

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМАХ ТИПА $\text{Me} - \text{Ba}(\text{Sr}) - \text{Cu} - \text{O}$.

*В.Ф.Мастеров, А.И.Егоров, Н.П.Герасимов, С.В.Козырев,
И.Л.Лихолит, И.Г.Савельев, А.В.Федоров, К.Ф.Штельмах*

В системе $\text{Me} - \text{Ba}(\text{Sr}) - \text{Cu} - \text{O}$ при температурах ниже температуры сверхпроводящего перехода T_c в спектре ЭПР обнаружена линия в слабых магнитных полях. При температурах существенно ниже T_c на этой линии наблюдается дополнительная структура в виде аperiодических по магнитному полю флуктуаций сигнала ЭПР. В отличие от шумовых флуктуаций обнаруженная структура полностью воспроизводится при многократной записи сигнала.

Известно ¹, что системы типа $\text{Me} - \text{Ba} - \text{Cu} - \text{O}$ являются сверхпроводниками, сверхпроводящие свойства и температура перехода T_c которых зависит от относительного содержания различных компонент состава. Предполагается, что в рассматриваемых соединениях медь находится в состоянии с валентностью два, и d -электроны, коллективизируясь, образуют зону с высокой плотностью состояний. Очевидно, что несовершенство материалов может приводить к появлению одиночных ионов Cu^{2+} , которые могут быть использованы в качестве спиновой метки при исследовании как однородности состава в нормальном состоянии, так и при изучении смешанного состояния сверхпроводника при $T < T_c$. В этом случае эффективным методом исследования является электронный парамагнитный резонанс.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования различных сверхпроводников методом ЭПР и показано, что по интенсивности сигнала ЭПР действительно можно су-

диль об однородности состава. Кроме того, при температурах $T < T_c$ обнаружен нерезонансный эффект, связанный с магнитным полем, который мы назвали электромагнитным эффектом, и эффекты, обусловленные мезоструктурой сверхпроводящего состояния.

Исследовались керамики $MeBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ ($Me = Y, Ho, Eu$) и $ScSr_2Cu_3O_{6+\delta}$ на ЭПР-спектрометрах ER-220 D-LR фирмы "Bruker" и SE/X-2543 фирмы "Radiopan" на частотах 9,5 и 9,1 ГГц в интервале температур (3,7 – 300) К. Точка перехода в сверхпроводящее состояние определялась по температурным зависимостям удельного сопротивления и статической магнитной восприимчивости.

При температурах ниже T_c в спектре поглощения СВЧ-мощности сверхпроводящих керамик появляется дополнительная линия в слабых магнитных полях, интенсивность которой на три порядка выше интенсивности линии ионов Cu^{2+} , наблюдаемой при температурах выше точки фазового перехода в исследованных образцах. Величина сигнала в слабых полях растет с понижением температуры, а линия при этом смещается в сторону больших полей.

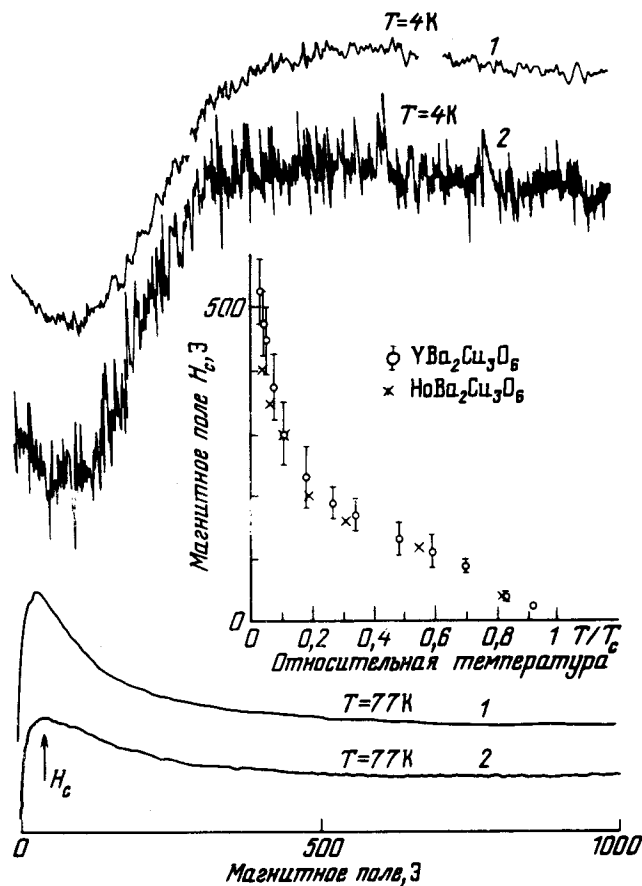


Рис. 1. Линия, обусловленная электромагнитным эффектом в керамиках: 1 – $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ и 2 – $HoBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ при различных отношениях T/T_c , зависимость H_{c2} от температуры (на вставке); вид на мезоструктура линии и зависимость ее амплитуды от величины внешнего поля и температуры

