

05.4; 09

© 1992

РЕЗОНАНС ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ
В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОМПОЗИТЕ НА ОСНОВЕ ВТСПА.М. Гришин, В.П. Дьяконов, Н.И. Мезин,
В.А. Шаповалов, Н.Ю. Старостюк,
Г.С. Ярош

Электромагнитные потери в ВТСП-материалах обнаруживаются в окрестности температуры перехода в сверхпроводящее состояние и существуют даже при очень малых амплитудах возбуждающего поля. Они носят гистерезисный характер и обусловлены проникновением магнитных потоков в гранулированную среду в виде джозефсоновских вихрей [1-8]. Эти потери и шумы, возникающие при перемещении джозефсоновских вихрей, сужают возможность применения керамических ВТСП-материалов в микроэлектронике и СВЧ-технике.

Определенной перспективой использования ВТСП-материалов обладают композиционные материалы на основе ВТСП. Они представляют собой диэлектрическую матрицу, в которой находятся совершенные монокристаллические гранулы ВТСП. Степень разбавления таких композитов может варьировать в широких пределах. Гальваническая связь между гранулами отсутствует. Это означает, что отсутствуют и гистерезисные потери, обусловленные интеграулярными токами. В то же время каждая из гранул, обладая совершенной кристаллической структурой, обнаруживает эффект Мейснера и слабо пиннингует магнитное поле. Таким образом, диэлектрический композит на основе ВТСП может служить моделью „мягкого“ диамагнетика, перематничиваемого слабым магнитным полем.

Нами получен диэлектрический композит ДК, который обладает достаточно сильной зависимостью СВЧ свойств от слабых магнитных полей [9, 10]. Этот композит изготовлен на основе сверхпроводящего порошка $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. В качестве связующего элемента использован низкотемпературный эпоксидный клей. Установлено, что изменение коэффициентов отражения и поглощения СВЧ мощности в магнитном поле в ДК существенным образом зависит от технологии порошка. Разработанная технология получения субдисперсионного сверхпроводящего порошка $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ [11] обеспечивает получение практически однофазного (~95%) продукта, у которого гранулы представляют собой совершенные бездвойниковые кристаллы субмикронного размера (~0.5 мкм) с $T_C=91-93$ К.

Сравнительные исследования композитов из порошков, полученных разными способами: помолом синтезированной керамики, методом распылительной сушки нитратов и методом, основанным на

низкотемпературном синтезе, показали, что наилучшие результаты дает композит, приготовленный последним способом [11].

В данной работе сообщаются результаты исследования магнитных и СВЧ свойств диэлектрического композита на основе высокодисперсного сверхпроводящего порошка $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ [11]. В качестве связующего элемента использовался парафин. Объемный коэффициент заполнения диэлектрического композита материалом $YBCO$ $\nu = 0.7$.

Измерения велись на стандартном измерителе КСВН Р2-66 в диапазоне частот 17-27 ГГц и температур 77-300 К. СВЧ линия применялась в режиме измерения коэффициента стоячих волн по напряжению (КСВН). Исследуемый образец помещался в торце волноводной системы перед согласованной нагрузкой и представлял собой пластину толщиной 3.5 мм, полностью перекрывающую волновод сечением 11x5.5 мм.

На рисунке, а приведена частотная зависимость напряжения на детекторе, измеряющем амплитуду отраженной от исследуемого образца волны (КСВН). На кривой КСВН, полученной при $T=77$ К, в области широкого минимума амплитуды отраженной волны появляется узкий провал на частоте 19.1 ГГц.

Широкая линия существует во всем диапазоне температур 77-300 К. Узкая линия появляется только ниже температуры сверхпроводящего перехода $T_c=91-93$ К. Влияние внешнего магнитного поля на обе линии проявляется по-разному. Так, при $H=100$ эрстед смещение широкой линии еле заметно, а смещение узкой линии составляет 100 МГц (см. рисунок, б).

Обнаруженная особенность электромагнитного поглощения обусловлена, по-видимому, резонансом Фабри-Перро в пластине ДК. Действительно, резонансное поглощение наступает, когда на толщине пластины d укладывается целое число полуволн:

$$f_{рез} = n \frac{c}{2d \sqrt{\epsilon \cdot \mu(H)}}, \quad (1)$$

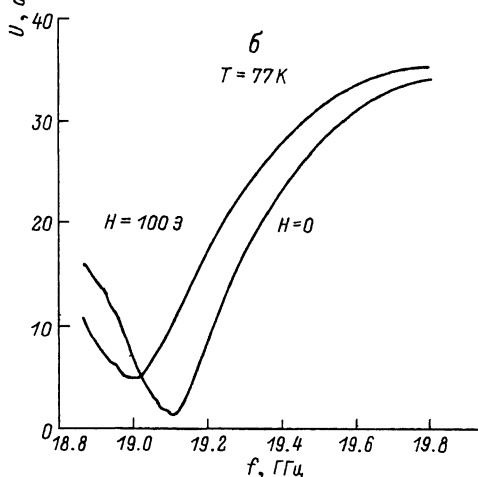
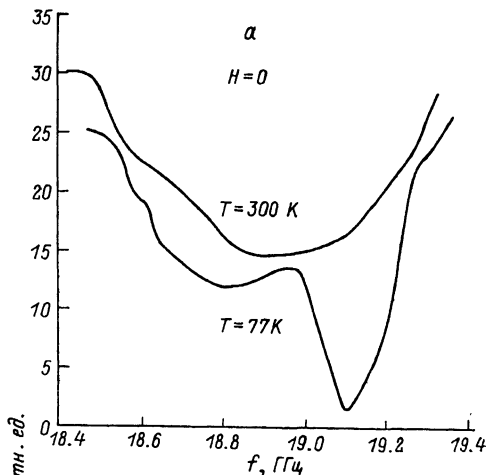
n — положительные целые числа.

