

Работа выполнена в рамках задания 2.40 программы «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограммы «Нanomатериалы и нанотехнологии».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Perpendicular giant magnetoresistance of multilayered Co/Cu nanowires / K. Liu [et al.] // Phys. Rev. B. – 1995. – V. 51, №11. – P. 7381 (4 pp.).
2. Current-driven excitations in magnetic multilayer nanopillars from 4.2 K to 300 K / M. Tsoi [et al.] // Phys. Rev. B. – 2004. – V. 69, № 10. – 100406(4 pp.).
3. Depairing critical current achieved in superconducting thin films with through-thickness arrays of artificial pinning centers / R B Dinner [et al.] // Superconductor Science and Technology. – 2011. – V. 24, №5. – P. 055017 (8 pp.).
4. E. Chubenko. Porous Silicon as Host and Template Material for Fabricating Composites and Hybrid Materials. In: Porous Silicon: Opto- and Microelectronic Applications. / Ed. by G. Korotcenkov // Taylor and Francis Group. N.W., 2015. P. 182–200.
5. Перспективы создания миниатюрного источника тока на бета-вольтаическом эффекте с использованием в качестве активного элемента изотопа никеля-63 / А.А. Резнев [и др.] // Нано- и микросистемная техник. – 2009. – № 3. – С. 1416.
6. Магнитная анизотропия массива Ni-нанопроволок в пористом кремнии / М.С. Русецкий [и др.] // Письма ЖТФ. – 2011. – Т. 37 (9). – С. 16.

ЗАВИСИМОСТЬ СООТНОШЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$

В. А. Доросинец¹, М. А. Чвек¹, E. Lähderanta²

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: Dorosinets@bsu.by

²⁾ Lappeenranta University of Technology, Yliopistonkatu 34, 53850 Lappeenranta, Finland,
e-mail: Erkki.Lahderanta@lut.fi

Исследовалось влияние магнитного поля на температурную зависимость сопротивления модифицированных лазерным излучением пленок пероскитоподобных манганитов $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$. Анализ экспериментальных кривых позволяет установить переход при 2 Тл от двухмагнетонного рассеяния носителей заряда к рассеянию поляронов на мягкой фононной моде в качестве доминирующего механизма. Этот процесс сопровождается также стабилизацией частоты фононной моды.

Ключевые слова: манганит; полярон; магнон; магнитное поле.

LOW TEMPERATURE MAGNETIC FIELD DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY MECHANISMS RATIO OF THIN $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ FILMS

V. A. Dorosinets¹, M. A. Tchvek¹, E. Lähderanta²

¹⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus,

²⁾ Lappeenranta University of Technology, Yliopistonkatu 34, 53850 Lappeenranta, Finland,
Corresponding author: V. A. Dorosinets (Dorosinets@bsu.by)

The effect of a magnetic field on the temperature dependence of the resistance of laser-modified films of perovskite-like manganites $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ was studied. Analysis of the experimental curves makes it possible to establish the transition at 2 T from two-magnon scattering of charge carriers to the scattering of polarons by the soft phonon mode as the dominant mechanism. This process is also accompanied by the stabilization of the phonon mode frequency.

Key words: manganite; polaron; magnon; magnetic field.

ВВЕДЕНИЕ

В [1] было показано, что воздействие импульсов лазерного излучения на тонкие пленки перовскитоподобных манганитов $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ приводит к модификации их электрофизических свойств и к фазовому распаду магнитной подсистемы образцов. Аналогичного эффекта можно достичь и в результате отжига образцов в вакууме. Полученные таким образом модифицированные образцы характеризуются дефицитом кислорода и позволяют исключить неопределенность в однородности распределения химических элементов вещества, свойственную образцам, полученным другими методами. Подбирая режим модификации можно плавно понижать температуру перехода диэлектрик-металл T_M и отслеживать изменение электрофизических свойств образцов вследствие смещения соотношения вкладов механизмов двойного обмена и суперобменного взаимодействия, приводящего к изменению характера магнитного упорядочения и, следовательно, доминирующего механизма электропроводности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные пленки $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ на подложках MgO получены методом лазерного напыления и имели согласно рентгенографическим данным близкую к монокристаллической структуру и высокое значение $T_M = 220$ К. В отличие от [1] в данной работе представлены результаты для относительно слабо модифицированных лазерным излучением пленок, для которых не обнаружены квантовые поправки к электропроводности при низких температурах. Измерения температурных зависимостей сопротивления образцов проводились в установке с криостатом замкнутого цикла Cryogenics, позволяющей варьировать температуру образца в интервале от 1,7 до 300 К, а также создавать магнитные поля до 8 Тл. Спектр комбинационного рассеяния исследованных пленок характеризуется наличием трех линий, причем полоса 600 см^{-1} свидетельствует о присутствии заметного изгиба октаэдров MnO_6 и характерна для пленок с дефицитом кислорода [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены температурные зависимости сопротивления $R(T)$ модифицированной пленки $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ для ряда значений индукции магнитного поля B в диапазоне температур 10–90 К. Для более низких температур характерно металлическое поведение электропроводности, насыщение магнитной восприимчивости и, соответственно, высокая степень упорядоченности спиновой системы. В рассматриваемой в работе температурной области, соответствующей начальному участку отклонения от ферромагнитного металлического поведения из-за сильной связи электронной и магнитных систем в качестве основных механизмов рассеяния носителей заряда в литературе

предлагается рассеяние поляронов на мягких оптических фононах и двухмагнотное рассеяние [3, 4].

