

- [1] Б е л ь с к и М., В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М., К а р м а н е н к о С.Ф., К о з ы р е в А.Б. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 10. С. 2953-2958.
- [2] Б е л ь с к и М., В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. Приложение. С. 172-175.

Ленинградский электротехнический
институт им. В.И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
9 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7

12 марта 1989 г.

05.4

ТЕРМОДЕСОРБЦИЯ КИСЛОРОДА
ИЗ ОБРАЗЦОВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ
СОСТАВА $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

В.В. С е м и н, А.В. Н а з а р е н к о,
С.Э. Х а б а р о в

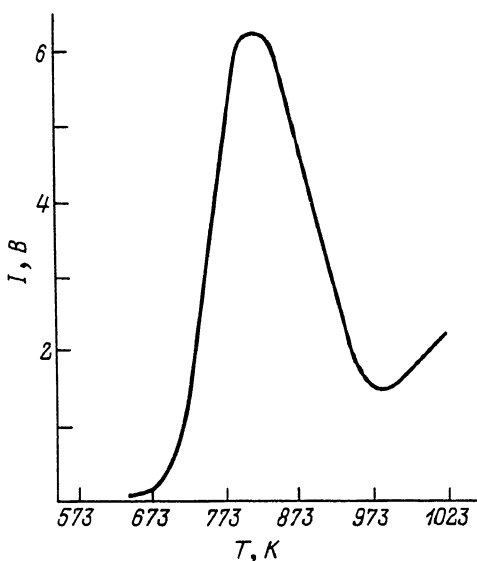
К настоящему времени установлено, что прокалка керамики на воздухе в интервале температур 673-1073 К приводит к обратимому выделению кислорода, и следовательно, к изменению стехиометрии их состава по O_2 [1-2]. Варьируя условия прокалки и последующего охлаждения, можно легко менять значения X , входящие в формулу $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, в пределах $0 \leq x \leq 1$. Изменение содержания кислорода в указанном выше интервале значений X сильно влияет на физические свойства керамики, и особенно на температуру перехода в сверхпроводящее состояние [3, 4]. Можно полагать, что наличие лабильного кислорода в составе ВТСП-керамики в значительной степени определяет их сверхпроводящие свойства. Для технического применения керамик в устройствах микроэлектроники представляет интерес изучение процесса десорбции лабильного кислорода из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ керамики в вакуум.

Образцы были синтезированы по стандартной керамической технологии. Температура перехода в сверхпроводящее состояние была определена из температурной зависимости электропроводности, измеренной четырехзондовым методом, и равнялась 93 К.

Спектры термодесорбции измерялись на экспериментальной установке, изготовленной на базе масс-спектрометра МХ-1303. Температура образца в интервале 297-1123 К изменялась по линейному закону, скорость нагрева образца варьировалась от 0.1 К/сек до 0.5 К/сек.

Спектр термодесорбции кислорода образца, обезгаженного в вакууме $p \sim 1 \cdot 10^{-7}$ торр при температуре 297 К, представлен на рис. 1, причем до проведения измерения спектра образец не нагре-

Рис. 1. Спектр термодесорбции кислорода из образца, не прогревавшегося в вакууме.



вался в вакууме выше 297 К. Спектр состоит из одного пика с $T_M = 857$ К. Из рисунка видно, что кислород из образца с заметной интенсивностью начинает выделяться при температуре > 673 К. После проведения измерения спектра термодесорбции температура образца, находящегося в вакууме под постоянной откачкой, снижалась до 573 К. При этой температуре откачка образца прекращалась и проводилась сорбция дозированного количества кислорода. Спектры термодесорбции для различных количеств сорбированного кислорода представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, при малых количествах сорбированного кислорода в спектрах ТД проявляется один пик с $T_M = 1023$ К. При увеличении количества сорбированного кислорода в спектрах появляются еще три пика. Рассматривая динамику изменения характера спектров ТД в зависимости от количества сорбированного кислорода, необходимо отметить, что начиная с некоторого количества ($N_{сорб} = 1.5 \cdot 10^{18}$) интенсивность высокотемпературного пика с $T_M = 1023$ К остается неизменной, а величина двух наиболее интенсивных пиков с T_M в интервале 800–923 К возрастает.

