

Частотные и температурные зависимости импеданса ВТСП керамик

В. М. Дмитриев^{1,2}, Л. А. Ищенко¹, Н. Н. Пренцлау¹

¹ Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины, Украина, 310164, г. Харьков, пр. Ленина, 47
E-mail: dmitriev@ilt.kharkov.ua

² International Laboratory of High Magnetic Field and Low Temperatures, 53421 Wroclaw, Poland

Статья поступила в редакцию 12 августа 1997 г., после переработки 10 марта 1998 г.

Рассмотрены аномалии омических потерь ВТСП керамик в низко- и радиочастотном диапазонах. Экспериментально установлено, что в керамиках ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + 1\% \text{}^{57}\text{Fe}$), $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Sc}_x\text{O}_7$ в частотном интервале, ограниченном частотами f_c и f_F , при которых сопротивление не зависит от температуры, в слабом магнитном поле (до 50 Э) снижается ширина $N-S$ перехода. На примере некоторых типов ВТСП керамик и разных образцов из одного типа керамики показано, что частота f_c не коррелирует с критической температурой T_c .

Розглянуто аномалії омичних втрат ВТНП керамік в низько- та радіочастотному діапазонах. Експериментально встановлено, що в кераміках ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + 1\% \text{}^{57}\text{Fe}$), $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ та $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Sc}_x\text{O}_7$ в частотному інтервалі, обмеженому частотами f_c та f_F , при яких опір не залежить від температури, в слабкому магнітному полі (до 50 Е) зменшується ширина $N-S$ переходу. На прикладі деяких типів ВТНП керамік та різних зразків із одного типу кераміки показано, що частота f_c не корелює з критичною температурою T_c .

PACS: 74.72.Bk, 74.25.Fy, 74.25.Na.

Введение

В работах [1–4] приведены результаты исследования особенностей омических потерь R высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в низко- и радиочастотном диапазонах (0–10⁸ Гц), согласно которым величина и знак температурной производной $\partial R/\partial T$ сложным образом зависят от частоты. В них, в частности, показано, что в некотором частотном диапазоне $\Delta f = f_F - f_c$ производная $\partial R/\partial T$ меняет знак, а, следовательно, на частотах f_F и $f_c < f_F$ омические потери не зависят от температуры ($\partial R/\partial T = 0$) [2–3]. Это свойство сопротивления R , к настоящему времени обнаруженное в нормальном состоянии большинства типов ВТСП [3], качественно объясняется в рамках двухзонной модели сверхпроводника с узкой и широкой электронными зонами [2].

Согласно [4], между частотой f_c и приведенной к ρ_0 температурной производной измеренного на постоянном токе удельного сопротивления $S = (\partial\rho/\partial T)/\rho_0$ прослеживается взаимосвязь.

(Здесь ρ_0 — значение удельного сопротивления в начале линейной зависимости $\rho(T)$ при понижении температуры.)

В частотном диапазоне Δf особенности сопротивления R на его температурной, частотной и магнитолевой зависимостях наблюдаются и в сверхпроводящем состоянии ВТСП. В частности, в диапазоне Δf влияние магнитного поля H на R наблюдается не при критической температуре T_c , измеренной на постоянном токе или на частотах вне Δf диапазона, а при температуре T_{c1} , которая может быть ниже T_c на несколько градусов (до десяти). (Здесь T_c — температура, при которой начинает проявляться влияние слабого постоянного магнитного поля на сопротивление при $N-S$ переходе.) При этом в температурном интервале $\Delta T = T_c - T_{c1}$ омические потери R практически не зависят от температуры.

Таким образом, свойства, характерные для сверхпроводника ($\partial R/\partial T > 0$, $\partial R/\partial H > 0$), начинают проявляться при $T < T_{c1}$ в частотном диапазоне Δf и при $T < T_c$ вне его пределов.

Эти особенности R в диапазоне Δf наблюдаются практически во всех измеряемых образцах и типах ВТСП, за исключением керамик с ферромагнитными примесями ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + 1\% \text{}^{57}\text{Fe}$) или с парамагнитными свойствами (ПМС) ($\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ [3] и $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Sc}_x\text{O}_7$ [3,5]).

В [3] на примере керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + 1\% \text{}^{57}\text{Fe}$ показано, что в частотном интервале Δf радиочастотного диапазона при $T < T_c$ слабое магнитное поле частично снижает омические потери, в то время как за пределами Δf оно их повышает.

В настоящей работе приведены результаты дальнейшего исследования этого явления при $T < T_c$ в ВТСП керамике с низким значением f_c , а также обсуждаются вопросы взаимосвязи между T_c и f_c .

