

## АНОМАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕПЛОЕ РАСШИРЕНИЕ $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ , $BaPb_xBi_{1-x}O_3$ И $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Н.В.Аншукова, А.И.Головашкин<sup>1)</sup>, Л.И.Иванова<sup>+</sup>, И.Б.Крынецкий\*,  
А.П.Русаков<sup>+</sup>

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, 117924 Москва, Россия

<sup>+</sup> Московский институт стали и сплавов, 117936 Москва, Россия

<sup>\*</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
119899 Москва, Россия

Поступила в редакцию 20 января 2000 г.

После переработки 23 марта 2000 г.

Обнаружен эффект аномального влияния магнитного поля на тепловое расширение в системах  $BaKBiO$ ,  $BaPbBiO$  и  $LaSrCuO$  при низких температурах. Эффект объясняется наличием сверхструктурного упорядочения в кислородной подрешетке этих систем и подавлением его магнитным полем.

PACS: 65.70.+y, 65.90+i

Системы  $Ba_{1-x}K_xBiO_3$  (BKBO) и  $BaPb_xBi_{1-x}O_3$  (BPBO) проявляют многие свойства, аналогичные свойствам купратных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) [1–3], несмотря на то, что в этих системах определяющими являются связи  $Bi-O$ , в отличие от связей  $Cu-O$  купратов. Как показано в [2, 3], сходство свойств в значительной мере обусловлено сверхструктурным упорядочением в кислородной подрешетке как купратных, так и висмутатных соединений. Предложенная ранее физическая модель такого сверхструктурного упорядочения кислородной подрешетки [2, 3], помимо известного упорядочения в решетках  $Cu$  и  $Bi$ , была недавно экспериментально подтверждена нейтронографическими исследованиями [4].

Одним из общих свойств, характерных для обеих систем (купратных и висмутатных), является аномальное (отрицательное) тепловое расширение при низких температурах. Этот эффект наблюдался только на качественных образцах BKBO [1], BPBO [5],  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$  (LSCO) [1],  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  [6],  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$  [7–9]. В настоящей работе сообщается об обнаружении эффекта аномально сильного влияния магнитного поля  $H = 2 - 4$  Тл на тепловое расширение соединений  $Ba_{0.6}K_{0.4}BiO_3$ ,  $La_{1.9}Sr_{0.1}CuO_4$  и  $BaPb_{0.75}Bi_{0.25}O_3$  при низких температурах. Эффект наблюдался как на поликристаллических образцах BKBO, обладающих кубической симметрией, поликристалле BPBO, так и на монокристаллическом образце LSCO.

Синтез и аттестация образцов описаны в [1]. Анализ исследуемых образцов BKBO и BPBO на лазерном микронном масс-спектрометре ЛАММА-1000 с порогом чувствительности  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  не обнаружил даже следов меди или магнитных примесей. Линейное тепловое расширение  $\Delta L/L$  измерялось с помощью тензометрического dilatометра с чувствительностью  $\sim 10^{-7}$  ( $L$  – длина образца) [10].

Для двух образцов  $Ba_{0.6}K_{0.4}BiO_3$  на рис.1,2 приведены зависимости  $\Delta L/L$  от температуры  $T$  в разных магнитных полях. Магнитное поле в этих измерениях было

