

05;4  
©1995

## ИМПЕДАНС СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ В ОБЛАСТИ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

*Э.Г.Миронов, Б.А.Гижевский*

Измерение свойств ВТСП производится в основном на постоянном токе. Вместе с этим вопросы использования сверхпроводящих материалов требуют изучения поведения ВТСП в широком диапазоне частот, в том числе в области низких частот ( $10-10^4$  Гц). В [1,2] показано, что керамика  $YBa_2Cu_3O_{6.9}$  при температуре жидкого азота, т. е. в сверхпроводящей области, на переменном токе имеет конечное сопротивление, меньшее по величине, чем сопротивление в нормальном состоянии. Величина сопротивления растет с увеличением частоты. На постоянном токе исследованные образцы демонстрируют сверхпроводящий переход при  $T_c = 91$  К. Аналогичные результаты получены и другими авторами (см., например, [3]).

Из предыдущих работ неясно, является ли остаточное сопротивление на переменном токе реактивным, связанным с геометрией эксперимента, или оно носит активный характер и обусловлено более глубокими физическими причинами. Для выяснения этих вопросов нами проведены эксперименты по разделению наблюдаемого при  $T = 77$  К импеданса ряда образцов ВТСП на активную и реактивную составляющие. Измерялись поликристаллические образцы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  с  $T_c = 91$  К и различными критическими токами (по измерениям на постоянном токе). Образцы получены по обычной керамической технологии и имели размеры порядка  $4 \times 1 \times 1$  мм. Измерения электросопротивления образцов проведены классическим 4-зондовым методом на частотах от 20 Гц до 20 кГц. Разделение электросопротивления на активную и реактивную составляющие проведено с помощью фазочувствительного нановольтметра "Унирал-232В".

При комнатной температуре активная составляющая сопротивления  $R$  не зависит от частоты в области ( $20-2 \times 10^4$ ) Гц и по величине совпадает с сопротивлением на постоянном токе. Удельное сопротивление при 290 К измеренных нами образцов ВТСП составляет  $\sim 10^{-3}$  Ом·см. Реактивная составляющая  $X_L$  имеет индуктивный характер и линейно растет с частотой (рис. 1). Значения  $R$  и  $X_L$  не зависят от величины тока через образец. На рис. 1 приведены результаты измерения при измерительном токе 100 мА.

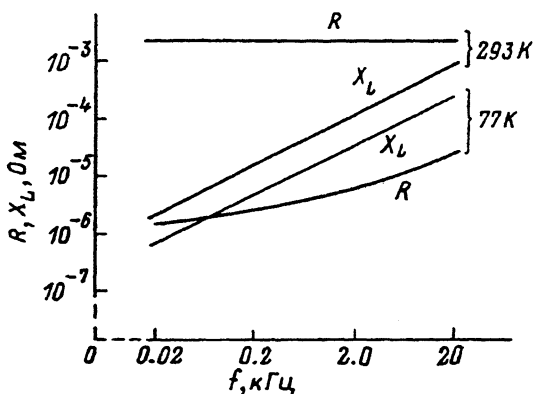


Рис. 1. Активная  $R$  и реактивная  $X_L$  составляющие сопротивления керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  в зависимости от частоты при токах, больших 100 мА.

В области низких температур (77 К) результаты зависят от величины тока через образец. При токах  $\geq 100$  мА активная составляющая сопротивления при понижении частоты выходит на насыщение и экстраполируется к конечному значению при  $f \rightarrow 0$  (рис. 1). В случае малых токов характер зависимости  $R = \varphi(f)$  другой (рис. 2) и при достаточно низких частотах фиксируется приборный нуль сопротивления ( $\sim 10^{-8}$  Ом).

Суммарная индуктивность сверхпроводящего образца, складывающаяся из геометрической и кинетической индуктивности, по нашим оценкам составляет для измеренного образца, примерно  $1.5 \cdot 10^{-9}$  Гн. Близкое значение

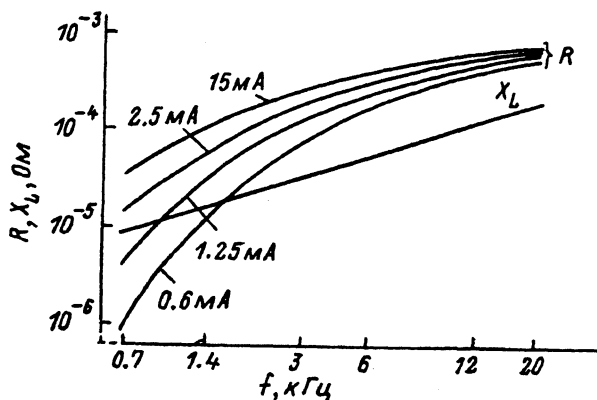


Рис. 2. Активная  $R$  и реактивная  $X_L$  составляющие сопротивления керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  в зависимости от частоты при различных токах через образец ( $T = 77$  К).

( $\sim 7 \cdot 10^{-10}$  Гн) получено другими авторами в работе [4]. Эта величина индуктивности соответствует измеренной реактивной составляющей и при достаточно больших частотах может полностью определять наблюдаемый импеданс.

Представляет интерес поведение активной составляющей сопротивления при  $T < T_c$ . По величине  $R$  в этом случае меньше сопротивления в нормальном состоянии и в то же время наблюдается зависимость  $R$  от частоты и величины тока. Результаты, наиболее близкие к нашим, получены в работе [3] также на керамических образцах  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Однако в этой работе не производилось разделения на активную и реактивную составляющие и не прослеживалась зависимость сопротивления от тока. Одной из предположительных причин подобного поведения ВТСП на переменном токе может быть возникновение резистивного состояния. Вольт-амперные характеристики, снятые нами на различных частотах, имеют нелинейный характер, причем нелинейность усиливается при малых токах. Подобный вид имеют ВАХ сверхпроводников на постоянном токе в резистивном состоянии (см., например, [5]). Для образцов ВТСП, имеющих более высокий критический ток (по измерениям на постоянном токе) остаточное сопротивление на переменном токе появляется при более высоких значениях тока и частоты. Таким образом, для керамических образцов  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  в сверхпроводящей области при низких частотах возможно появление импеданса, который может иметь как реактивный, так и активный характер.

Авторы благодарны Н.М. Чеботаеву и С.В. Наумову за предоставление образцов керамик  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

Работа частично поддержана индивидуальным грантом Фонда Сороса.

### Список литературы

- [1] Миронов Э.Г., Гижевский Б.А., Чеботаев Н.М. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 24. С. 51-54.
- [2] Миронов Э.Г., Афанасьев А.Я., Бузынов А.Е., Штрапенин Г.Л., Арапов Ю.Г., Чеботаев Н.М. // ФММ. 1990. В. 1. С. 203-204.
- [3] Афанасьев М.В., Васютин М.А., Головашкин А.И., Григорашвили Ю.В., Иванова Л.И., Кузьмичев Н.Ф., Левченко И.С., Мотулевич Г.П., Русаков А.П. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 55-56.
- [4] Копелевич Я.В., Леманов В.В., Холкин А.Л. // ФТТ. 1989. Т. 31, В. 8. С. 302-304.
- [5] Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М.: Наука, 1982. 240 с.

Институт физики  
металлов Уро РАН  
Екатеринбург

Поступило в Редакцию  
12 октября 1994 г.