

УДК 538.945

Д.В.Потапов (асп., каф. ФППиНЭ), О.А.Мартынова (6 курс, каф. ФППиНЭ),
В.Э.Гасумянц, д.ф.-м.н., проф.

РОЛЬ КАЛЬЦИЯ В МОДИФИКАЦИИ НОРМАЛЬНЫХ И СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ $YBa_2Cu_3O_y$ ПРИ ОДНОВРЕМЕННЫХ ДВОЙНЫХ ЗАМЕЩЕНИЯХ

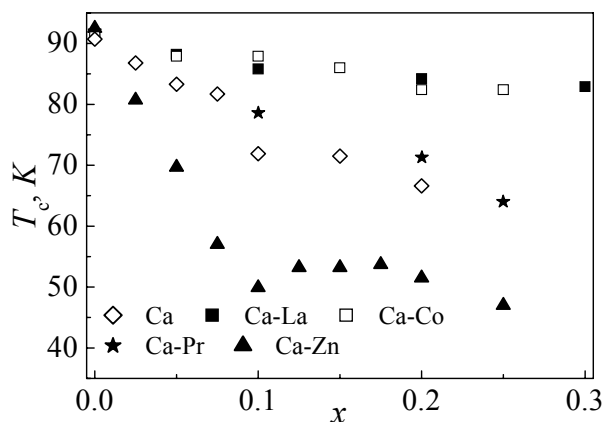
ABSTRACT: The effect of calcium on the normal-state and superconducting properties of co-doped $YBa_2Cu_3O_y$ is investigated. Despite different influence the role of calcium in modification of those properties are shown to be mainly the same in all the systems studied.

Исследования ВТСП-материалов с точки зрения изучения влияния примесей замещения на транспортные свойства и критическую температуру выявили ряд замещений, представляющих несомненный интерес в связи с нетривиальной модификацией свойств ВТСП-систем под их воздействием. Особое место среди этих примесей занимает кальций, приводящий к сильной трансформации кинетических коэффициентов в нормальной фазе и, в ряде случаев, восстанавливающий сверхпроводимость [1]. Причины этого воздействия до конца не ясны. В связи с этим, работа посвящена сравнительному исследованию воздействия кальция на зонный спектр и сверхпроводящие свойства иттриевых ВТСП при одновременных двойных замещениях в системах $Y_{1-x}Ca_xBaCu_{3-x}Co_xO_y$, $Y_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_y$, $Y_{1-2x}Ca_xPr_xBaCu_3O_y$ и $Y_{1-x}Ca_xBaCu_{3-x}Zn_xO_y$.

Вторые примеси были выбраны исходя из различий в их воздействии на свойства иттриевых ВТСП: Co и La приводят к увеличению кислородного индекса [2]; $4f$ состояния иона Pr гибридизуются с зонными состояниями [3]; Zn в позиции Cu(2) оказывает непосредственное влияние на константу спаривания, при этом одновременно наблюдаются и эффекты, связанные с трансформацией проводящей зоны [4].

На рис. 1 приведены данные по критической температуре для всех исследованных систем, а также для одиночного замещения $Ca^{2+} \rightarrow Y^{3+}$. Видно, что в $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_{3-x}Co_xO_y$ и $Y_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_y$ значение T_c уменьшается очень незначительно. В данном случае проявляется эффект компенсации избытка кислорода, вызванного введением Co или La, его недостатком, вызванным замещением $Ca^{2+} \rightarrow Y^{3+}$. С ростом x в $Y_{1-2x}Ca_xPr_xBaCu_3O_y$ сверхпроводящие свойства ухудшаются, но динамика T_c соответствует случаю одиночного легирования кальцием. Этот факт не соответствует представлениям о суммировании двух механизмов подавления сверхпроводимости (празеодимом и кальцием), который должен был бы иметь место в данном случае. Наиболее резкое падение T_c наблюдается в системе $Y_{1-x}Ca_xBaCu_{3-x}Zn_xO_y$ (при $x \leq 0.1$), при этом в диапазоне $x > 0.1$ значение T_c практически не меняется.

Для всех систем на основании анализа температурных зависимостей коэффициента термоэдс в рамках модели узкой зоны [1] были получены значения параметров энергетического спектра и системы носителей заряда: степени заполнения зоны электронами $F=n/N$, где n – число электронов, а N – полное число состояний в зоне, эффективной ширины зоны W_D и степени ее асимметрии b .



