

05.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАМАГНИТНОГО ОТКЛИКА  
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО МЕТАЛЛОКСИДА  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x HfO_2$ 

П.Н. Михеенко, В.Н. Варюхин

Повышенная хрупкость и низкие прочностные свойства высокотемпературных сверхпроводящих металлооксидов являются важным препятствием для широкого использования этих материалов в технике, приборостроении, микроэлектронике. Поэтому улучшение прочностных и пластических свойств сверхпроводящих металлооксидов является весьма актуальной задачей физического материаловедения. В работе [1] показано, что одним из путей решения этой проблемы может быть поиск добавок, которые приводили бы к существенным улучшениям механических характеристик, не нарушая при этом сверхпроводящие свойства получаемых образцов. Установлено [1], что наблюдается значительное улучшение упругих и механических характеристик образцов системы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x ZrO_2$  и возникает возможность осуществления значительной пластической деформации при повышенных температурах. В работе [2] отмечалось, что введение в систему  $YBaCuO$  добавок  $HfO_2$  может также приводить к улучшению механических свойств получаемых образцов.

Исследованиями, выполненными в [3-5], показано, что температурная зависимость действительной части магнитной восприимчивости (диамагнитного отклика) для сверхпроводящих металлооксидных соединений имеет двухступенчатую форму. Такое поведение диамагнитного отклика связано с различием полей разрушения сверхпроводящего состояния гранул и межгранульных связей. Следует отметить, что если магнитное поле записи диамагнитного отклика мало, обе ступени могут быть слиты в одну. Экспериментальная тонкость при проведении подобных исследований заключается в том, чтобы подобрать для исследований поле нужной величины. Видимо, исключение из этого правила могут составить лишь монокристаллы или образцы плотной керамики, сила связи кристаллических блоков которой настолько велика, что поля разрушения связей близки к полям вхождения магнитного потока в сами блоки.

Можно ожидать, что введение в систему  $YBaCuO$  добавок, приводящих к усилению связи между отдельными гранулами и улучшению механических характеристик системы, скажется на характере температурной зависимости диамагнитного отклика.

Целью настоящей работы является изучение механических характеристик и диамагнитного отклика образцов системы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x HfO_2$  при различных значениях  $x$ .

Измерение диамагнитного отклика образцов проводилось индуктивной методикой по регистрации сдвига частоты настраиваемого резонансного контура при внесении в него тестируемого образца

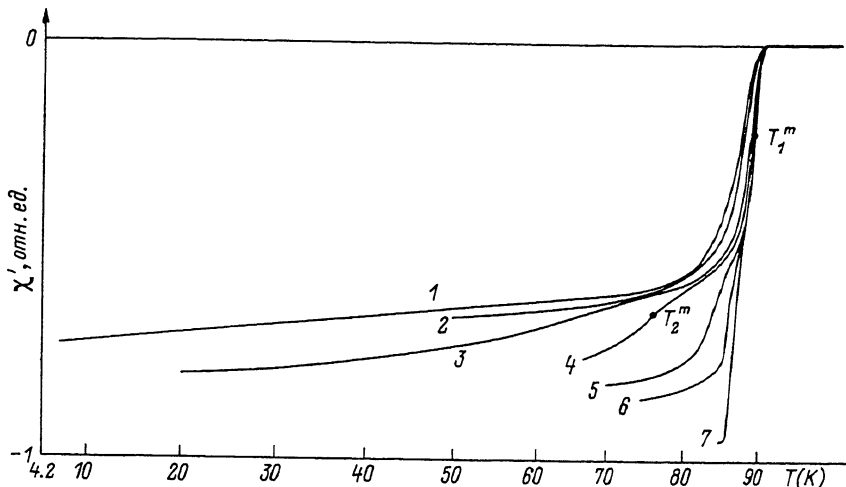


Рис. 1. Температурные зависимости диамагнитного отклика образца  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + 0.3\% \text{ вес. } HfO_2$  при различных значениях амплитуды модуляции магнитного поля: 1 - 12, 2 - 10, 3 - 4, 4 - 2.1, 5 - 0.9, 6 - 0.5, 7 - 0.3 Э.

[3]. Рабочая частота составляла 67–69 кГц. Чувствительность схемы обеспечивала надежное измерение диамагнитного отклика в поле модуляции от 0.1 до 15 Э. Внешние магнитные поля экранировались многослойным пермалоевым и сверхпроводящим (при 4.2 К) экранами.

Образцы для исследований готовились следующим образом. Смесь компонентов  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $CuO$  и  $HfO_2$ , взятых в соотношении, необходимом для получения системы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x HfO_2$  ( $x = 0.1 - 20\% \text{ вес.}$ ), синтезировалась при температуре  $980^\circ\text{C}$  в течение 12 часов. Охлаждение до комнатной температуры проводилось со скоростью  $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Из полученной смеси компактировались бруски для измерений диамагнитного отклика ( $1.5 \cdot 8 \cdot 10 \text{ мм}$ ) и механических ( $2 \cdot 2 \cdot 110$  и  $1 \cdot 1 \cdot 10 \text{ мм}$ ) исследований. Для их получения использовались специально разработанные эластичные формы и гидростатические давления величиной  $1 - 1.5 \text{ ГПа}$ . Достоинством данного метода получения образцов для исследований является возможность исключения процесса механической обработки (резки, шлифовки). Спекание проводилось по тому же режиму, что и синтез, только в атмосфере кислорода. Структурным аспектам строения образцов синтезированной системы, элементному анализу получаемых фаз, их объемному содержанию и характеру распределения будет посвящена отдельная работа. Отметим, что при всех

