

для которых информация о модуле Юнга E и коэффициенте Пуассона μ приведена только в одном источнике, не принимались во внимание. Расчет проводился по средним значениям E и μ . Плотность расплава определялась по плотности металла в естественном состоянии и известному изменению объема при плавлении $\Delta V/V$ [4]. Из сравнения расчетной величины C со средней скоростью звука v_n в расплаве металла, по данным [5], видно, что она близка к последней с погрешностью, не превышающей 11 %.

Связь (4) имеет место не только для поликристаллического состояния металла, но и для кристаллического. Например, для кристалла индия тетрагональной системы в [7] приведены данные о модулях упругости (Н/м^2): $C_{11}=4.53 \cdot 10^{10}$, $C_{12}=4.00 \cdot 10^{10}$, $C_{13}=4.15 \cdot 10^{10}$, $C_{33}=4.51 \cdot 10^{10}$, $C_{44}=0.651 \cdot 10^{10}$, $C_{66}=1.21 \cdot 10^{10}$, $C_{16}=0$. Отсюда получим $C=1943$ м/с и погрешность, не превышающую 15 % в сравнении со средней скоростью звука в расплаве индия при температуре плавления T_n (см. таблицу).

Для того чтобы окончательно убедиться, что обнаруженная связь между тензором модулей упругости металла при комнатной температуре и скоростью звука в расплаве металла существует, необходимы специальным образом поставленные эксперименты.

В заключение отметим, что, видимо, существует характеристическое значение температуры твердой фазы вещества, при которой имеет место закономерная связь компонентов тензора упругих модулей со скоростью звука в расплаве этого же вещества при температуре плавления.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Мейз Д. Теория и задачи механики сплошных сред. М., 1974. 536 с.
- [2] Гудков С. И. Механические свойства промышленных цветных металлов при низких температурах. М., 1971. 304 с.
- [3] Каптелян Ю. А. Характеристики упругости материалов при высоких температурах. Киев, 1970. 112 с.
- [4] Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. М., 1982. 208 с.
- [5] Таблицы физических величин. Справочник. М., 1976. 1007 с.
- [6] Справочник кадастр физических свойств горных пород. М., 1975. 280 с.
- [7] Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. М., 1982. 424 с.

Гипротюменнефт

Поступило в Редакцию
19 февраля 1990 г.

УДК 537.312.62

© Физика твердого тела, том 32, № 9, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 9, 1990

ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИКИ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Л. К. Марков, Б. И. Смирнов, В. В. Шпейсман

В настоящее время считается установленным перколяционный характер проводимости высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) [1]. Поэтому особый интерес представляют работы, посвященные исследованию слабых связей, которыми определяются критический ток и некоторые другие параметры этих материалов. Основными факторами, воздействующими на слабые связи, являются магнитное и силовое (механическое) поля. Так, критический ток j_c уже в сравнительно небольших магнитных полях уменьшается в несколько раз: при напряженности магнитного поля $H=100$ Э величина j_c падает в 6–7 [2] и 10 раз [3]. Результаты магнитных исследований ВТСП приводят к необходимости введения двух

пар характеристик критических полей H_{c1} и H_{c2} : одну — для наиболее слабых связей, другую — для основного материала [4, 5]. В [4] приводятся следующие оценки для областей слабых связей: $H_{c1} \leq 1$ мЭ, $H_{c2} \approx 10$ Э. Уже такие небольшие поля существенно изменяют вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов (как пленочных [5], так и керамических [6]).

Механическое нагружение — гидростатическое [7] или одноосное [8] сжатие — также оказывает воздействие на ВАХ, приводя к увеличению критического тока и смещению всей ВАХ в сторону больших токов. В [7] при всестороннем давлении $P=7$ кбар обнаружено двукратное увеличение критического тока. При одноосном сжатии столь высокие нагрузки достичь не удается из-за разрушения образца, но и в этом случае при напряжениях, примерно в 20 раз меньших, чем в [7], увеличение j_c для разных керамик составляет 2—8% [8].

Поскольку изменения критического тока при воздействии механического и магнитного полей объясняются их воздействием на слабые связи, то

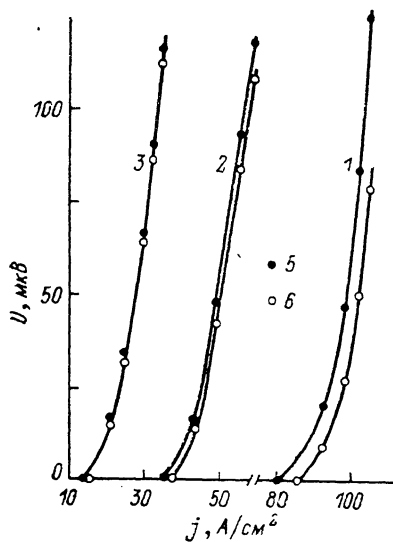


Рис. 1. Влияние нагрузки на ВАХ керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в магнитном поле. $H=0$ (1), 25 (2) и 50 Э (3); $\sigma=0$ (4) и 20 МПа (5).

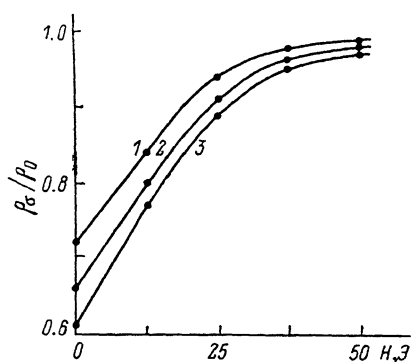


Рис. 2. Зависимость относительного изменения электросопротивления под нагрузкой от величины магнитного поля. $U=100$ мкВ, $\sigma=8$ (1), 14 (2) и 20 МПа (3).