Первый механизм описывается зависимостью сопротивления от температуры вида $\text{Sinh}^{-2}(\hbar\omega_s/2k_B T)$, где $\hbar$ – постоянная Планка, ω_s – частота мягкой оптической фононной моды, k_B постоянная Больцмана. Второй механизм предполагает температурную зависимость сопротивления вида $T^{9/2}$. Одномагнотное рассеяние, т.е. рассеяние одного электрона с переворотом спина в данной температурной области мы не рассматриваем ввиду отсутствия на уровне Ферми состояний с противоположной ориентацией спина в рассматриваемой температурной области из-за практически полной поляризации спинов аналогично аргументации в работе [3]. Из рис. 1 видно, с высокой степенью точности экспериментальные кривые $R(T)$ для всех значений магнитного поля аппроксимируются формулой 1, учитывающей одновременное проявление обоих выше рассмотренных механизмов:

$$R = R_0 + \frac{A}{\text{Sinh}^2\left(\frac{\hbar\omega_s}{2k_B T}\right)} + BT^{\frac{9}{2}},$$

где A и B – постоянные коэффициенты.

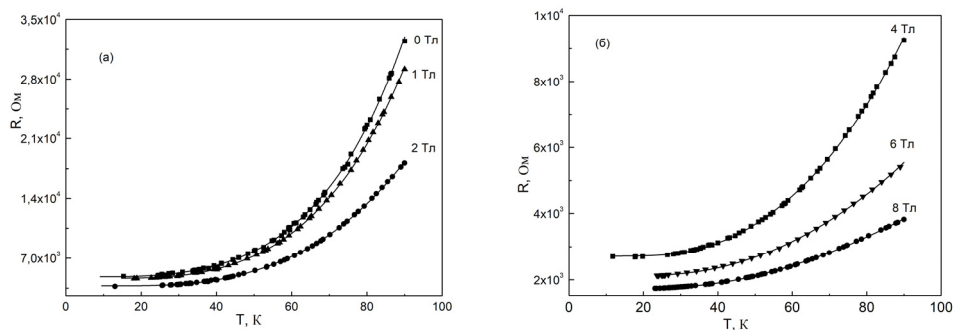


Рисунок 1. – Температурные зависимости сопротивления модифицированной пленки $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ в низкотемпературной области и их аппроксимации зависимостью 1 для ряда значений индукции магнитного поля

На рис. 2 приведены кривые $R(T)$ нескольких значений магнитного поля и кривые описывающие вклад каждой из двух компонент формулы 1, смещенные на значение параметра R_0 для наглядности. Из рисунка видно, что в отсутствие магнитного поля в температурной области выше 30 К доминирует механизм двухмагнотного рассеяния. Для $B = 1$ Тл относительный вклад рассеяния поляронов на мягкой оптической моде увеличивается, однако выше $T = 47$ К первый механизм остается доминирующим. Лишь при значении магнитного поля $B = 2$ Тл при температуре $T = 85$ К вклады обоих механизмов становятся равными. При дальнейшем повышении значения магнитного поля вклад фононного рассеяния на мягкой фононной моде увеличивается и становится доминирующим во всем рассмотренном температурном интервале. При достижении магнитным полем значения 6 Тл вклад двухмагнотного рассеяния становится пренебрежимо мал.

Данная последовательность смены доминирующего механизма рассеяния отличается от типичной для исходной немодифицированной пленки, рассмотренной в [4],

для которой рассеяние на фононной моде является доминирующим механизмом рассеяния во всем интервале значений индукции магнитного поля.

Проведен также анализ рассчитанной из аппроксимационных кривых зависимости частоты мягкой фононной моды от значения индукции магнитного поля. Обнаружено, что диапазон магнитных полей 0–2 Тл, соответствующий смене доминирующего механизма рассеяния носителей заряда, характеризуется также возрастанием частоты мягкой фононной моды.