<sup>1)</sup> e-mail: golov@sci.lebedev.ru

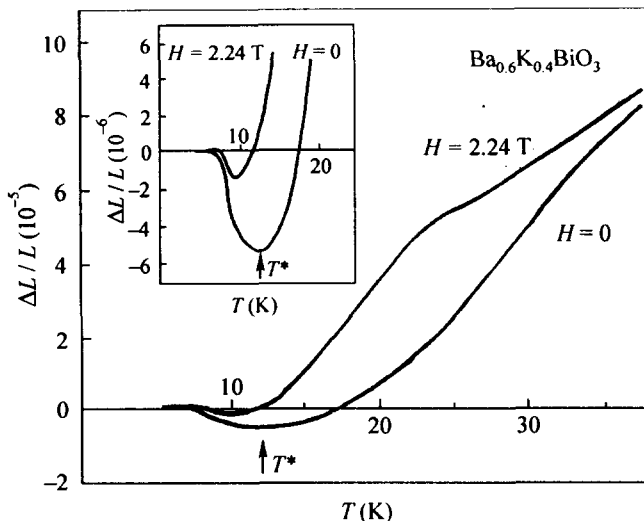


Рис.1. Температурная зависимость теплового расширения  $\Delta L/L$  для образца  $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{BiO}_3$  №1 в полях  $H = 0$  и  $H = 2.24$  Тл. На вставке показано  $\Delta L/L$  в области низких температур  $T < 20$  К. Температура  $T^*$  соответствует минимуму  $\Delta L/L$

направлено перпендикулярно направлению, в котором измерялась деформация. Видно, что в полях  $H = 2 - 4$  Тл наблюдается сдвиг температуры  $T^*$ , соответствующей минимуму  $\Delta L/L$ , в сторону низких температур. Кроме того, уменьшается величина аномального (отрицательного) коэффициента теплового расширения  $\alpha$  с ростом  $H$ . Эффект изменения величины  $\Delta L/L$  в полях  $H = 2 - 4$  Тл наблюдался нами как в сверхпроводящем, так и в нормальном металлическом состоянии ВКВО до  $T \approx 50$  К. Учитывая, что температура перехода в сверхпроводящее состояние ВКВО  $T_c \leq 30$  К, наблюдаемый эффект нельзя свести к обычной магнитострикции сверхпроводников.

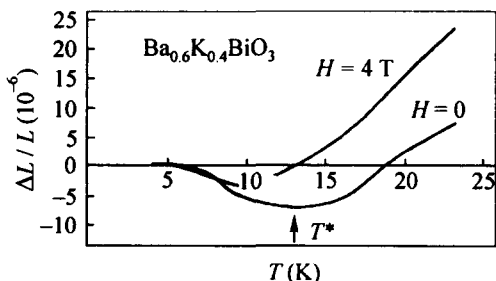


Рис.2. Температурная зависимость  $\Delta L/L$  для образца  $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{BiO}_3$  №2 в полях  $H = 0$  и  $H = 4$  Тл

Аналогичное изменение  $\Delta L/L$  под влиянием магнитного поля  $H = 2 - 4$  Тл наблюдалось нами для монокристаллического образца  $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ . Измерения были выполнены в геометрии, когда деформация измерялась перпендикулярно оси  $c$  монокристалла, а магнитное поле было параллельно направлению, в котором измерялась деформация. Результаты приведены на рис.3. Как видно из рисунка, минимум  $\Delta L/L$  смещается с ростом  $H$  в сторону низких температур на  $1.5 - 2$  К в поле  $H \approx 4$  Тл.

Для соединения  $\text{BaPb}_{0.75}\text{Bi}_{0.25}\text{O}_3$  измерялась магнитострикция  $\lambda_{||} = \lambda(H) = \Delta L/L(H)$  как функция  $H$  при фиксированной температуре. Измерения выполнены в полях, параллельных измеряемой деформации. На основе этих данных получены кривые относительного изменения  $\Delta\lambda_{||} = \Delta L/L(H) - \Delta L/L(0)$ , приведенные на рис.4 и 5 для четырех значений  $H$  в температурной области  $6 \text{ К} \leq T \leq 41 \text{ К}$ . Кривые отражают зависимость не величины теплового расширения  $\Delta L/L(H)$ , а относительное изменение этой величины в поле  $H$  при фиксированной температуре. Видно, что

