

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.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE OF WEAK LOCALIZATION PARAMETERS IN COBALT-CARBON COMPOSITES

V. A. Dorosinets, V. A. Borisov

*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus,
Corresponding author: V. A. Dorosinets (Dorosinets@bsu.by)*

The effect of weak localization was at low temperatures in cobalt-carbon composites at low temperatures. The parameters of the Hikami formula and their temperature dependences have been calculated from the magnetoresistance curves. The experimental results have been interpreted within the framework of the model of the existence of thin extended conducting channels with a graphite-like structure. The maximum channel thickness has been determined.

Key words: weak localization; quantum correction; graphite; composite.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения кобальто-углеродных композитов C(Co) был разработан метод синтеза, включающий термообработку карбоксилированной целлюлозы после замены в ней путем ионообменной сорбции протонов COOH-групп на катионы кобальта [1]. Композиты представляют собой массив кластеров кобальта в углеродной матрице. Подбором концентрации катионов кобальта и режима термообработки можно реализовать синтез образцов с электропроводностью в диапазоне от диэлектрического до металлического поведения. Был также отработан режим получения образцов на температурной зависимости сопротивления $R(T)$ которых при низких температурах наблюдался перегиб, который в работе [2] связывался с квантовыми поправками к электропроводности. В данной работе исследуется температурная зависимость параметров, характеризующих механизм слабой локализации в исследованных образцах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Из синтезированных композитов C(Co) отбирались образцы, проявляющие металлический характер температурной зависимости сопротивления в области высоких температур, сменяющийся диэлектрическим поведением в области низких температур. Измерения кривых $R(T)$ и магнитосопротивления при фиксированных значениях температуры проводились в криостате замкнутого цикла Cryogenics, содержащем сверхпроводящий магнит, позволяющий создавать магнитные поля с индукцией до 8 Тл. Измерения температурных зависимостей магнитного момента образцов проводились в криостате замкнутого цикла с помощью сверхпроводящего квантового интерферометра (СКВИД).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Квантовые поправки к электропроводности наблюдаются в тонких слоях материалов, с электропроводностью близкой к металлической [3], например, в гранульных металлах или графитоподобных структурах. Толщина исследованных образцов составляла порядка 1 мм, что существенно выше значений соответствующих длин когерентности эффектов слабой локализации и электрон-электронного взаимодействия. Поэтому естественно предположить образование в процессе синтеза образцов высокопроводящих тонких слоев внутри их. В работе [2] было сделано предполо-

жение что такими слоями являются соединяющиеся между собой тонкие слои графитоподобного углерода, образующиеся вокруг кластеров кобальта в результате их каталитического действия. Для исключения альтернативной возможности того, что электропроводность осуществляется по сплошным металлическим каналам кобальта, с помощью СКВИДа проводились измерения температурной зависимости магнитного момента образцов. Образец охлаждался в криостате до 10 К без приложения магнитного поля, а затем проводилось измерение магнитного момента при поднятии температуры до 250 К в магнитном поле с индукцией 100 Гс (режим охлаждения без магнитного поля, ZFC). Затем магнитный момент образца измерялся при повторном охлаждении уже в магнитном поле с индукцией магнитного поля 100 Гс (режим охлаждения в магнитном поле, FC). Наблюдавшееся расхождение кривых ZFC и FC однозначно свидетельствует о суперпарамагнитном поведении, т.е. кобальт образует внутри образца массив изолированных, преимущественно монокристаллических кластеров. Таким образом реализовано экспериментальное подтверждение предположения о ответственности тонких графитоподобных слоев за наблюдение квантовых поправок. Схождение кривых при температуре $T = 250$ К, т.е. при температуре начала измерений означает, что температура блокировки находится выше данной температуры, что не позволяет провести расчеты размеров магнитных кластеров. Используя известные из литературы значения параметров для кобальта можно сделать оценку, что размеры большинства кластеров не превышают 10 нм.

На рисунке представлены кривые магнитосопротивления для трех температур в температурном интервале наблюдения квантовых поправок к электропроводности.

Анализ кривых проводился по формуле Хиками [4]:

$$\Delta R = A \left[\frac{3}{2} \Psi \left[\frac{1}{2} + \frac{B_2}{B} \right] - \Psi \left[\frac{1}{2} + \frac{B_1}{B} \right] - \frac{1}{2} \Psi \left[\frac{1}{2} + \frac{B_3}{B} \right] - \ln \left[\frac{B_3^{3/2}}{B_1 B_3^{1/2}} \right] \right],$$

где A – постоянная, включающая для фиксированной температуры значение сопротивления в отсутствие квантовых поправок, геометрические параметры проводящих каналов и их число, а также физические постоянные, Ψ - дигамма-функция, B_1 , B_2 и B_3 – параметры, зависящие от комбинации постоянных времени для различных механизмов рассеяния носителей заряда. Поскольку, как показано в [2] в использованном диапазоне магнитных поле точность определения параметра B_1 мала проведем анализ температурной зависимости параметров B_2 и B_3 . Отбрасывая малый вклад от рассеяния на магнитных примесях выражения для них можно представить в упрощенном виде:

$$B_3 = B_1 = \hbar / 4eDt_1,$$

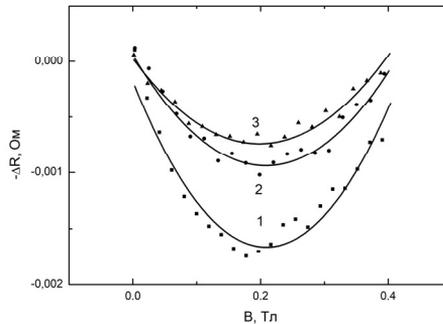


Рисунок – Кривые магнитосопротивления для 3 температур T , К: 1- 2; 2-4; 3-6

$$B_2 = \hbar / 4eD \left(\frac{1}{t_I} + \frac{4}{3t_{SO}} \right),$$

где e – заряд электрона, D – коэффициент диффузии, t_I – время неупругого рассеяния, t_{SO} – время спин орбитального рассеяния. В таблице приведены рассчитанные значения параметров B_2 и B_3 для ряда температур.

