

уровня A_{1g} , преобразующегося по единичному представлению. Для вырожденных уровней E_g и F_{1u} это, вообще говоря, не так, и необходимо использовать неограниченное приближение Хартри—Фока. Однако если расщепление исходного шестикратно квазивырожденного уровня $A_{1g} \oplus E_g \oplus F_{1u}$ за счет межэлектронного взаимодействия не слишком велико, более важным может оказаться эффект Яна—Теллера, снимающий вырождение за счет несимметричного искажения кристаллического окружения дефекта.

Л и т е р а т у р а

- [1] Parada N. J., Pratt G. W. Phys. Rev. Lett., 1969, vol. 22, N 5, p. 180—183.
- [2] Hemstreet L. A. Phys. Rev. B, 1975, vol. 11, N 6, p. 2260—2270.
- [3] Волков Б. А., Панкратов О. А. ЖЭТФ, 1985, т. 88, № 1, с. 280—293.
- [4] Волков Б. А., Панкратов О. А., Сазонов А. В. ЖЭТФ, 1983, т. 85, № 10, с. 1395—1408.
- [5] Lent G. S., Bowen M. A., Allgaier R. S., Dow J. D., Sankey O. F., Ho E. S. Sol. St. Commun., 1987, vol. 61, N 2, p. 83—87.
- [6] Hjalmarson H. P., Vogl P., Wolford D. J. Dow J. D. Phys. Rev. Lett., 1980, vol. 44, N 12, p. 810—813.
- [7] Swarts C. A., Daw M. S., McGill T. C. J. Vac. Sci. Technol., 1982, vol. 21, N 1, p. 198—200.
- [8] Бургуэн Ж., Ланно М. Точечные дефекты в полупроводниках. Экспериментальные аспекты. 1985, М.: Мир. 304 с.
- [9] Lischka K. Phys. St. Sol. B, 1986, vol. 133, N 9, p. 17—46.
- [10] Harrison W. A. Phys. Rev. B, 1985, vol. 31, N 4, p. 2121—2131.

Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
7 августа 1987 г.

УДК 538.945:538.951

Физика твердого тела, том 30, в. 3, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 3, 1988

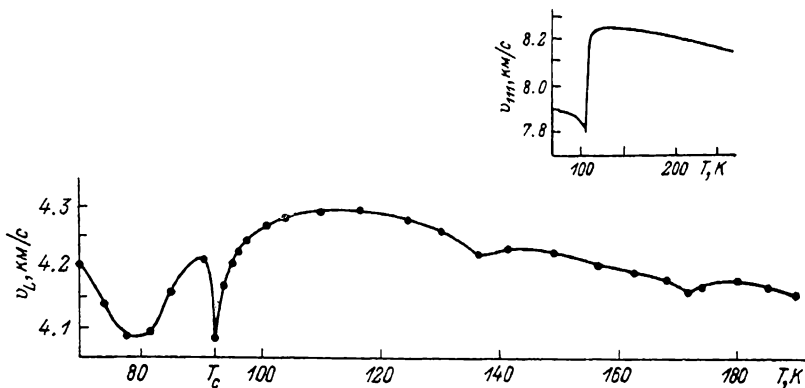
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ЗВУКА В Y—Ba—Cu—O

Л. А. Чернозатонский, А. И. Головашкин,
О. М. Иваненко, К. В. Мицен,
Л. Л. Пальцев, В. И. Пустовойт,
Е. Ф. Токарев, Ф. Ш. Хатамов, В. Н. Шорин

Известно [1, 2], что оксидные керамики типа Ba—Y—Cu—O становятся сверхпроводящими в диапазоне температур $T_c \sim 80 \div 100$ К. В настоящее время проведены широкие исследования физических свойств таких керамик [3—4], однако данные по их акустическим свойствам отсутствуют.

В работе проведено исследование температурной зависимости скорости продольных ультразвуковых волн на частотах 20—24 МГц в пластинах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($\delta \sim 0.1$). Керамика изготовлялась обычным способом [1] в виде прессованных таблеток толщиной 3—5 мм, диаметром 8—16 мм и имела температуру сверхпроводящего перехода $T_c = 92$ К. Рентгеноструктурный анализ показал однофазность образцов с точностью до 1%. Измерения скорости проводились импульсным фазовым методом [5] по интерференционному картину наложения отраженного от одной полированной грани акустического импульса и второго импульса, возбуждае-

мого в электроакустическом преобразователе. Преобразователь из пластины $Y-36^\circ$ среза $LiNbO_3$ приклеивался к другой грани образца. Мощность заводимого в образец ультразвука была порядка 100 мВт/см^2 . Точность установления интерференционных максимумов и минимумов (соответственно и значений скорости звука) составляла $\sim 1\%$. Измерения проводились от низких температур к высоким с интервалом $\Delta T \sim 1 \text{ К}$ в диапазоне $70-190 \text{ К}$ при помощи платинового термометра точность не хуже 0.01 К . Время установления температуры для каждой точки выдерживалось 30 минут .¹ В районе 80 К наблюдался широкий минимум в за-



Зависимость скорости продольной ультразвуковой волны от температуры в $Y-Ba-Cu-O$.

На вставке — $v_L(T)$ для $SrTiO_3$ [8].

