

- [1] Березовец В. А., Фарбштейн И. И., Шеланков А. Л. ФТТ, 1983, т. 25, № 10, с. 2988—2995.
 [2] Цидильковский И. М. Зонная структура полупроводников. М.: Наука, 1978. 328 с.
 [3] Бреслер М. С., Веселаго В. Г., Косичкин Ю. В. и др. ЖЭТФ, 1969, т. 57, № 11, с. 1479—1494.
 [4] Anzin V. B., Bresler M. S., Farbshtein I. I. et al. Phys. St. Sol., 1970, vol. 40, N 2, p. 417—424.
 [5] Березовец В. А., Фарбштейн И. И., Шеланков А. Л. Письма в ЖЭТФ, 1984, т. 39, № 2, с. 64—66.
 [6] Shelankov A. L. Sol. St. Commun., 1985, vol. 53, N 5, p. 465—468.

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

Поступило в Редакцию
9 февраля 1988 г.

УДК 537.312.62

Физика твердого тела, том 30, в. 7, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 7, 1988

ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ($T_c > 150$ К) У НЕКОТОРЫХ ОБРАЗЦОВ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ Y—Ba—Cu—O

М. В. Красинькова, Б. Я. Мойжес

Керамики на основе Y—Ba—Cu—O имеют устойчивую объемную сверхпроводимость (СП) с $T_c \simeq 90$ К. В ряде лабораторий, однако, были получены образцы, имеющие нулевое сопротивление при значительно более высоких температурах: от 155 до 260 К [¹⁻⁵] и даже выше 300 К [⁶]. Эффект Мейснера при этом обычно был мал [^{1, 6}] или не наблюдался. Иногда некоторые признаки сверхпроводимости (скачки сопротивления, нелинейность вольт-амперных характеристик и т. д.) наблюдались и в области температур, где $R > 0$. Как правило, у таких аномальных образцов результаты измерений плохо воспроизводятся и при термоциклировании или даже просто при хранении аномальная СП необратимо исчезает и остается только обычная СП с $T_c \simeq 90$ К.

Явление аномальной высокотемпературной СП пока мало исследовано, и причина его неизвестна. Судя по косвенным признакам, явление имеет поверхностный характер и, возможно, возникает при контакте обычной 90 К — СП фазы с какой-то другой фазой, поскольку в большинстве случаев образцы с аномально высокой T_c были многофазны. В настоящей работе высказываются некоторые соображения о возможном механизме этого явления.

Еще в 1964 г. Литтл [⁷] высказал идею, что притяжение между носителями тока в полимерах можно стимулировать добавлением к основной линейной цепи полимера боковых цепей с определенными электронными свойствами. Гинзбург с сотрудниками [⁸] предложил для той же цели использовать двумерные поверхности раздела двух фаз. Рассматривался случай, когда одна фаза является сверхпроводящим металлом, а другая — полупроводником с узкой запрещенной зоной. Предполагалось, что электронные поляризационные волны в полупроводнике (экситоны) могут при определенных условиях усилить притяжение между куперовскими парами в металле. Таким образом, межфазные границы могут стимулировать СП, хотя в экспериментальных структурах получить увеличение T_c не удалось [⁹].

Теория объемной сверхпроводимости в керамиках на основе La_2CuO_4 и $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ пока не создана. Однако экспериментально установлено [¹⁰],

что элементарный заряд в сверхпроводниках $e^* = 2e$. Таким образом, как и у БКШ-сверхпроводников, в основе явления лежит спаривание электронов. Сейчас многие высказывают мнение [11-14], что спаривание электронов в сверхпроводнике может вызываться косвенным обменным взаимодействием — дополнительным притяжением между электронами с противоположно направленными спинами, разделенными анионом с заполненной электронной оболочкой [15, 16]. У изоляторов (NiO , CuO , Sr_2O_3 и др.), например, косвенный обмен приводит к образованию антиферромагнетиков с дальним магнитным порядком (магнитными подрешетками). Однако антиферромагнитные флуктуации могут иметь место и при отсутствии дальнего антиферромагнитного порядка, особенно при низких температурах.

