

Природа асимметрии линии ЭПР в $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.25}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$

Д. В. Захаров¹⁾, Д. Г. Зверев, В. В. Изотов

Казанский государственный университет, 420008 Казань, Россия

Поступила в редакцию 21 августа 2003 г.

В ряде работ отмечалось, что асимметрия линии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в общем случае определяется как электропроводностью, так и недиагональными компонентами динамической восприимчивости магнитной подсистемы. Прямыми измерениями температурных зависимостей формы линии ЭПР и проводимости на образце $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.25}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$ доказано, что доминирующий вклад в асимметрию линии ЭПР связан с проводимостью.

PACS: 75.47.Lx, 76.30.Fc

Манганиты, вещества с общей формулой $\text{Ln}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$, где Ln – редкоземельный ион, А – щелочноземельный ион, в центре внимания современных исследований [1]. Это объясняется необычностью их электрических и магнитных свойств, а также тем, что ряд особенностей проводимости в манганитах тот же, что в нормальной фазе высокотемпературных сверхпроводников на основе купратов. Однако особый интерес к ним возник после открытия исключительно сильного влияния внешнего магнитного поля и изотопического состава на электросопротивление в окрестности точки Кюри [2, 3]. Одним из эффективных методов исследований является метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В ряде работ [4, 5] отмечалось, что линия ЭПР в манганитах асимметрична. В качестве возможных указывались две альтернативные причины: скин-эффект и влияние недиагональных компонент динамической восприимчивости [8]. Данная работа посвящена решению этой альтернативы в монокристалле $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.25}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$.

Образец изготовлен во Франции проф. Ж. П. Клерк и проф. Ж.-К. Грене из смеси MnO_3 , La_2O_3 , CaCO_3 и BaCO_3 . MnO_3 был взят в количестве, превышающем расчетную концентрацию на 10%, чтобы скомпенсировать сублимацию Mn при нагреве. Смесь нагревалась в течение 12 ч до 1450°C , затем медленно охлаждалась со скоростью 0.2 град/мин. Далее методом зонной плавки был выращен цилиндрический образец. Рентгеноструктурный анализ показал наличие одной псевдокубической фазы со слабыми моноклинными искажениями. Параметры решетки: $a = 7.783 \pm 0.001 \text{ \AA}$, $b = 7.787 \pm 0.001 \text{ \AA}$, $c = 7.782 \pm 0.001 \text{ \AA}$, $\beta = 89.838 \pm 0.002^\circ$. Исследуемый нами образец в виде диска диаметром 3.9 мм и

толщиной 0.8 мм был вырезан таким образом, чтобы одна из кристаллографических осей была перпендикулярна его плоскости.

Эксперимент. На параллельные грани цилиндра напылялись константановые обкладки, к которым припаивалось по два провода для реализации четырехпроводной схемы измерения сопротивления. Измерения магнитосопротивления (MR) и сопротивления постоянному току проводились на универсальном цифровом вольтметре В7-34А. Результаты измерения сопротивления постоянному току 1 мА в температурном интервале 77–460 К приведены на рис.1. На этом рисунке также показано электросопротив-

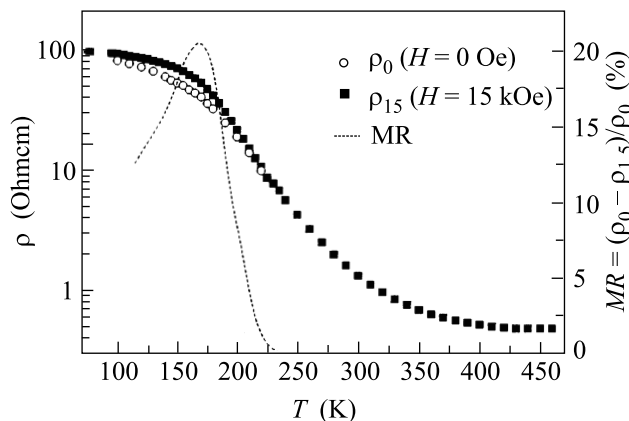


Рис.1. Температурная зависимость удельного сопротивления $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.25}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$ постоянному току 1 мА в магнитном поле 15 кЭ и без поля. Пунктирной линией показана температурная зависимость магнитосопротивления (MR)