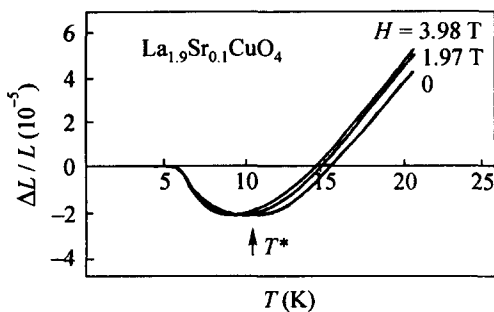


Рис.3. Температурная зависимость теплового расширения  $\Delta L/L$  для монокристалла  $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$  в полях  $H = 0$ ,  $H = 1.97$  Тл и  $H = 3.98$  Тл

при  $T > T_c$  в состоянии нормального металла наблюдается заметное относительное изменение  $\Delta L/L$  в поле  $H$ . Интересной особенностью является также смена знака изменения  $\Delta\lambda_{\parallel}$  при  $T \approx 8$  К. Эти данные указывают на более сложное поведение образца ВРВО в магнитном поле.

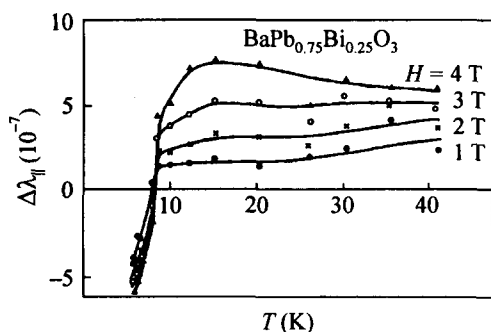


Рис.4. Зависимость от температуры относительных изменений величины  $\Delta L/L$  для четырех значений  $H$  для  $\text{BaPb}_{0.75}\text{Bi}_{0.25}\text{O}_3$

Обнаруженный эффект сильного влияния магнитного поля на тепловое расширение в исследованных системах мы связываем с понижением стабильности их решеток в поле. Известно, что температурная зависимость коэффициента теплового расширения  $\alpha$  определяется зависимостью параметра Грюнайзена  $\gamma$ , то есть логарифмической производной частот фононов по объему образца. Положительным значениям  $\alpha$  соответствует положительное  $\gamma$ , то есть увеличение частоты фононов с температурой  $T$ . Наличие отрицательных значений  $\alpha$ , наблюдаемых для оксидных ВТСП систем, показывает, что для них существуют аномальные ветви фононного спектра, частоты которых уменьшаются с ростом температуры [1, 2, 4]. Поскольку  $\alpha < 0$  наблюдается при низких температурах, это указывает на то, что  $\gamma < 0$  соответствует наиболее низкочастотной ветви колебаний [11], то есть поперечной акустической ветви  $\omega_{TA}$ . Учитывая, во-первых, что плотность фононных состояний для  $\omega_{TA}(\mathbf{Q})$  максимальна вблизи границы зоны Бриллюэна и, во-вторых, что сверхструктурное упорядочение в кислородной подрешетке соответствует [2–4] направлению [100], можно утверждать, что  $\omega_{TA}(\mathbf{Q})$  аномальна для волновых векторов  $\mathbf{Q}$  в окрестности волнового вектора  $\mathbf{Q}_n = (\pi/a)[100]$ . Таким образом, “аномальными” являются поперечные акустические фононы с частотами  $\omega_{TA}(\mathbf{Q})$  для волновых векторов  $\mathbf{Q} \approx \mathbf{Q}_n$  вблизи границы зоны Бриллюэна. Эксперимент для ВКВО и LSCO показал, что температура  $T^*$ , соответствующая минимальному значению  $\Delta L/L$ , понижается с ростом  $H$ . Поскольку  $kT^* \sim \hbar\omega_{TA}(\mathbf{Q}_n)$ , это означает, что с ростом  $H$  уменьшается  $\omega_{TA}(\mathbf{Q}_n)$ . Таким образом, с ростом  $H$  растет неустойчивость кристалла, то есть  $\omega_{TA} \rightarrow 0$ .