Стехиометрические и нелегированные кристаллы La_2CuO_4 также являются антиферромагнетиками с $T_N \approx 250 \text{ K}$ [17]. При введении дырок в La_2CuO_4 температура Нееля уменьшается и появляется сверхпроводимость [18]. То, что дырки разрушают антиферромагнетизм (АФ), известно, например, на системе $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ [19] и объясняется тем, что при переходе в АФ состояние кинетическая энергия, связанная с делокализацией дырок, растет, а при переходе в ферромагнитное состояние уменьшается [20]. Однако в случае La_2CuO_4 трудно себе представить, что небольшое количество дырок полностью разрушает АФ. Наоборот, можно думать, что АФ ближний порядок сохраняется до температур порядка T_N , так что СП состояние сосуществует с ближним АФ порядком. Более того, высказывалось мнение [12, 13], что именно на фоне антиферромагнитного упорядочения спаривание дырок становится энергетически выгодным, так как при делокализации пар в АФ получается дополнительный выигрыш в кинетической энергии по сравнению с двумя несвязанными дырками [13]. При больших концентрациях дырки должны разрушать ближний АФ порядок, вследствие чего энергия спаривания, видимо, должна уменьшаться при росте концентрации пар. Однако процесс антиферромагнитного спаривания можно усилить вблизи поверхности, если СП материал привести в контакт с соответственно подобранным антиферромагнетиком. При этом, видимо, АФ фаза должна иметь близкий параметр решетки и близкие по свойствам парамагнитные ионы по сравнению с основным СП материалом. Кроме того, дополнительное увеличение T_c можно, по-видимому, получить и за счет туннелирования пар из сверхпроводника в АФ.

В керамике на основе $\text{Y}-\text{Ba}-\text{Cu}-\text{O}$ антиферромагнитной фазой, стимулирующей поверхностную сверхпроводимость, может быть фаза CuO с $T_N \approx 230 \text{ K}$ [16]. Эта фаза должна присутствовать, если не вся CuO вступает в реакцию в процессе спекания керамики или если при реакции образуется некоторое количество зеленой фазы Y_2BaCuO_5 . По технологическим соображениям в шихту иногда заведомо закладывается стехиометрический избыток CuO . При спекании компонент легкоплавкая CuO может как-то обволакивать зерна $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, создавая прослойки и включения, иногда даже видимые в электронный микроскоп [21].¹

При этом между поверхностными СП областями может устанавливаться режим протекания [23]. Однако такое состояние, возможно, термодинамически не всегда устойчиво и поэтому его трудно и получить и сохранить.

Стимуляцией поверхностной сверхпроводимости антиферромагнитной фазой, граничащей со сверхпроводником, можно объяснить и влияние воды на СП керамику, приводящее к неустойчивому повышению T_c [24]. Известно, что некоторые соединения Cu , имеющие кристаллизационную воду, являются антиферромагнетиками с высокими T_N [25].

Л и т е р а т у р а

- [1] *Ovshinsky S. R. et al. Phys. Rev. Lett.*, 1987, vol. 58, N 24, p. 2579—2581.
- [2] *Bhargava R. N. et al. Phys. Rev. Lett.*, 1987, vol. 59, N 13, p. 1468—1470.
- [3] *Hayri E. A. et al. Sol. St. Commun.*, 1987, vol. 64, N 24, p. 217—226.

¹ Наличие этих прослоек тем не менее не мешает получению высоких плотностей тока $2 \cdot 10^3 \text{ A} \cdot \text{см}^{-2}$ при 77 K [22].