ление в магнитном поле 15 кЭ и температурная зависимость магнитосопротивления. Видно, что при температурах $T > 230 \text{ K}$ сопротивление не зависит от магнитного поля, то есть для расчета асимметрии

¹⁾e-mail: Dmitri.Zakharov@ksu.ru

линии поглощения ЭПР в полях $H_{res} \cong 3.4 \text{ кЭ}$ можно использовать значения электросопротивления в нулевом магнитном поле.

Спектры ЭПР образца, исследуемого в настоящей работе, измерялись на промышленном спектрометре трехсантиметрового диапазона Bruker ESP 300. Измерения в диапазоне температур 100–460 К осуществлялись в азотном продувном криостате ER 4111 VT EPR с точностью установки температуры $\pm 0.5 \text{ К}$. Образец приклеивался на стержень из кварца высокой чистоты. Спектр ЭПР отражает зависимость энергии радиочастотного поля P , поглощенной образцом, от величины внешнего постоянного магнитного поля H . Причем детектируется, как правило, производная dP/dH , что позволяет повысить отношение сигнал/шум. На рис.2 приведены типичные спектры данного соединения.

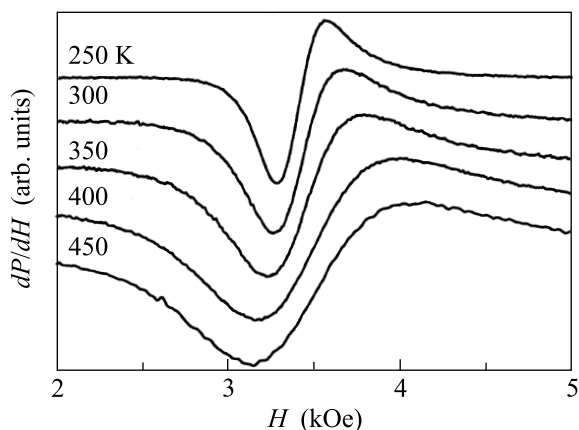


Рис.2. Типичные спектры ЭПР $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.25}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$ при различных температурах

Результаты и обсуждение. В парамагнитной области $T > 230 \text{ К}$ наблюдается широкая, обменно суженная линия поглощения, которая хорошо описывается формулой Дайсона [6, 7]

$$\frac{dP}{dH} \propto \frac{d}{dH} \left\{ \frac{\Delta H + \alpha(H - H_{res})}{(H - H_{res})^2 + \Delta H^2} \right\}. \quad (1)$$

Это асимметричная линия лоренцевой формы. В данной формуле учтена дисперсия энергии в образце: α – отношение дисперсии к абсорбции (D/A).

Линии подобной формы типичны для металлов, где асимметрия связана со скин-эффектом, который ведет к примеси дисперсии к спектру поглощения. Для образца с размерами, малыми по сравнению с глубиной скин-слоя $\delta \cong \sqrt{\rho/\mu_0\omega}$, ожидается симметричная линия поглощения ($\alpha = 0$). Если же размеры образца велики по сравнению с глубиной скин-слоя, то дисперсия сравнима по величине с абсорб-

цией ($\alpha \approx 1$), что ведет к сильной асимметрии линии. Вторая возможная причина асимметрии, которая наиболее характерна для диэлектриков, это влияние недиагональных компонент динамической восприимчивости, которое ведет к характерному искажению формы линии поглощения. Это искажение зависит от частоты и ориентации внешнего радиочастотного поля [8] и аппроксимируется также формулой (1).

