

что по величинам: постоянной Кюри, спонтанной поляризации, коэффициента при P^4 это соединение можно отнести к группе сегнетоэлектрических кристаллов, к которой принадлежит, например, триглицинсульфат.

Список литературы

- [1] Vollenkle H., Wittman A., Nowotny H. // *Monatsh. Chem.* 1969. V. 100. N 1. P. 79—90.
 [2] Wada M., Shibata M., Sawada A., Ishibashi Y. // *J. Phys. Soc. Jap.* 1983. V. 52. N 9. P. 2981—2982.
 [3] Блинц Р., Жекш Б. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Динамика решетке. М.: Мир, 1975. С. 398.
 [4] Сонин А. С., Струков Б. А. Введение в сегнетоэлектричество. М.: Высшая школа, 1970. С. 271.
 [5] Таганцев А. К. // *Письма в ЖЭТФ.* 1987. Т. 45. № 7. С. 351—355.

Днепропетровский государственный университет
 им. 300-летия воссоединения Украины с Россией

Поступило в Редакцию
 26 апреля 1990 г.

УДК 537.312.62

Физика твердого тела, том 32, № 10, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 10, 1990

МИКРОТВЕРДОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Т. С. Орлова, Б. И. Смирнов, В. В. Шпейзман

После открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) началось интенсивное исследование их различных свойств, включая и механические. Поскольку монокристаллы ВТСП обычно получают очень малых размеров, их механические свойства изучаются путем измерения микротвердости. Большинство имеющихся данных по микроиндентированию получены на иттриевых (Y—Ba—Cu—O) ВТСП [1—4]. В [5] микротвердость измерена также для ряда монокристаллов редкоземельных купратов системы 1—2—3. В то же время, естественно, пред-

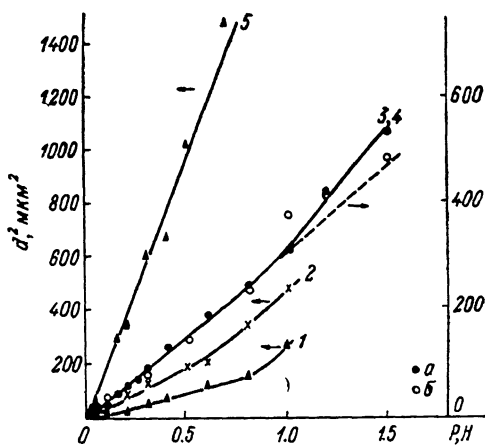


Рис. 1. Зависимость квадрата диагонали отпечатка d^2 от нагрузки на индентор.

1 — $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($T_c \approx 65$ К), 2 — $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($T_c \approx 90$ К), 3 — $(La_{1-x}Sr_x)_2CuO_4$ (а), 4 — La_2CuO_4 (б), 5 — $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$.

ставляет интерес сопоставление результатов исследований на ВТСП монокристаллах различных систем. Нами изучена микротвердость ВТСП монокристаллов систем La—Sr—Cu—O, Y—Ba—Cu—O и Bi—Sr—Ca—Cu—O.

Исследовались монокристаллы, полученные в процессе спонтанной кристаллизации из расплава. Образцы имели естественную гранку {100} и размеры в плоскости (001) порядка 1×1 и 0.3 мм вдоль оси [001].

Измерения микротвердости производились на грани (001) при комнатной температуре на воздухе на приборе ПМТ-3 со стандартным алмазным индентором. Минимальная нагрузка на индентор $P=0.02$ Н, максималь-

ная нагрузка зависела от типа кристалла. Время статического действия нагрузки 10 с, время нагружения и разгрузки 5 с. Измерялась средняя длина диагонали отпечатка d , причем усреднение производилось по разным отпечаткам на одном образце. Разброс в значениях d для разных кристаллов одного типа не превышал 5—10 %. Наличие сверхпроводящего перехода в кристаллах и критическая температура T_c определялись по микроволновому поглощению с использованием методики ЭПР [6]. Значения T_c исследованных кристаллов приведены в таблице.

Полученные результаты по микроиндентированию представлены на рис. 1 в виде зависимостей d^2 от нагрузки. Их рассмотрение начнем с со-

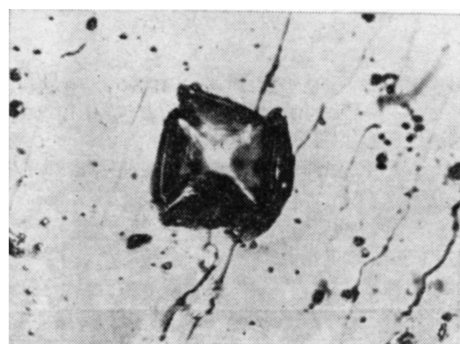
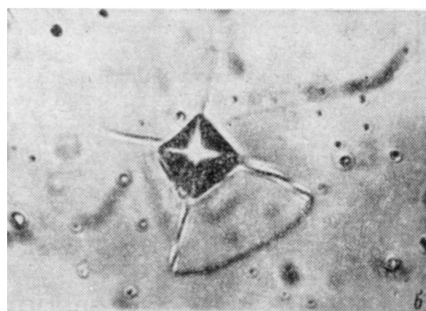
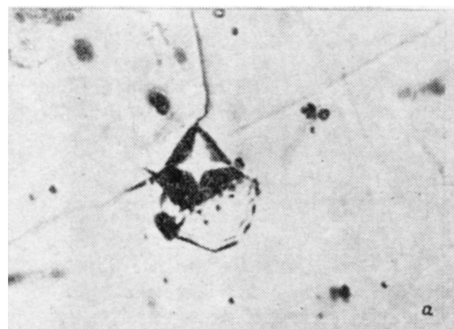


Рис. 2. Вид отпечатков, нанесенных на поверхность (001), для монокристаллов. $\times 820$.

a — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (90 К), $P=0.8$ Н; b — $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$, 0.5 Н; c — $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$, 0.5 Н.