Расчет количества кислорода, выделившегося из образца при первоначальном нагреве в вакууме, показывает, что при этом из него была удалена примерно половина лабильного кислорода. Таким образом, сорбция при температуре 573 К проводилась на образце, находящемся в тетрагональной фазе, так как охлаждение происходило в вакууме. Таким образом, наличие в спектрах ТД высокотемпературного пика с $T_M = 1023$ К связано с десорбцией кислорода из образца, находящегося в тетрагональной фазе. Присутствие в спектрах ТД низкотемпературного пика с $T_M \approx 830$ К (рис. 2, кривые 3–5) указывает на возможность перехода образца в орторомбиче-

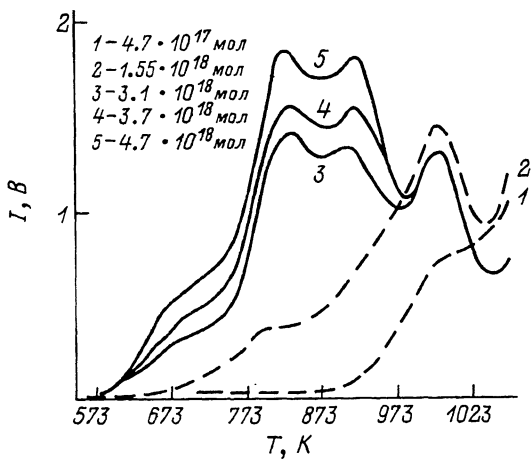


Рис. 2. Спектры термодесорбции кислорода из образца, предварительно прогретого в вакууме. $T_{\text{сорб}} = 573 \text{ K}$ (количество сорбированного кислорода указано на графике).

скую фазу в результате сорбции достаточного количества кислорода при $T = 573 \text{ K}$. Этот вывод основывается на сравнении спектра ТД (рис. 1) со спектрами, представленными на рис. 2 (кривые 3–5). Расщепление низкотемпературного пика на две компоненты при выбранных нами условиях сорбции кислорода можно объяснить фазовым переходом образца из орторомбической в тетрагональную структуру. Это подтверждается результатами работы [5], в которой было установлено, что в вакууме фазовый переход из орторомбической в тетрагональную фазу происходит при температуре 803 K .

Расчет энергии активации десорбции проводился по простому уравнению Поляни–Вигнера в предположении, что порядок десорбции равен 1. Численное моделирование спектров ТД подтвердило, что это уравнение с достаточной точностью описывает измеренные спектры ТД кислорода. Энергия активации десорбции для высокотемпературного пика с $T_M = 1023 \text{ K}$ равна $41 \pm 2 \text{ ккал/моль}$. Величина энергии активаций термодесорбции кислорода из образца, имеющего орторомбическую структуру, вычисленная из спектра ТД, представленного на рис. 1, равна $29 \pm 2 \text{ ккал/моль}$, что находится в хорошем согласии с величиной, приведенной в работе [6].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G o p a l a k v i s h n a n I.K. et all. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 17.
- [2] K r a b b e s G. et all. // Phys. stat. sol.(b). 1988. v. 146. N 29.

- [3] S u g a i S. // Phys. rev. 1987. V. 146. N 13.
[4] P r o v e n c h e r R. et all. // Phys. stat. sol. (a). 1987. V. 103. N 107.
[5] E a t c o u g h M.O. et all. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 5.
[6] K a z u t a M., T a n a k a K., N a k a d a I. // Preprint 106. Inst. Sol. State. Phys. 1987. Japan.

Поступило в Редакцию
22 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7 12 апреля 1989 г.
04:09

О РОЛИ ТЯЖЕЛЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ИОННОМ ЦИКЛОТРОННОМ НАГРЕВЕ ПЛАЗМЫ

М.А. И р з а к, И.П. П а в л о в,
О.Н. Щ е р б и н и н

Эксперименты по ионному циклотронному нагреву плазмы ведутся в настоящее время во многих токамаках и считаются весьма важными в общей схеме получения управляемой термоядерной реакции. Как правило, сценарий этих экспериментов основан на использовании малой добавки легкой примеси (чаще водорода) в дейтериевой плазме. При этом различаются два варианта постановки экспериментов: первый, когда количество легкой примеси не превосходит нескольких процентов, приводит к нагреву основных компонент плазмы через энергичные примесные ионы, и второй — с количеством легких примесных ионов 10–30%, когда осуществляется режим трансформации БМЗ волны в бернштейновскую, которая затем затухает на электродах плазмы.

Лонгинов и Степанов [1, 2] предложили усложнить эту схему нагрева. Они показали, что присутствие в плазме небольшого количества более тяжелых ионов с $m/Z \geq 2$ должно приводить к сильному затуханию бернштейновской волны на этих ионах и как следствие к эффективному нагреву основной ионной компоненты плазмы. Для этого зона второй циклотронной гармоник третьего сорта ионов должна находиться при таких магнитных полях, когда трансформация исходной БМЗ волны в бернштейновскую уже произошла.

На установках ТЕР [3] и Т-10 [4] были проведены специальные эксперименты по ИЦР нагреву в плазме, куда дозированно добавлялась примесь ионов либо ванадия [3], либо неона [4]. Была обнаружена повышенная скорость роста ионной температуры, хотя предельные температуры остались на прежнем уровне.

В токамаке „Туман-3” ведутся эксперименты по ИЦР нагреву плазмы с умеренными температурами электронов (масштаба 400–