- [4] Huang C. Y. et al. Nature, 1987, vol. 328, p. 403—405.
 [5] Ayub P. et al. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1987, vol. 20, p. L673—L676.
 [6] Jhara H. et al. Jap. J. Appl. Phys., 1987, vol. 2b, N 8, p. 1413—1415.
 [7] Little W. A. Phys. Rev., 1964, vol. 134, N 6A, p. 1416—1424.
 [8] Гинзбург В. Л. Phys. Lett., 1964, vol. 13, p. 101—110; Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / Под ред. В. Л. Гинзбурга и Д. А. Киржниц. М.: Наука, 1977.
 [9] Miller D. L. et al. Phys. Rev. B, 1976, vol. 13, p. 4834—4844.
 [10] Gough C. E. et al. Nature, 1987, vol. 326, N 6116, p. 855—857.
 [11] Anderson P. W. Science, 1987, vol. 235, p. 1196—1201.
 [12] Emery V. J. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 26, p. 2794—2797.
 [13] Мойжес Б. Я., Сунрун С. В. ФТТ, 1988, т. 30, № 3, с. 901—903.
 [14] Robinson A. L. Science, 1987, vol. 237, p. 1115—1117.
 [15] Вонсовский С. В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032 с.
 [16] Уайт Р., Джебелл Т. Дальний порядок в твердых телах. М.: Мир, 1982. 448 с.
 [17] Greene R. L. et al. Sol. St. Commun., 1987, vol. 63, N 5, p. 379—384.
 [18] Kitaoka Y. J. Phys. Soc. Jap., 1987, vol. 56, N 9, p. 3024—3029.
 [19] Jonker G. H., van Sauten J. H. Physica, 1950, vol. 16, p. 337—342, 599—604.
 [20] Zeuer C. Phys. Rev., 1951, vol. 82, p. 403—420.
 [21] Dou S. X. et al. Appl. Phys. Lett., 1987, vol. 51, N 7, p. 535—537.
 [22] Wang Huisheng et al. Chinese Phys. Lett., 1988, vol. 5, N 1.
 [23] Шкловский Б. И., Эфрос А. А. Электрические свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979. 416 с.
 [24] Kitazawa K. et al. Preprint, Submitted to Jpn. J. Appl. Phys., 1988.
 [25] Lendolt Bornstein. Berlin: Springer Verlag, 1962, Bd II, 9 Teil.

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

Поступило в Редакцию
9 февраля 1988 г.

УДК 535.56

Физика твердого тела, том 30, в. 7, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 7, 1988

О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ГИРОТРОПНЫЕ И ПРЕЛОМЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ—СЕГНЕТОЭЛАСТИКОВ

И. В. Бережной, Р. О. Влох

Эффекты пространственной дисперсии связаны в основном с наличием антисимметричной добавки к тензору диэлектрической проницаемости

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^0 + i\gamma_{ijk}k_k = \epsilon_{ij}^0 + ie_{ijl}g_{lk}k_k,$$

где γ_{ijk} — антисимметричный полярный тензор второго ранга, g_{lk} — аксиальный тензор второго ранга (тензор гирации), k_k — волновой вектор [1]. Изменение действительной части ϵ_{ij} может быть вызвано различного рода воздействиями. Так, например, хорошо известные эффекты электро- и упругооптики и электро- и упругогирации описываются соотношениями

$$\Delta Q_{ij} = r_{ijk}E_k + p_{ijkl}X_{kl}, \quad \Delta g_{ij} = \gamma_{ijk}E_k + \beta_{ijkl}x_{kl},$$

где ΔQ_{ij} — приращение поляризационных констант; X_{kl} — механическая деформация; E_k — напряженность электрического поля; r_{ijk} , γ_{ijk} и p_{ijkl} , β_{ijkl} — полярные и аксиальные тензоры третьего и четвертого рангов соответственно.

Как будет показано ниже, для существования связи между указанными эффектами необходимо выполнение следующих условий: 1) тензоры X_{kl} , E_k , a_{ij} и g_{ij} должны преобразовываться по одному неприводимому представлению точечной группы симметрии кристалла; 2) тензоры r_{ijk}