Результаты и их обсуждение

Измерение зависимости $R(T, H, f)$ при $T < T_c$ проводили на ВТСП керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,95}\text{Sc}_{0,05}\text{O}_7$ со следующими параметрами: $T_c = 92 \text{ К}$, $T_{c1} = 91,8 \text{ К}$, $f_c = 3 \cdot 10^3 \text{ Гц}$, $f_F = 10^5 \text{ Гц}$.

На рис. 1 представлены температурные зависимости приведенного к $R(92)$ сопротивления R , измеренного на частотах 10^3 Гц (кривые 1, 2), $5 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ (кривые 3, 4) и 10^7 Гц (кривые 5, 6) в отсутствие магнитного поля (нечетные кривые) и в постоянном магнитном поле 50 Э (четные).

На рис. 1 видно, что на частотах ниже f_c (кривые 1, 2) и выше f_F (кривые 5, 6) омические потери керамики в постоянном магнитном поле повышаются, при этом влияние магнитного поля на сопротивление R начинается при температуре T_c (92 К). Таким образом, на этих частотах исследуемая керамика проявляет обычные свойства сверхпроводника.

На частотах в пределах интервала Δf ситуация иная. В некотором температурном интервале $\Delta T = T_c - T_{c1}$, как и в ВТСП без ферромагнитных примесей или ПМС, сопротивление R не зависит от температуры. При $T < T_{c1}$ оно снижается и при $T = 79 \text{ К}$ достигает приборного нуля. Однако влияние магнитного поля на омические потери R здесь начинается не при температуре T_{c1} , как в ВТСП без ферромагнитных примесей или ПМС, а при T_c . При этом $\partial R / \partial T|_{H>0} > \partial R / \partial T|_{H=0}$, поэтому в магнитном поле сопротивление R достигает приборного нуля уже при 84 К .

Таким образом, в диапазоне частот Δf и слабом магнитном поле H ширина N - S перехода в ВТСП

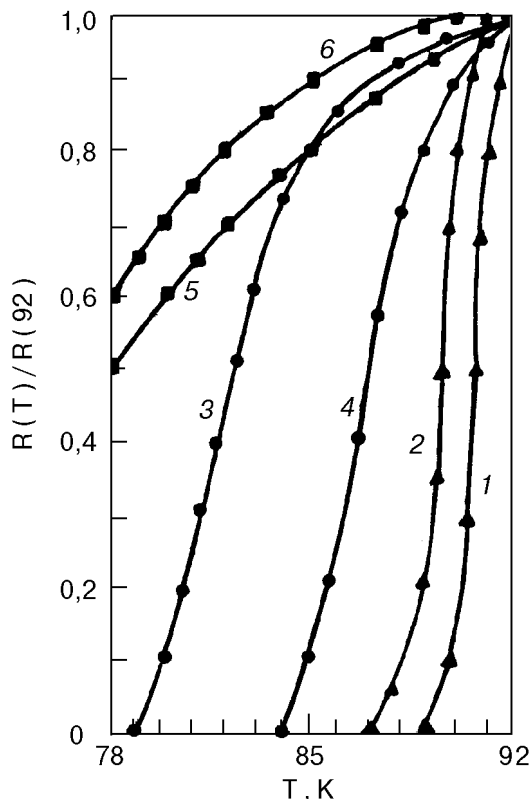


Рис. 1. Температурная зависимость приведенных к $T = 92 \text{ К}$ омических потерь $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,95}\text{Sc}_{0,05}\text{O}_7$ керамики на частотах 10^3 Гц (1, 2), $5 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ (3, 4) и 10^7 Гц (5, 6) в отсутствие магнитного поля (1, 3, 5) и в магнитном поле 50 Э (2, 4, 6).

с ПМС или ферромагнитными примесями сужается по сравнению со случаем $H = 0$.

Поскольку особенности омических потерь R ВТСП в диапазоне Δf проявляются при температурах как выше, так и ниже T_c , возникает вопрос, связаны ли величины T_c и f_c .

В связи с этим нами проведены исследования различных ВТСП материалов и образцов из них. Образцы неоднократно отжигались в кислородной среде, и после каждого отжига и цикла нагрев — охлаждение измерялись их значения ρ_0 , $\partial \rho / \partial T$, T_c и f_c .

На рис. 2 приведены зависимости $T_c(f_c)$ некоторых из образцов ВТСП керамик: $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (1), $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (2, 3), $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,95}\text{Ti}_{0,05}\text{O}_x$ (4) и $\text{Bi}_{2,16}\text{Sr}_{1,33}\text{Ca}_{0,566}\text{CuO}_x$ (5).