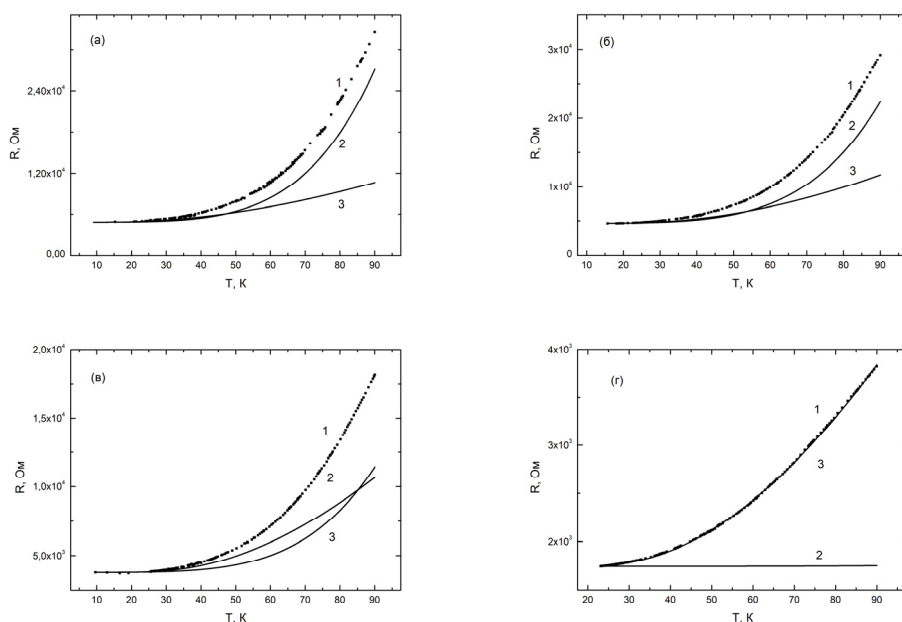


Рисунок 2. – Вклады в экспериментальную зависимость $R(T)$ (кривая 1) от механизмов двухмагнитного рассеянием (кривая 2) и рассеяния поляронов на мягкой фононной моде (кривая 3) для модифицированной пленки $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ для нескольких значений индукции магнитного поля, Тл: а – 0, б – 1, в – 2, г – 8

Для объяснения полученных результатов необходим учет тесной взаимосвязи магнитной и электронной систем и деформационных процессов в манганитах. Для температурной области, соответствующей начальному росту сопротивления с температурой, характерно также начало отклонения от строгой упорядоченности в ориентации спинов. В такой системе спиновые возбуждения реализуются с большой вероятностью. Деформация октаэдров MnO_6 в отсутствие магнитного поля из-за дефицита кислорода обуславливает пониженную частоту мягкой фононной моды и малую интенсивность взаимодействия локальных деформаций (поляронов) с протяженными когерентными колебаниями решетки (мягкой фононной модой). Приложение магнитного поля приводит к процессу упорядочения в спиновой системе и образованию щели [5] в спиновом спектре, что приводит к уменьшению вероятности процессов спинового возбуждения и, как следствие, к уменьшению вероятности двухмагнитного рассеяния. В тоже время уменьшение степени деформации кристаллической решетки при приложении магнитного поля приводит к уменьшению энергии связи поляронов, повышает интенсивность когерентного смещения элементов кристалличе-

ской решетки. Малые значения частот мягких оптических фононов для образца даже при высоких магнитных полях и зависимость частоты от степени деформации октаэдров MnO_6 и магнитного поля указывают на то, что вероятнее всего мягкая фононная мода связана качанием (вращением) октаэдров MnO_6 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дефицит содержания кислорода манганите $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$, вызванный лазерным облучением приводит к повышению вклада механизма суперобменного взаимодействия в процессе магнитного упорядочения при низких температурах. Тесная связь магнитной и электронной систем в манганитах приводит к постепенному переходу при повышении значения индукции магнитного поля в интервале 0–2 Тл от механизма двухмагнетонного рассеяния к рассеянию поляронов на мягкой фононной моде в качестве доминирующего механизма рассеяния, сопровождаемому повышением ее частоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Доросинец, В.А. Состояние спинового стекла в магнитной системе тонких пленок манганитов $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ / В.А.Доросинец, И. Цао // Вестник БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. – 2015. – № 3. – С. 19–24.
2. Electrical transport in the ferromagnetic state of manganites: Small-polaron metallic conduction at low temperatures / G. Zhao [et al.] // Phys. Phys. Lett. – 2000. – V. 84, № 26. – P. 6086–6089.
3. Diagnostics of “colossal” magnetoresistance manganite films by Raman spectroscopy / V.B. Podobedov [et al.] // Phys. Phys. Lett. – 1998. – V. 73, № 22. – P. 3217–3219.
4. Довженко Т.А. Поляронный транспорт и двухмагнетонное рассеяние носителей заряда в пленках $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ / Т.А. Довженко, В.А. Доросинец, В.К Ксеневиц // Вестник БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. – 2005. – № 3. – С. 22–26.
5. Spin-wave scattering at low temperatures in manganite films / G. Zhao [et al.] // Phys. Phys. B. – 2003. – V. 67, № 13. – P. 134405.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СЛАБОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ В КОБАЛЬТО-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТАХ

В. А. Доросинец, В. А. Борисов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: Dorosinets@bsu.by*

В образцах кобальто-углеродных композитов при низких температурах обнаружен эффект слабой локализации. Из кривых магнитосопротивления рассчитаны значения параметров, входящих в формулу Хиками и их температурная зависимость. Экспериментальные результаты интерпретируются в рамках модели существования тонких протяженных проводящих каналов, имеющих графитоподобную структуру. Определена максимальная толщина каналов.

Ключевые слова: слабая локализация; квантовая поправка; графит; композит.