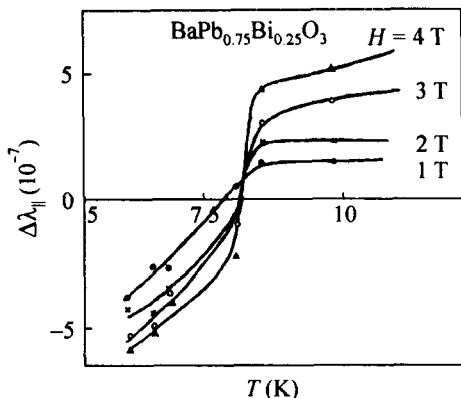


Рис.5. Температурные зависимости относительно изменения величины  $\Delta L/L$  в магнитном поле для четырех значений  $H$  в области низких температур  $T \leq 10$  K для  $\text{BaPb}_{0.75}\text{Bi}_{0.25}\text{O}_3$

В то же время, сверхструктурное упорядочение в кислородной подрешетке (то есть упорядочение ионов кислорода с разной валентностью, точнее, ионно-ковалентных связей  $\text{Cu-O}$  или  $\text{Bi-O}$  [2–4]) эквивалентно волне зарядовой плотности (ВЗП) в этой подрешетке. Амплитуда этой ВЗП пропорциональна  $\omega_{TA}(\mathbf{Q}_n)$  [2]. Наличие такой ВЗП обеспечивает стабильность решетки, то есть обеспечивает  $\omega_{TA}(\mathbf{Q}_n) > 0$ . Таким образом, экспериментальные результаты (уменьшение  $T^*$  и  $\omega_{TA}$  с ростом  $H$ ) приводят к выводу, что магнитное поле уменьшает амплитуду ВЗП. Влияние магнитного поля на аномалию теплового расширения аналогично эффекту сильного легирования [2]. Причиной такого влияния магнитного поля на амплитуду ВЗП в кислородной подрешетке является, по нашему мнению, разрыв электрон-дырочных пар, возникновение которых обусловлено особенностями электронной структуры оксидных ВТСП [2], и связанное с этим увеличение экранирования ВЗП свободными носителями заряда.

Таким образом, в работе обнаружено аномально сильное влияние магнитного поля на тепловое расширение в оксидных ВТСП системах. Эффект связывается с уменьшением в поле амплитуды ВЗП в кислородной подрешетке, стабилизирующей решетку, что приводит к возникновению аномального теплового расширения при более низких температурах.

Авторы благодарят Л.И.Леонюк за предоставление образцов монокристаллов  $\text{LaSrCuO}$ . Работа выполнена при поддержке Научного совета ГНТП “Актуальные направления в физике конденсированных сред” (подпрограмма “Сверхпроводимость”).

1. N.V.Anshukova, A.I.Golovashkin, L.I.Ivanova et al., *Physica C* **282-287**, 1065 (1997).
2. A.I.Golovashkin, N.V.Anshukova, L.I.Ivanova, and A.P.Rusakov, *Physica C* **317-318**, 630 (1999).
3. A.I.Golovashkin, N.V.Anshukova, L.I.Ivanova, and A.P.Rusakov, *Intern. J. Modern Phys.* **B12**, 2999 (1998).
4. R.J.McQueeney, Y.Petrov, T.Egami et al., *Phys. Rev. Lett.* **82**, 628 (1999).
5. N.V.Anshukova, A.I.Golovashkin, and L.I.Ivanova, *Intern. J. Modern Phys.* **B12**, 3251 (1998).
6. H.You, U.Welp, and Y.Fang, *Phys. Rev.* **B43**, 3660 (1991).
7. M.Mouallem-Bahout, J.Gaude, G.Calvarin et al., *Mater. Lett.* **18**, 181 (1994).
8. Z.J.Yang, M.Yewondwossen, and D.W.Lawther, *Journ. Supercond.* **8**, 233 (1995).
9. T.Asahi, H.Suzuki, M.Nakamura et al., *Phys. Rev.* **B55**, 9125 (1997).
10. Н.В.Аншукова, Ю.В.Богуславский, А.И.Головашкин и др., *ФТТ* **35**, 1415 (1993).
11. H.Wendel and R.M.Martin. *Phys. Rev.* **B19**, 5251 (1979).