На рис. 2 приведены зависимости $F(x)$ для исследованных систем. В $Y_{1-x}Ca_xBaCu_3-xCo_xO_y$ и $Y_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_y$ наблюдаемое падение F , необъяснимо из кристаллохимических соображений, но хорошо согласуется с предположением о внесении кальцием дополнительных состояний в проводящую зону, что приводит к росту N . При этом значение W_D растет и возникает асимметрия зоны, имеющая отрицательный знак. Эти тенденции сохраняются и в системе $Y_{1-2x}Ca_xPr_xBaCu_3O_y$, при этом W_D с ростом x изменяются еще сильнее, что соответствует

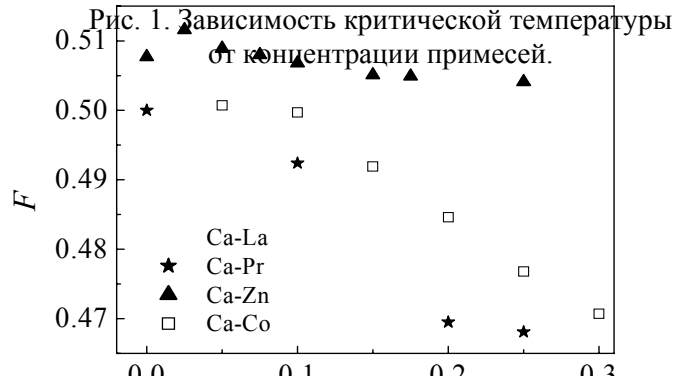


Рис. 2. Концентрационная зависимость F .

представлениям о локализации зонных состояний под действием празеодима. В системе $Y_{1-x}Ca_xBaCu_3-xZn_xO_y$ значение F практически не зависит от x . Этот интересный факт, в совокупности с обнаруженным уменьшением ширины проводящей зоны, может служить подтверждением предположения о выбросе цинком зонных состояний на уровне с более низкими энергиями [5]. При этом асимметрия зоны практически не возникает, $b \approx 0$ для всех составов, т.е. вклад кальция в увеличение числа зонных состояний компенсируется выбросом состояний за счет цинка. Наблюдаемое при этом постоянство T_c при $x=0.1 \div 0.2$ может быть объяснено следующим образом. На фоне разрушающейся (за счет цинка) зоны пик кальциевых состояний оказывается существенно более заметным, и уровень Ферми, попадая в него, пиннингуется. В результате подавление сверхпроводимости цинком за счет разрушения сверхпроводящих пар компенсируется ростом плотности состояний на уровне Ферми.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о роли кальция в исследованных системах с различными двойными замещениями.

1. Во всех исследованных случаях наблюдаемое под действием кальция изменение параметров проводящей зоны может быть объяснено в рамках предположения о внесении в нее кальцием дополнительных состояний.

2. Характер и степень воздействия кальция на сверхпроводящие свойства и зонный спектр $YBa_2Cu_3O_y$ зависят от второй примеси. В случае легирования лантаном и кобальтом определяющим является компенсация кальцием возмущения в кислородной подсистеме, в результате чего значение T_c практически не изменяется. В $Y_{1-x}Ca_xBaCu_3-xZn_xO_y$ основную роль играет непосредственное воздействие кальция на структуру зонного спектра, а в системе $Y_{1-2x}Ca_xPr_xBaCu_3O_y$ кальций приводит к ослаблению эффекта гибридизации состояний иона празеодима и зонных состояний.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 02-02-16841-а), Министерства образования РФ (грант Е02-3.4-120), Правительства С.-Петербурга (грант М04-2.4Д-426) и Федерального агентства по образованию (программа «Развитие научного потенциала высшей школы», проект 4853).

ЛИТЕРАТУРА:

1. V.E.Gasumyants. in Advances in Condensed Matter and Materials Research, Vol.1, ed. F.Gerard. Nova Science Publishers, New York, 2001, p.135.
2. V.E.Gasumyants, M.V.Elizarova, I.B.Patrina, Phys. Rev. B 59, 6550 (1999).
3. V.E.Gasumyants, M.V.Elizarova, R.Suryanarayanan, Phys. Rev. B 61, 12404 (2000).
4. M.Sera, T.Nishikava, M.Sato. J.Phys.Soc.Jap. 62, 1, 281 (1993).
5. P.Gupta, M.Gupta, Phys. Rev. B 59, 3381 (1991).