Линия ЭПР в данном соединении изотропна, удельное сопротивление кристалла изменяется от 4.73 Ом/см при 245 К до 0.49 Ом/см при 450 К, что соответствует глубине скин-слоя $\delta \cong 0.8\text{--}0.26 \text{ мм}$. Поэтому, чтобы выяснить взаимосвязь асимметрии линии ЭПР и проводимости, были сняты спектры ЭПР для случаев, когда радиочастотное поле H_1 лежит в плоскости образца и перпендикулярно ей. В первом случае размеры образца более чем в пять раз превышают глубину скин-слоя, что должно привести к значительной асимметрии линии ЭПР без какой-либо существенной температурной зависимости. Эксперимент показал, что α действительно близок к единице во всем температурном интервале и медленно возрастает при повышении температуры. Во втором случае, когда H_1 перпендикулярно плоскости дискового образца толщиной 0.8 мм, глубина скин-слоя становится сравнима с размерами образца при 245 К и при повышении температуры уменьшается примерно в три раза. Можно доказать взаимосвязь асимметрии линии ЭПР и проводимости образца, сравнивая их температурные зависимости. Учитывая, что $\alpha \sim 1/\delta \sim 1/\sqrt{\rho}$, на рис.3 сравниваются именно эти две величины. Это позволяет

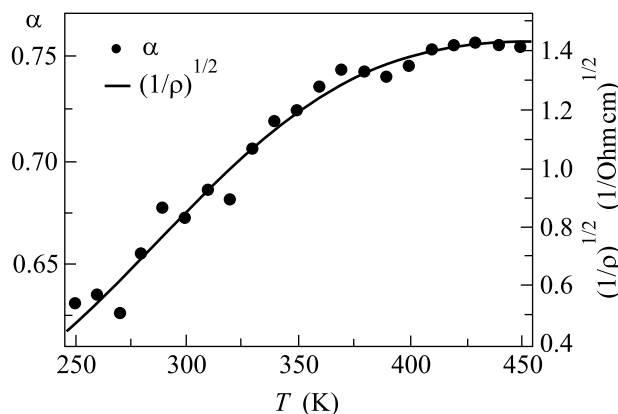


Рис.3. Сравнение температурной зависимости параметра асимметрии линии ЭПР α и $\sqrt{1/\rho(H_{res})}$ для $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.25}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$

сделать вывод, что линия поглощения становится асимметричной из-за влияния скин-эффекта.

Необходимо отметить, что влияние недиагональных компонент динамической восприимчивости, по-видимому, также оказывает влияние на асимметрию линии поглощения, но этот эффект слабее и проявляется только в случае очень широких линий ($H_{\text{res}} \approx \Delta H$). В качестве примера можно привести соединение $\text{La}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}\text{MnO}_3$, в котором параметр асимметрии D/A принимает также и отрицательные значения, что не может быть связано с влиянием скин-эффекта.

Авторы выражают глубокую признательность проф. Ж. П. Клерк и проф. Ж.-К. Грене за выращивание монокристалла, Ю. К. Розенцвайгу за подготовку образца к измерениям проводимости, а также М. В. Ерёмину и Е. А. Ганьшиной за предложенную тему исследований и обсуждение результатов данной работы.

Работа выполнена в русле программ “Университеты России” (грант # УР.01.01.023) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант # 03-02-17430). Д.В.З. благодарен фонду CRDF (грант BRNE REC-007) за поддержку.

1. E. Dagotto, T. Hotta, and A. Moreo, *Phys. Rep.* **344**, 1 (2001).
2. Э. Л. Нагаев, *УФН* **166**, 833 (1996).
3. J. M. D. Coey, M. Viret, and S. von Molnar, *Adv. Phys.* **48**, 167 (1999).
4. V. A. Ivanshin, J. Deisenhofer, H.-A. Krug von Nidda et al., *Phys. Rev.* **B61**, 9, 6213 (2000).
5. J. Deisenhofer, M. V. Eremin, D. V. Zakharov et al., *cond-mat/0108515* (2001).
6. Freeman J. Dyson, *Phys. Rev.* **98**, 349 (1955).
7. S. E. Barnes, *Adv. Phys.* **30**, 801 (1981).
8. H. Benner, M. Brodehl, H. Seitz, and J. Wiese, *J. Phys.* **C16**, 6011 (1983).