Таблица

Результаты расчета микроскопических параметров

T , К	B_2 , мТл	B_3 , мТл	t_I , с	L_ϕ , нм
2	49,14	8,34	$3,5 \times 10^{-11}$	147
4	58,92	10,32	$2,8 \times 10^{-11}$	131,5
6	67,34	12,52	$2,3 \times 10^{-11}$	119,2

Характерной особенностью полученных результатов является практически линейная зависимость параметров B_2 и B_3 от температуры, тогда как для металлов, например, меди, наблюдается квадратичная зависимость B_3 от температуры [5], что можно связать с особенностями токопереноса в образовавшихся каналах из графитоподобного материала. Линейность температурной зависимости параметра B_2 означает, что постоянная времени спин-орбитального рассеяния слабо зависит от температуры и не влияет на изменение B_2 . Используя значение для диффузии электронов из работы [2] $D = 6 \text{ см}^2/\text{с}$ получаем приведенные в таблице зависящие от температуры значения времени неупругого рассеяния носителей заряда. Поскольку t_I соответствует времени сбоя фазы волновой функции электрона, можно рассчитать длину фазовой когерентности волновой функции для приведенных температур:

$$L_\phi = (Dt_I)^{1/2}.$$

Для $T = 6 \text{ К}$ длина фазовой когерентности составляет 119,2 нм, и поскольку квантовые поправки к электропроводности еще наблюдаются для этой температуры можно утверждать, что толщина проводящего канала меньше этого значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ кривых магнитосопротивления кобальто-углеродных композитов С(Со) для ряда фиксированных температур в температурной области, в которой наблюдается эффект слабой локализации позволил рассчитать температурную зависимость параметров, входящих в формулу Хиками, а также времени неупругого рассеяния и длины когерентности волновой функции носителей заряда. Установлена линейная зависимость параметров B_2 и B_3 формулы от температуры в интервале 2–6 К.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Preparation, structure, and magnetic properties of cobalt nanoparticles in carbon fibers / I. Bashmakov [et al.] // J. Mat. Res. – 2001. – V. 16, № 10. – P. 2832–2835.
2. Доросинец, В. А. Определение микроскопических параметров гетерогенных углеродных материалов / В.А. Доросинец, В.А. Борисов // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2019. – № 3. – С. 61–67.
3. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер. – М. : Физматлит, 2013. – 288 с.

4. Hikami S. Spin-Orbit Interaction and Magnetoresistance in the Two Dimensional Random System / S. Hikami, A.I. Larkin, Y. Nagaoka // Prog. Theor. Phys. – 1980. – V. 63, № 2. –P. 707–710.
5. Rosenbaum R. Superconducting fluctuations and magnetoconductance measurements of thin films in parallel magnetic fields / R. Rosenbaum // Phys. Rev. B. – 1985. – V. 32, № 4. –P. 2190–2199.

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОНТАКТА ГИДРАТИРОВАННЫХ НАНОПОРОШКОВЫХ ОКСИД ЦИРКОНИЕВЫХ КОМПАКТОВ С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ НАНОЧАСТИЦ

А. С. Дорошкевич^{1,2}, А. И. Любчик³, Н. С. Тихонова¹, А. С. Захарова^{1,5},
Е. А. Гридина^{1,5}, А. К. Кириллов⁴, Т. А. Василенко⁴, Т. Е. Константинова²,
А. В. Шило², Б. Л. Оксенгендлер⁶, Н. Н. Тураева⁶, Ю. Ю. Бачериков⁷,
И. А. Даниленко², О. А. Горбань²

¹⁾ Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри, 6, 141980
Дубна, Московская область, Российская Федерация, e-mail: doroh@jinr.ru

²⁾ Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАНУ. пр. Науки, 46,
Киев, 03028, Украина, e-mail: art.shylo@gmail.com

³⁾ i3N/CENIMAT, Department of Materials Science, Faculty of Science and Technology,
New University of Lisbon and CEMOP/UNINOVA, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica,
Portugal, e-mail: andrey.lyubchik@campus.fct.unl.pt

⁴⁾ Институт физики горных процессов НАНУ, ул. Симферопольская, д. 15, 49005,
г. Днепр, Украина, e-mail: kirillov1953@inbox.ru

⁵⁾ Университет Дубна, 141982 Дубна, Московская область, ул. Университетская, 19,
Российская Федерация, e-mail: tatyana.zelenyak@bk.ru

⁶⁾ Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова
Академии наук республики Узбекистан, e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru

⁷⁾ Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева. НАН Украины,
проспект Науки, 41, Киев, Украина, 02000, e-mail: yuyui@isp.kiev.ua

Методами спектроскопии электрохимического импеданса исследован контакт однородных разноразмерных гидратированных наночастиц стабилизированного иттрием оксида циркония (YSZ) размером 7,5 и 10 нм в виде компактов, полученных с использованием высокого гидростатического давления. Установлена нелинейная зависимость электрических свойств контакта от потенциала смещения.

Ключевые слова: импедансная спектроскопия; нанопорошковые системы на основе ZrO₂; адсорбция; гетеропереход.