

О КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК $La_{2-x}Sr_xCuO_4$

А.С. Жалекешов¹, А.Н. Курмантаев², Т. Сапарбаев³, Б.Я. Явидов¹

¹ НГПИ имени Ажииныза, 230105 Нукус, Узбекистан

² МКТУ имени Ясави, 161200 Туркестан, Казахстан

³ Кокшетауский университет им. А. Мырзахметова, 020000 Кокшетау, Казахстан

e-mail: a.jalekeshov@ndpi.uz

В экспериментах было показано, что критическая температура сверхпроводимости (СП), (T_c), тонкой пленки $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ (LSCO), зависит от толщины самой пленки и типа подложки. T_c LSCO, выращенных на подложках $LaSrAlO_4$ (LSAO) и $SrTiO_3$ (STO), больше и меньше, чем T_c объемного образца [1]. Несмотря на определенный успех в теории высокотемпературной СП (ВТСП), в настоящее время отсутствует общепризнанная теория как ВТСП так и СП ихних тонких пленок, в частности теория СП LSCO/LSAO и LSCO/STO систем. Имеющиеся теоретические работы [2,3] рассматривают системы в рамках стандартной модели БКШ, которая не в состоянии учесть все особенности рассматриваемого явления. В работе [4] была предложена модель, которая основывается на биполярной (БП) теории СП. В рамках этой модели были успешно объяснены значения T_c LSCO/LSAO и LSCO/STO систем с толщиной 2000 Å при определенных уровнях легирования. Здесь же, нами дается объяснение значения T_c LSCO/LSAO и LSCO/STO систем с толщиной 500 Å при уровнях легирования начиная от 0.05 вплоть до 0.2. Формула для T_c выбран как температура Бозе-Эйнштейновской конденсации (БЭК) идеального бозе-газа, состоящий из двухузловых БП:

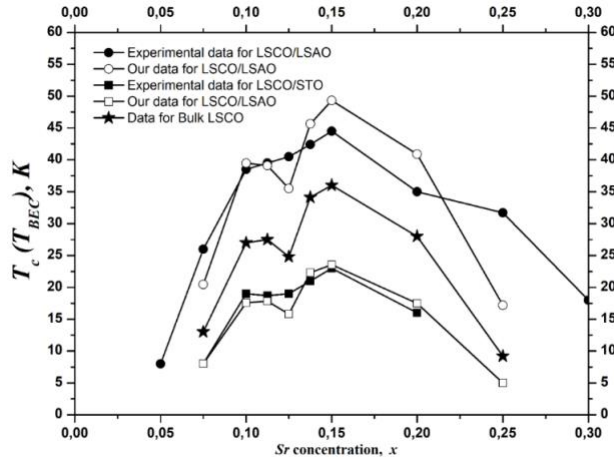


Рис. 1. Изменение T_c тонкой пленки LSCO в зависимости от концентрации Sr (x).

константа, \vec{n} (\vec{m}) – вектор узла, на котором находится электрон (апикальный кислорода). Считая кристаллическую решетку LSCO псевдо-тетрагональной, мы рассчитали значения T_{BEC} идеального бозе-газа двухузловых БП в LSCO/LSAO и LSCO/STO системах с толщиной 500 Å в зависимости от степени легирования. Результаты расчетов представлены на рис. 1. При расчете мы использовали реальные значения параметров кристаллической решетки LSCO и напряжении в LSCO/LSAO и LSCO/STO системах. Из рис.1 видно, что значения T_{BEC} в LSCO/LSAO (LSCO/STO) системе больше (меньше) чем значения T_{BEC} объемного LSCO во всех уровнях легирования. В то же время, независимо от уровня легирования T_{BEC} в LSCO/LSAO системе всегда больше, чем T_{BEC} LSCO/STO системы. Такое поведение T_{BEC} в зависимости от типа подложки и степени легирования хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями. И наблюдаемое согласие, по нашему мнению, обусловлена тем, что наша модель охватывает в себе самые основные особенности ВТСП купратов: $T_{BEC} \sim h$. В заключение, нами объяснены значения T_c систем LSCO/LSAO и LSCO/STO в зависимости от уровня легирования и впервые на основе БП теории СП получены фазовые диаграммы объемных и пленочных LSCO.

$$T_{BEC} = \frac{3.31\hbar^2 n^{2/3}}{2k_B m_e} e^{-g^2}. \quad (1)$$

Здесь, n - концентрация БП, $g^2 = \gamma E_p / \hbar \omega$, $\hbar \omega = 75$ мэВ энергия фононов, E_p - энергия полярона. Значения E_p - выбирается так, что $T_{BEC} = T_c$ объемного образца в отсутствии всяких напряжений во всех уровнях легирования. Коэффициент $\gamma = 1 - \frac{\sum_{\vec{m}} [f_{\vec{m}}(\vec{n}) \cdot f_{\vec{m}}(\vec{n} + \vec{a})]}{\sum_{\vec{m}} [f_{\vec{m}}^2(\vec{n})]}$, где $f_{\vec{m}}(\vec{n})$ - сила взаимодействия носителя заряда в CuO_2 плоскости с апикальными ионами кислорода. Она определяется из выражения:

$$f_{\vec{m}}(\vec{n}) = \frac{\kappa h(1-\varepsilon_h)}{((|\vec{n}-\vec{m}|a(1-\varepsilon_a))^2 - (h(1-\varepsilon_h))^2)^{2/3}}. \quad (2)$$

В формуле (2) $a(\varepsilon_a)$ - период (напряжения периода) решетки по оси a -, $h(\varepsilon_h)$ - длина (напряжение) $Cu(p)$ - $O(a)$ связи, κ – силовая

Литература

- [1] M.Naito et al., Physica C 546 (2018) 84
- [2] X.J.Chen et al., Phys.Rev. B 61(2000)9782
- [3] H.Q.Lin et al., Physica C 341-348(2000)445
- [4] B.Ya.Yavidov, Physica C 471(2011)71