поставления данных для кристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ с известными из литературы. Как и в [4], оказалось, что на кристаллах с $T_c \approx 65$ К отпечатки появлялись только после превышения пороговой нагрузки $P_0 \approx 0.05$ Н, а при $P < P_0$ деформация под индентором, видимо, была упругой. Для более мягких кристаллов с $T_c \approx 90$ К четкой пороговой нагрузки не наблюдалось (во всяком случае $P_0 \leq 0.02$ Н). Выше P_0 зависимости d^2 от P представляются линейными до $P \approx 0.6 \div 0.8$ Н, и микротвердость, по Виккерсу, может быть определена по стандартной формуле

$$H_v = (1.854/d^2)(P - P_0).$$

Полученные значения H_v приведены в таблице. Видно, что для кристаллов с $T_c = 65$ К значение микротвердости примерно в 2 раза больше, чем у кристаллов с $T_c = 90$ К. Заметим, что в кристаллах с $T_c = 90$ К наблюдались и четко выраженные двойниковые прослойки.

Наличие пороговой нагрузки у Y—Ba—Cu—O монокристаллов соответствует виду графика $d^2 - P$ (рис. 1) — прямая l не проходит через начало координат. Аналогичный результат для монокристаллов с $T_c = 65$ К получен в [4].

Для монокристаллов La—Sr—Cu—O и La—Cu—O зависимости $d^2 - P$ также являются линейными до $P \approx 0.8$ Н без выраженной пороговой нагрузки, причем для обоих кристаллов кривые практически совпадают.

На линейном участке $H_c = 6$ ГПа, т. е. эти кристаллы мягче, чем монокристаллы $Y-Ba-Cu-O$.

Линейной является зависимость $d^2 - P$ и для монокристаллов $Bi-Sr-Ca-Cu-O$. Пороговая нагрузка для них также отсутствует. Эти кристаллы оказываются самыми мягкими, причем $H_c = 0.95$ ГПа, что на порядок меньше микротвердости самых жестких кристаллов $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с $T_c \approx 65$ К.

Имеется отличие для кристаллов $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ по сравнению с другими кристаллами и в характере самого отпечатка микротвердости. В случае систем $La-Sr-Cu-O$ и $Y-Ba-Cu-O$ уже при нагрузках $P \approx 0.1$ Н на концах диагоналей отпечатка появляются микротрещины,

Температура сверхпроводящего перехода и микротвердость монокристаллов ВТСП

	T_c , К	H_c , ГПа
$YBa_2Cu_3O_{7-x}$	65	9.5
$YBa_2Cu_3O_{7-x}$	90	5.0
$(La_{1-x}Sr_x)_2CuO_4$	12	6.0
La_2CuO_4	—	6.0
$Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$	80	0.95

стремящиеся ориентироваться вдоль направлений типа $\langle 100 \rangle$ (рис. 2, а, б). Если диагональ отпечатка имеет то же направление, микротрещина продолжает ее; в противном случае трещина постепенно ориентируется вдоль $[100]$ или $[010]$. Для кристаллов $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ диагональные микротрещины не наблюдаются и отпечаток имеет несколько «неправильную» форму, связанную, судя по его виду, с процессом легкого отслаивания в плоскости (001) (рис. 2, в). В других кристаллах отслаивание в принципе также возможно, но другого типа (рис. 2, а, б).

Таким образом, кристаллы $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ среди изученных имеют наименьшее значение микротвердости и меньшую склонность к образованию локальных микротрещин вдоль $[100]$ и $[010]$, однако они более подвержены расслаиванию по плоскостям (001) . Исходя из этого, пока трудно отдать предпочтение этим кристаллам в смысле их повышенной пластичности при практическом использовании.

Авторы выражают признательность В. А. Татарченко и С. В. Мошкину за предоставленные монокристаллы, а также А. Г. Бадалян за измерение критической температуры.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Cook R. F., Dinger T. R., Clorke D. R. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 6. P. 454—456.
- [2] Keester R. L., Housley R. M., Marshall D. B. // J. Cryst. Growth. 1988. V. 91. N 3. P. 295—301.
- [3] Бобров В. С., Власко-Власов В. К., Емельченко Г. А., Инденбом М. В., Лебедев М. А., Оспьян Ю. А., Татарченко В. А., Фарбер Б. Я. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 4. С. 93—99.
- [4] Демирский В. В., Кауфманн Х.-Й., Лубенец С. В., Нацик В. Д., Фоменко Л. С. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 6. С. 263—265.
- [5] Демирский В. В., Лубенец С. В., Нацик В. Д., Сорин М. Н., Фоменко Л. С., Чайковская Н. М. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1990. Т. 3. № 1. С. 79—83.
- [6] Александров В. И., Бадалян А. Г., Баранов П. Г., Вихнин В. С., Осико В. В., Удовенчик В. Т. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 12. С. 3710—3713.

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

Поступило в Редакцию
28 апреля 1990 г.