Ширина резонанса обусловлена разбросом толщины пластины δd :

$$\delta f \approx f_{рез} \frac{\delta d}{d}.$$

При $T=300$ К, $\epsilon \approx 20$, $\mu \approx 1$ для пластины с $d \approx 3.5$ мм и $\delta d \approx 0.2$ мм наблюдаемый резонанс соответствует $n=2$ (резонансная частота ≈ 19 ГГц) и имеет ширину 1.1 ГГц.

С понижением температуры при $T < T_c$ гранулы $YBCO$ переходят в сверхпроводящее состояние и выталкивают внешнее электромагнитное поле. Магнитная проницаемость $\mu(H)$ в формуле (1) может быть выражена через удельный объем, занимаемый в ДК сверхпроводящим материалом, ρ :



а - частотная зависимость амплитуды отраженной от диэлектрического композита электромагнитной волны (КСВН) в отсутствие магнитного поля для температур 77 и 300 К; б - зависимость коэффициента стоячей волны (КСВН) от частоты и магнитного поля.

$$\mu(H, T) = 1 - \rho(H, T). \quad (2)$$

В соответствии с формулами (1) и (2) с уменьшением μ резонанс смещается в более высокие частоты. Смещение резонансного минимума на кривой (см. рисунок, а) соответствует величине:

$$\rho(0, 77\text{K}) = 1 - \left[\frac{f_{\text{рез}}(300\text{K})}{f_{\text{рез}}(77\text{K})} \right]^2 \approx 0,06.$$

Полученное таким образом значение удельного объема сверхпроводящей фазы ρ (0,77 К) значительно меньше по сравнению с объемным коэффициентом заполнения ДК материалом $YBCO$ $\rho_V = 0.7$. Это означает, что однофазный (по данным рентгеновских исследований) порошок содержит лишь около 8.6% сверхпроводящей фазы. Ее малое содержание может быть обусловлено нестехиометрией по кислороду. Это обычная ситуация. Например, в керамиках $YBCO$ содержание сверхпроводящей фазы, регистрируемое по величине интрагранулярного вклада в диамагнитную восприимчивость [6], составляет 15–20%.

Магнитное поле подавляет сверхпроводимость в гранулах. Это обнаруживается сдвигом резонансной кривой (см. рисунок) и может быть описано уменьшением доли сверхпроводящей фазы $\rho(H)$. Эта зависимость выражается непосредственно через сдвиг резонансной частоты (см. рисунок, б):

$$\rho(H, T) = 1 - [1 - \rho(0, T)] \cdot \left[\frac{f_{рез}(0)}{f_{рез}(H)} \right]^2.$$

Для кривых на рисунке, б относительное изменение концентрации составило:

$$\frac{\rho(0) - \rho(100 \text{ э})}{\rho(0)} = 0.63.$$

Высокая чувствительность ДК к слабому магнитному полю (порядка 1 МГц/1 эрстед) может быть использована для изготовления датчиков поля.

Работа поддерживается Научным советом по проблеме ВТСП и выполнена в рамках проекта № 91059 Государственной программы „Высокотемпературная сверхпроводимость“.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Е ф е т о в К.Б. // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. В. 5. С. 2017–2032.
- [2] И о ф ф е Л.Б., Л а р к и н А.И. // ЖЭТФ. 1981. Т. 81. В. 2(8). С. 707–718.
- [3] С о н и н Э.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. В. 8. С. 415–418.
- [4] В l a z e y K.W., M ü l l e r K.A., B e d n o r z J.G. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 13. P. 7241–7243.
- [5] D w i n y R., H a u t a l a J., D u c h a r m e S. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 4. P. 2361–2363.

- [6] Artemov A.N., Grishin A.M., Koronivshkii V.N., Ulyanov A.N., Khoklov V.A. // Int. J. Mod. Phys. B. 1990. V. 4. N 4. P. 591-603.
- [7] Гришин А.М., Дороботко В.Ф., Емельяненко Д.Г., Инкин Ю.Н., Никонец И.В., Хохлов В.А. // ФНТ. 1990. Т. 16. В. 12. С. 1524-1530.
- [8] Сонин Э.Б., Таганцев А.К. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. В. 3. С. 994-1004.
- [9] Гришин А.М., Мезин Н.И., Ярош Г.С., Старостюк Н.Ю. // Тез. докл. III Всесоюз совещ. по высокотемпературной сверхпроводимости. Харьков, 1991. Т. 2. С. 112-113.
- [10] Гришин А.М., Мезин Н.И., Ярош Г.С., Старостюк Н.Ю. // ФНТ. 1991. Т. 17. В. 9. С. 1489-1490.
- [11] Grishin A.M., Mezin N.I., Starostyuk N.Yu., Samoilenko Z.A., Pushenko E. // Modern Phys. Lett. B. 1989. V. 3. N 13. P. 971-973.

Донецкий физико-технический
институт

Поступило в Редакцию
16 сентября 1992 г.