

05;09;12

©1993 г.

О ДИАГНОСТИКЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВ В ОТКРЫТОМ РЕЗОНАТОРЕ

Д.Г.Афонин, Е.Р.Канунов, А.П.Сухорукоев

В связи с созданием высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) ведутся исследования их свойств, и идет процесс отработки методик исследования таких материалов [1-4].

Настоящим сообщается о результатах исследования импедансных характеристик ВТСП керамики в миллиметровом диапазоне при помощи двухзеркального открытого резонатора (ОР) со сферическим и плоским зеркалами.

Экспериментальное исследование вещества при помощи ОР заключается в определении изменения добротности (ΔQ) и сдвига резонансной частоты ($\Delta\omega$), происходящих при внесении исследуемых образцов в резонансный объем ОР [2,3]. Однако до сих пор не существует соотношений, связывающих в общем виде параметры резонатора и диагностирующего вещества. При конкретной форме резонатора для получения расчетных формул в более простом виде необходимо подбирать геометрию исследуемых образцов и место их расположения в резонаторе такими, чтобы соблюдалась взаимная симметрия.

В случае, когда в процессе диагностики ОР неизменно возбуждается на одном типе колебаний и изменения ΔQ и $\Delta\omega$ небольшие, так что их взаимовлиянием можно пренебречь, определение изменения поверхностного сопротивления (ΔR) и поверхностного реактанса (ΔX) ВТСП при его переходе в состояние сверхпроводимости можно производить в соответствии со следующими соотношениями [5]:

$$\Delta R = G\Delta(Q)^{-1}; \quad (1)$$

$$\Delta X = 2G \left| \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right|; \quad (2)$$

$$G = \frac{\omega_0 \mu_0 \int H^2 dV}{\oint_s H^2 dS}, \quad (3)$$

где ω_0 — резонансная частота, μ_0 — магнитная проницаемость вакуума. Интегрирование в (3) производится по объему, занимаемому полем резонансного типа колебаний и соответствующей этому объему поверхности. Коэффициент G для определенного типа колебаний может быть рассчитан по формуле (3); при получении зависимостей поверхностного сопротивления и поверхностного реактанса от температуры в нормированной форме $\Delta R/\Delta R_{\max}$, $\Delta X/\Delta X_{\max}$ в случае слабого возмущения образцом поля ОР необходимость определения фактора G отпадает.

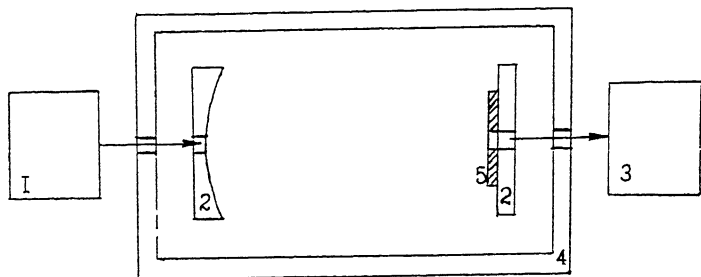


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.



Рис. 2. Зависимости добротности (1) и резонансной частоты (2) ОР от температуры.

Экспериментальная установка для исследования импедансных характеристик ВТСП состоит (рис. 1) из генератора миллиметрового диапазона (1), полусферического ОР (2), работающего “на проход”, и приемно-анализирующей аппаратуры (3). Одним из основных элементов этой установки является криостат (4). Он изготовлен из пенопласта в форме параллелепипеда, так что зеркала, ОР и исследуемый ВТСП образец (5) размещаются в этом криостате. В боковых стенках криостата имеются отверстия под диэлектрические волноводы, сочленяющие ОР с внешними трактами.

Криостат охлаждается за счет пропускания через него паров азота. Температура внутри криостата измеряется посредством медноконстантановой термопары; регулировка температуры осуществляется путем изменения скорости подачи паров азота.

ОР возбуждается от генератора посредством подводящего диэлектрического волновода через малое отверстие связи в сферическом зеркале. Через аналогичное отверстие в плоском зеркале сигнал поступает на детекторную головку и подается через усилитель на осциллограф. Измерение изменения добротности и резонансной частоты производится на основе анализа параметров резонансных кривых, наблюдаемых на экране осциллографа. Образец ВТСП — оксидная керамика $YBa_2Cu_3O_7$ в форме таблетки-диска с малым отверстием в центре (для связи с внешним трактом) размещался на подвижном зеркале и выполнял функции плоского зеркала (диаметр образца 20, толщина 3.5 мм).

При полном переходе оксидной керамики в сверхпроводящее состояние добротность ОР, как видно из рис. 2, возрастала (кривая 1), а резонансная частота уменьшалась (кривая 2).

На рис. 3 приведены соответствующие этому поведению изменения добротности и резонансной частоты зависимости поверх-

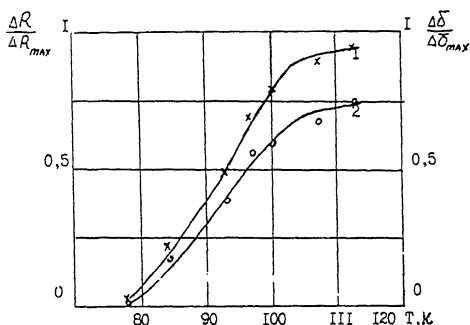


Рис. 3. Зависимости поверхностного сопротивления (1) и глубины проникновения СВЧ-поля в ВТСП (2) от температуры.

поверхностного сопротивления ВТСП от температуры (кривая 1) и происходящее при этом изменение величины проникновения СВЧ поля в образец — $\Delta\delta$ (кривая 2):

$$\Delta\delta = \frac{\Delta X}{\mu_0 \omega_0}. \quad (4)$$

По оценкам в проведенных исследованиях поверхностное сопротивление изменялось на единицы Ома, а $\Delta\delta$ — в пределах 1–3 мкм; абсолютные значения R и δ при этом не определялись. Точность измерения добротности при диагностике ВТСП составляла 20–25%, а частота определялась с погрешностью 0.1%.

Список литературы

- [1] Фомин Н.Ф. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 16. С. 4–7.
- [2] Kesler J.R., Gering J.V., Coleman P.D. // Intern. of Infrared and Millimeter Waves. 1990. V. 11. N 2. P. 151–164.
- [3] Дунаевский Г.Е. // Дефектоскопия. 1986. № 1. С. 35–44.
- [4] Кейс В.Н., Малышев М.Н., Тер-Мартirosян Л.Т. // Тез. докл. ВНТК "Актуальные вопросы технологии композитных материалов в микроэлектронных системах". Ялта, 1990.
- [5] Менде Ф.Ф., Сеницын А.И. Поверхностный импеданс сверхпроводников. Киев: Наукова думка, 1985. 240 с.

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию
20 декабря 1992 г.
В окончательной редакции
2 мая 1993 г.