представляет интерес проследить, сохраняется ли аддитивность эффекта при одновременном действии нагрузки и магнитного поля. Если захват магнитного потока происходит в тех же элементах структуры, на которые влияет механическая нагрузка, то возможно более сложное их взаимодействие. С целью выяснения характера этого взаимодействия в настоящей работе были сняты ВАХ керамических образцов $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при одноосном сжатии в магнитном поле. Температура опытов 77 К. Методики приготовления образцов и измерений ВАХ описаны в [8]. Для измерения ВАХ в магнитном поле образцы вместе с передающими сжимающее усилие пуансонами из ультрафарфора помещались в катушку. Напряженность магнитного поля рассчитывалась по протекающему в катушке току.

Температура сверхпроводящего перехода для использованных в работе образцов ~ 93 К, критические токи в отсутствие магнитного поля 40—150 А/см².

На рис. 1 приведены ВАХ, полученные для одного из образцов при различных сжимающих нагрузках и величинах напряженности магнитного поля. Как и в предыдущих работах, где исследовалось отдельно влияние магнитного поля [2, 3] или механических нагрузок [7, 8], обнаружено смещение ВАХ при каждом из воздействий. Вместе с тем отчетливо проявляется новый эффект, состоящий в том, что чем больше напряженность магнитного поля, тем меньше сдвиг ВАХ, обусловленный сжатием образца. Как видно из рис. 1, напряжения $\sigma=20$ МПа приводят к замет-

ному сдвигу ВАХ в отсутствие поля и очень слабо влияют на ВАХ при $H=50$ Э.

Для характеристики обнаруженного эффекта была использована величина отношения сопротивлений нагруженного и ненагруженного образцов ρ_s/ρ_0 в точке ВАХ с $U=100$ мкВ. Зависимость этой величины от напряженности магнитного поля для разных нагрузок приведена на рис. 2. Видно, что кривые $\rho_s/\rho_0(H)$ стремятся к насыщению в полях 40—50 Э. Такая величина напряженности магнитного поля близка к значениям H_{c2} для слабых связей [4]. Вид зависимости $\rho_s/\rho_0(H)$ свидетельствует о том, что, по-видимому, деформация под действием использованных нами нагрузок не приводит к заметному восстановлению связей, разрушенных близким к критическому магнитным полем.

Из рис. 2 также следует, что величина отношения критических токов для образца в магнитном поле и без него $j_c(H)/j_c(0)$ уменьшается с ростом нагрузки, что, согласно [7], можно объяснить деформационным уплотнением поверхности слабых связей, в результате чего распределение тока делается более однородным.

Сравнение полученных результатов с данными [8] показывает, что характер изменения ВАХ с нагрузкой при ее измерении в магнитном поле подобен изменению ВАХ для различных керамик с разным исходным значением критического тока в опытах без поля. И в том, и в другом случаях чем левее в координатах $U-j$ расположена ВАХ (чем меньше критический ток), тем меньше ее смещение при одинаковых нагрузках независимо от причины уменьшения критического тока. Действие магнитного поля, следовательно, оказалось эквивалентным изменению структуры, вызванному равными условиями приготовления образцов.

Заметим также, что сделанный вывод распространяется и на случай снижения критического тока в результате захвата магнитного потока и последующего измерения ВАХ в отсутствие внешнего магнитного поля. Если подобрать два образца с равными j_c (причем один из образцов находится во внешнем магнитном поле, а другой захватил поток), то смещения ВАХ под нагрузкой оказываются для них одинаковыми.

Работа выполнялась в рамках проекта № 27 Государственной программы по высокотемпературной сверхпроводимости.

Список литературы

- [1] Мейлихов Е. З., Гершанов Ю. В. // Сверхпроводимость. 1988. № 3. С. 55—69.
- [2] Cheng C. W., Rose-Innes A. C., Alford N. McN., Harmer M. A., Birchall J. D. // Supercond. Sci. Technol. 1988. V. 1. N 3. P. 113—117.
- [3] Dersch H., Blattger G. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 16. P. 11391—11404.
- [4] Гинзбург С. Л. // Тез. докл. II Всес. конф. по высокотемпературной сверхпроводимости. Киев, 1989. Т. II. С. 3—4.
- [5] Галопов С. В., Гарин Ф. В., Голубев В. Н., Калегин М. А., Ключенков Е. Б., Косыев В. Я., Кочемасов А. В., Стриковский М. Д. // ЖЭТФ. Т. 95. № 3. С. 1086—1091.
- [6] Игнатьева Т. А., Великодный А. Н., Червяк Н. А., Прядкин Б. Ю., Тихоновский М. А., Олексиевко М. М. // Тез. докл. I Всес. совещ. по высокотемпературной сверхпроводимости. Харьков, 1988. Т. I. С. 199—200.
- [7] Баряхтар В. Г., Григуль О. В., Василенко А. В., Дьяченко А. И., Свистанов В. М., Таренков В. Ю., Червяк О. И. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 9. С. 457—459.
- [8] Орлова Т. С., Смирнов Б. И., Шпейсман В. В., Стсланов Ю. П., Чернова С. П. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 4. С. 1031—1037.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
19 февраля 1990 г.