На рис. 1 в качестве примера приведена полевая зависимость первой производной линии поглощения в слабых полях для двух систем $Y - Ba - Cu - O$ и $Ho - Ba - Cu - O$. Интервал температур, в котором происходит увеличение сигнала связан с тем, насколько резок переход в сверхпроводящее состояние, т.е. зависит от свойств керамики и оказывается различным у керамики одного состава, но с различными технологическими условиями ее приготовления. По нашему мнению эта линия не связана с резонансным поглощением в образцах, а обусловлена изменением макроскопических свойств образца при образовании сверх-

проводящего состояния в неупорядоченной системе – электромагнитный эффект. Он связан с поглощением СВЧ-мощности в джозефсоновской среде, каковой, по нашему мнению, является сверхпроводящая керамика при температурах ниже T_c подобно металлооксидным сверхпроводникам $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ ². Этот эффект возрастает при увеличении внешнего магнитного поля до некоторого критического значения H_c , а затем уменьшается. Температурная зависимость H_c для двух систем приведена на вставке рис. 1.

При возвращении внешнего поля в нуль, сигнал при $H = 0$ релаксирует к начальному значению в течение некоторого времени (порядка минуты и больше), которое может характеризовать время существования кольцевых токов в сверхпроводящей сетке керамики.

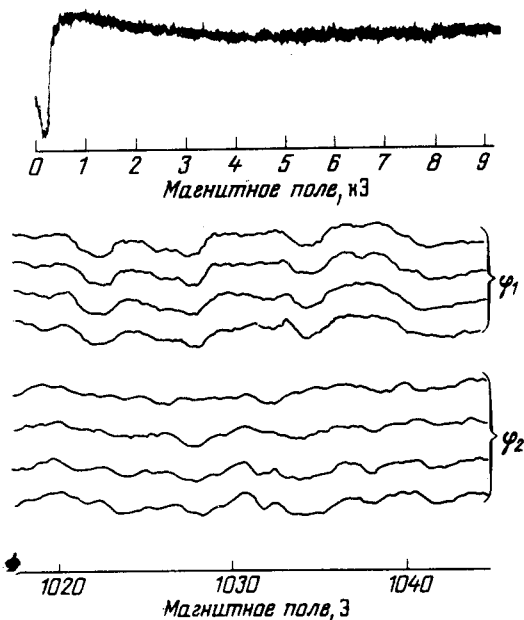


Рис. 2. Мезоструктура линии электромагнитного эффекта при многократных проходах магнитным полем для двух различных ориентаций образца относительно внешнего магнитного поля при $T = 4$ К. Вверху общий вид линии электромагнитного эффекта

Другим интересным проявлением электромагнитного эффекта является проявление мезоструктуры сверхпроводящего состояния. При понижении температуры резко увеличиваются "флуктуации" сигнала. При многократных проходках магнитным полем структура сигнала не меняется (рис. 2). Однако, поворот образца в магнитном поле приводит к резкому изменению структуры сигнала. При этом, как видно из рис. 2, требуется некоторое время для ее установления. Отметим, что структура сигнала также различается у керамик $\text{Y}-\text{Ba}-\text{Cu}-\text{O}$ и $\text{Ho}-\text{Ba}-\text{Cu}-\text{O}$. С понижением температуры ниже T_c амплитуда "мезосигнала" сначала увеличивается, а с $T < 15$ К практически остается постоянной. Подобное поведение характерно для проявления мезоскопических эффектов³. Очевидно, что необходимы более детальные исследования этого эффекта, но уже сейчас можно утверждать, что он открывает дополнительные возможности для определения организации сверхпроводящего состояния в неупорядоченных системах.

Более подробно результаты исследований электромагнитного эффекта в неоднородных сверхпроводниках, полевой и временной зависимости его мезоструктуры будут опубликованы отдельно.

Авторы благодарны Б.З.Спиваку за полезное обсуждение результатов работы.

Литература

1. Bednorz J., Muller K.A. Z. Phys. B, 1986, 64, 189.

2. *Габович А.М., Мусеев Д.П.* Металлооксидный сверхпроводник $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$: необычные свойства применения. УФН, 1986, 150, 599.
3. *Imry Y.* In "Direction condensed matter Physics"; Ed. *G.Grinstein, G. Mazenko.* Singapore, World Scientific, 1986, 101.

Ленинградский политехнический
институт им. М.И.Калинина

Институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова Академии наук СССР

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 июня 1987 г.

После переработки
31 августа 1987 г.