висимости $v_L(T)$, а в районе $T=T_c$ — узкий минимум (см. рисунок). Характер поведения скорости продольных волн вблизи T_c

$$v_L(T) = \left(1 + \frac{0.04}{T - T_c}\right) 432 \text{ м/с}, \quad T > T_c \quad (1)$$

аналогичен поведению скорости продольных акустических волн в перовските $SrTiO_3$ при приближении к температуре фазового перехода $T_m = 103 \text{ К}$. Скачок скорости: $|v(T_c) - v(T > T_c)| / v(T_c) \sim 5\%$ и в том и в другом случае одинаков (сравни вставку на рисунке). Подобное поведение v_L вблизи $T=T_m$ обычно связывают с несегнетоэлектрическим фазовым переходом, широко распространенным в керамиках со структурой перовскита, к которым принадлежит и исследуемая, а сам переход объясняют смягчением модулей упругости при слабом повороте кислородного октаэдра вокруг оси C [6, 7]. Однако поведение v_L при $T < T_c$ в отличие от поведения $v_L(T < T_m)$ для перовскитов-диэлектриков (сравни $v_L(T)$ для $SrTiO_3$ на рисунке), характеризуется подъемом значения v_L почти до «предпереходной» величины в районе 90 К . Минимум $v_L(T_c)$ можно объяснить и влиянием сильных флуктуаций в точке сверхпроводящего перехода, связываемых с антиферромагнитной неустойчивостью при приближении точки Нееля T_N к T_c [8]. Второй минимум скорости $v_L(T_2 \approx 80 \text{ К})$ может быть связан со скрытой теплотой при фазовом переходе $T=T_c \approx T_N$, близком, согласно [8], к переходу первого рода, либо с тем, что в оболочке зерен керамики СП переход происходит при меньшей температуре, чем в сердцевине [2, 3] ($T_2 = T_c^0 < T_c$).

Сильное рассеяние ультразвука из-за зернистости и пористости образцов, что связано со спецификой их приготовления [1-3], не позволило хорошо воспроизвести температурную зависимость коэффициента поглощения ультразвука по амплитудным зависимостям эхо-сигналов. По этой же причине в образцах не удалось возбудить продольные акустические волны

¹ При более быстром времени ($\tau \sim 5-10 \text{ мин}$) характер зависимости $v_L(T)$ не изменялся, но ее минимумы сдвигались на $5-10 \text{ К}$ выше по температуре, что, по-видимому, связано с плохим выравниванием T по образцу.

на частотах 70 и 100 МГц. Отметим лишь, что вблизи $T = T_2$, T_c наблюдались флуктуации в коэффициенте затухания и форме акустических эхо-сигналов.

Авторы благодарны З. М. Магомедову за помощь в проведении экспериментов, а также участникам общемосковского семинара под руководством В. Л. Гинзбурга за обсуждение результатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Wu M. K., Asbun J. R., Torng C. J. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 9, p. 908—911.
- [2] Hikami S., Hirai T., Kagoshimi S. Jap. J. Appl. Phys., 1987, vol. 26, N 4, p. L314—316.
- [3] Jap. J. Appl. Phys., 1987, vol. 26, N 5, Letters. Specialis section.
- [4] Tarascon J. M., Greene L. H., McKinnon W. R., Hull J. V. Phys. Rev., 1987, vol. B35, N 13, p. 7115—7117.
- [5] Мак-Скимин Г. В кн.: Физическая акустика / Под ред. У. Мезона, т. I, ч. А гл. 4. М.: Мир, 1966. 592 с.
- [6] Баррет Г. В кн.: Физическая акустика / Под ред. У. Мезона и Р. Терстона, т. VI, гл. 2. М.: Мир, 1973. 432 с.
- [7] Unoki H., Sasaki T. J. Phys. Soc. Japan, 1967, vol. 23, N 3, p. 546—552.
- [8] Савченко М. А., Стефанович А. В. Флуктуационная сверхпроводимость магнитных систем. М.: Наука, 1986. 144 с.

ВНИИФТРИ
Московская область

Поступило в Редакцию
3 июля 1987 г.
В окончательной редакции
11 августа 1987 г.

УДК 621.315.592

Физика твердого тела, том 30, в. 3, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 3, 1988

ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГИИ СВЯЗАННЫХ ЭКСИТОНОВ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Cu}_2\text{O} \vdash \text{Cd}$ ОТ ДАВЛЕНИЯ

Ф. И. Крейнгольд, Б. С. Кулинкин,
М. Л. Шубников

Для изучения структуры энергетических зон и природы дефектов в полупроводниках в последнее время широко применяются спектроскопические исследования при высоком гидростатическом давлении [1]. В [2, 3] рассматривалось влияние гидростатического давления на спектр свободных экситонов кристалла закиси меди. Было установлено, что с ростом давления увеличивается ширина запрещенной зоны и одновременно уменьшается энергия связи экситонов (желтая серия). Представляло интерес также исследовать влияние давления на спектр связанных экситонов в Cu_2O .

В настоящей работе мы исследовали влияние гидростатического давления на спектр люминесценции кристаллов закиси меди, легированных кадмием. Наблюдалось уменьшение энергии диссоциации связанных экситонов с давлением. Энергия диссоциации «мелких» связанных экситонов $E_{1d} = 70 \text{ см}^{-1}$ уменьшается со скоростью $dE_{1d}/dP = -4 \text{ см}^{-1}/\text{кбар}$, а экситонов с $E_{2d} = 210 \text{ см}^{-1}$ со скоростью $dE_{2d}/dP = -13 \text{ см}^{-1}/\text{кбар}$. Соответственно при давлении свыше 20 кбар происходит диссоциация связанных экситонов, и в спектре люминесценции удается зарегистрировать излучение только свободных экситонов.

Кристаллы закиси меди выращивались методом гидротермального синтеза. Для измерений отбирались монокристаллы размером около 0.2 мм, имеющие яркую люминесценцию. Для создания квазигидростатического