Из рисунка следует, что форма зависимости $T_c(f_c)$ для каждого исследованного типа или образца ВТСП разная. Наблюдается сильная зависимость $T_c(f_c)$ (кривые 1, 2), слабая зависимость (кривые 3, 4), или практически T_c не зависит от f_c (кривая 5). При этом в разных образцах одного и того же типа ВТСП может наблюдаться различная форма связи T_c и f_c .

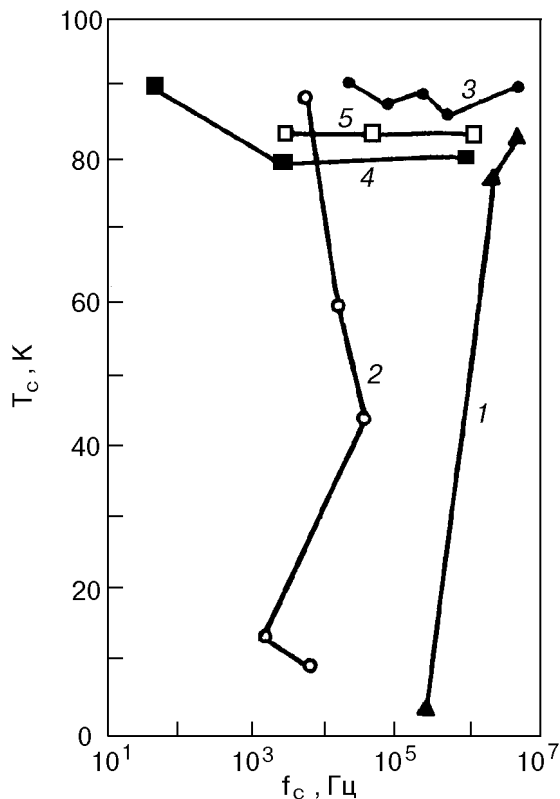


Рис. 2. Частотная зависимость T_c керамик $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (1), $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (2), (3) (разные образцы), $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,95}\text{Ti}_{0,05}\text{O}_x$ (4) и $\text{Bi}_{2,16}\text{Sr}_{1,33}\text{Ca}_{0,566}\text{CuO}_x$ (5).

(кривые 2 и 3). В то же время имеет место установленная в [4] взаимосвязь между f_c и S для всех показанных на рис. 2 значений f_c .

Таким образом, совокупность вышеприведенных данных свидетельствует об отсутствии корреляции между f_c и измеренной на постоянном токе T_c .

Заключение

Экспериментально установлено, что в частотном диапазоне Δf , ограниченном частотами f_c и f_F , при которых сопротивление R не зависит от температуры ($\partial R/\partial T = 0$), в ВТСП керамиках с ферромагнитными примесями или

парамагнитными свойствами слабое магнитное поле уменьшает ширину $N-S$ перехода.

Показано, что измеренная на постоянном токе критическая температура T_c не коррелирует с частотой f_c .

Авторы признательны редакции за предоставленную возможность поздравить Игоря Михайловича Дмитренко с юбилеем. Мы были воспитаны в его отделе, многим обязаны И. М., сохраняем об этом благодарную память и желаем ему дальнейших творческих успехов.

В заключение авторы выражают благодарность проф. В. Д. Филю за полезную дискуссию.

1. В. М. Дмитриев, М. Н. Офицеров, Н. Н. Пренцлау, *ФНТ* **16**, 387 (1990).
2. В. П. Галайко, В. М. Дмитриев, М. Н. Офицеров, Н. Н. Пренцлау, *ФНТ* **19**, 135 (1993).
3. В. М. Дмитриев, М. Н. Офицеров, Н. Н. Пренцлау, К. Рogaцки, В. Садовски, *ФНТ* **21**, 397 (1995).
4. В. М. Дмитриев, М. Н. Офицеров, Н. Н. Пренцлау, К. Рogaцки, В. Садовски, *ФНТ* **21**, 906 (1995).
5. В. М. Дмитриев, А. П. Исакина, И. Г. Корсунская, И. В. Кривошей, М. Н. Офицеров, Н. Н. Пренцлау, А. И. Прохвятилов, *ФНТ* **20**, 12 (1994).

Frequency and temperature dependences of impedance of HTSC ceramics

V. M. Dmitriev, L. A. Ishchenko,
and N. N. Prentslau

The anomalous features of Ohmic loss of HTSC ceramics are considered in low- and radio frequency ranges. It is found experimentally that in a weak magnetic field (down to 50 Oe) the breadth of the $N-S$ transition in the ceramics ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + 1\% \text{ }^{57}\text{Fe}$), $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ and $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Sc}_x\text{O}_7$ becomes smaller in a frequency range restricted by frequencies f_c and f_F at which the resistance is temperature independent. Using several types of HTSC or different samples of one of these types as examples, we demonstrate that the frequency f_c does not correlate with the critical temperature T_c .