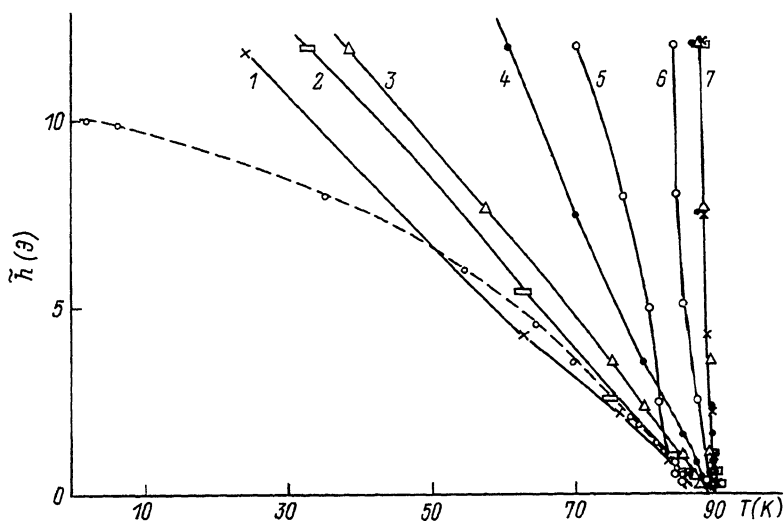


Рис. 2. Зависимость от магнитного поля характерных температур  $T_2^m$  (кривые 1 - 5) и  $T_1^m$  (кривые 6, 7) образцов сверхпроводящего металлооксида  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x HfO_2$  при различных значениях  $x$  % вес.: 1 - 0.3, 2 - 11, 3 - 2, 4 - 4, 5 - 20, 6 - 20, 7 - 0.3-11. Пунктиром обозначена зависимость  $T_2^m(\tilde{H})$  для типичной керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  без добавок  $HfO_2$ .

значениях  $x$  система является многофазной, однако при малых значениях  $x$  процент посторонних фаз невелик.

Исследования показали, что полученные описанным выше способом образцы отличались от образцов системы  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  более высокими значениями плотности (3-5%), упругих модулей (на 20-50%), предела прочности на сжатие (в 3-5 раз), твердости (в 2-3 раза).

На рис. 1 приведена показательная серия температурных зависимостей диамагнитного отклика исследуемого образца для разных значений магнитного поля модуляции  $\tilde{H}$ . Видно, что полученные кривые имеют двуступенчатую форму. Символом  $T_1^m$  обозначена характерная температура перехода в сверхпроводящее состояние основной массы гранул,  $T_2^m$  соответствует температуре установления основной группы связей между ними. Значение  $T_1^m$  почти не изменяется при увеличении магнитного поля  $\tilde{H}$ , что говорит о незначительном влиянии полей до 15 Э на состояние отдельных гранул исследуемого металлооксида. Напротив, значение  $T_2^m$  чрезвычайно чувствительно к магнитному полю. Этот факт свидетельствует о слабости межгранульных связей и приводит, в частности, к значи-

тельному отличию критического тока металлооксида от критического тока в отдельных гранулах [4].

На рис. 2 приведены зависимости  $T_1^m$  и  $T_2^m$  от магнитного поля для исследованных в данной работе систем. Для удобства значение магнитного поля отложено по оси ординат. Из приведенных данных видно, что чувствительность температуры установления основной группы межгранульных связей к магнитному полю в системе  $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + x\text{HfO}_2$  значительно ниже, чем в  $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , т.е. для разрушения межгранульных связей в образцах первой системы требуются большие поля или большие значения транспортного тока. Важную информацию несут точки пересечения кривых  $T_1^m(\tilde{h})$  и  $T_2^m(\tilde{h})$  с осью температур. Их совпадение свидетельствует об отсутствии значительных по объему инородных прослоек между гранулами. Такая ситуация реализуется в образцах исследуемой системы при  $x < 10\%$ . Для образцов с  $x > 10\%$  существует широкий спектр промежуточных соединений, сглаживающих кривые  $\chi'(T)$ .

Таким образом, введение в систему  $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  добавок  $\text{HfO}_2$  приводит к улучшению упругих и механических свойств, улучшает степень контактности гранул и транспортные сверхпроводящие свойства, что является важным обстоятельством для перспективных технических приложений сверхпроводящих металлооксидов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Барьяхтар В.Г., Варюхин В.Н., Стронгин С.Б. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 5. С. 17-19.
- [2] Regnier R., Gupta R.P., Truhot P. // J. Phys. C: Sol. St. Phys. 1989. V. 21. N 14. P. 463-468.
- [3] Emmen J., Jonje W., Steen C. et al. // Sol. St. Comm. 1988. V. 66. N 10. P. 1089-1091.
- [4] Munakata T., Matsushita T. et al. // Jpn. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 9. P. 1658-1662.
- [5] Calzona V., Cimberle M.R., Ferdeghini C. et al. // Physica C. 1989. V. 157. N 3. P. 425-430.

Институт металлофизики  
АН УССР, Киев

Поступило в Редакцию  
12 июня 1989 г.  
В окончательной редакции  
4 октября 1989 г.