖЭТФ, 1978, 74, 2184.
7. Дмитриев В.М., Христенко Е.В. ФНТ, 1978, 4.
8. Deutsher G. J. of the Less-Common Metals, 1989, 150, 1.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Украинской ССР

Научно-производственное объединение
"Монокристаллреактив"

Поступила в редакцию
10 августа 1989 г.