

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$ В СИЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Никитин С.Е.

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук Попков С.И.
ФГБУН Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН
Сибирский федеральный университет

Во всем многообразии удивительных свойств манганитов, начиная с колоссального отрицательного магнитосопротивления, проявляющегося, по всей видимости, из-за фазового расслоения [1-3] на субмикронном масштабе, ярко выделяется эффект релаксации магнетосопротивления [4-6] после воздействия на образец внешним магнитным стационарным и импульсным полями. К классу манганитов обычно относят материалы, имеющие формулу $\text{M}_x\text{A}_x\text{MnO}_3$ ($\text{M}=\text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}\dots$, $\text{A} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Pb}\dots$) и перовскитоподобную структуру. Наличие спин-зарядового и спин-орбитального взаимодействия определяет их богатую (x, H, T)-фазовую диаграмму [1]. Основное состояние замещенных манганитов определяется такими факторами как катионные радиусы атомов в позициях М, а также их разупорядочением [2]. Оно может быть как ферромагнитным металлическим, так и антиферромагнитным с зарядовым упорядочением [3,4]. Изменение основного состояния в манганитах при допировании связано с конкуренцией различных взаимодействий, имеющих очень близкие значения по энергии, что позволяет системе находиться в состоянии фазового расслоения, при котором возможно сосуществование двух фаз с различными магнитными и электронными свойствами. Именно это и позволяет легко менять свойства системы при внешних воздействиях. Воздействие магнитного поля на состояние с фазовым расслоением, по всей вероятности, является причиной эффекта, известного как колоссальное магнетосопротивление (КМС), и многих других весьма интересных эффектов.

В данной работе проведено исследование магнитосопротивления, а также его релаксации при воздействии на монокристаллический образец $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$ импульсным магнитным полем различной величины и длительности. Ранее эффект релаксации магнитосопротивления наблюдался на разных образцах манганитов [3, 8], однако причина возникновения этого эффекта до сих пор остается не выясненной. Целью данной работы было исследовать эффект магнитосопротивления в импульсных магнитных полях различной длительности 10, 16 мсек, в окрестности температуры перехода металл-диэлектрик, классического состава монокристаллического манганита лантана $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$.

Монокристаллический образец $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$ выращивался методом оптической зонной плавки из двух поликристаллических стержней [7], состав которых соответствует составу выращиваемого монокристалла. На полученном образце были проведены рентгено-структурные исследования, а также выполнен рентгено-флюоресцентный анализ. Результаты этих исследований говорят, что получен однофазный монокристаллический образец заданного состава.

Из полученного монокристаллического стержня при помощи алмазной пилы выпиливался образец в виде параллелепипеда с площадью поперечного сечения порядка 1-1.5 мм². Так как образец обладает достаточно низким сопротивлением (~ нескольких Ом), то для повышения регистрируемого сигнала, площадь поперечного сечения уменьшалась примерно до 0,2 мм², что достигалось шлифовкой одной из грани образца. Образец закреплялся на сапфировой подложке при помощи клея БФ-6. Магнитосопротивление образца измерялось стандартным четырехзондовым методом, электрические контакты изготавливались с применением однокомпонентного клея марки Plano G3692 и медных проводов диаметром 0,1 мм.

Исследования магнитосопротивления проводились на установке импульсных магнитных полей Института физики им. Л.В. Киренского. Данная установка, собранная коллективом ученых

Института, позволяет исследовать транспортные и магнитные свойства в импульсных магнитных полях до $H_{\text{макс}} = 400$ кЭ, с различными длительностями импульсного поля. Длительность импульсного поля может варьироваться двумя способами – во-первых, изменением емкости конденсаторной батареи, во-вторых, использованием соленоидов различной индуктивности. На данный момент возможно применение двух медных соленоидов. Первый соленоид (**A**) – биттеровского типа (время импульса – 10 мсек, $H_{\text{макс}} = 400$ кЭ, время достижения максимума магнитного поля 2,5 мсек, второй соленоид (**B**) – индукционного типа (время импульса – 16 мсек, $H_{\text{макс}} = 250$ кЭ, время достижения максимума магнитного поля 7 мсек).

При измерении магнитосопротивления непосредственно перед импульсом магнитного поля на образец подавался постоянный ток 20-30 мА с использованием источника тока Keythley 6220. ВАХ исследуемого образца в этом диапазоне токов линейна, а задание тока в образец непосредственно перед импульсом магнитного поля исключает его разогрев транспортным током. Регистрируемый сигнал с потенциальных контактов образца фиксировался цифровым осциллографом, который запускался синхронно с открытием тиристора в электрической цепи соленоид-конденсаторная батарея.

На рис. 1 приведены полевые зависимости магнитосопротивления исследуемого образца снятые в температурах 190К, 201К, 206К, 210К с использованием соленоида **B**. Данные значения температур лежат в окрестности температуры перехода металл-диэлектрик ($T_{\text{MI}} = 210\text{К}$) для этого образца. На вставке к рис. 1 представлены временные зависимости амплитуды магнитного поля и магнитосопротивления. Необходимо обратить внимание, что за время импульса магнитного поля саморазогрев образца транспортным током отсутствует, что видно из совпадения значений сопротивления в начальный и конечный момент времени импульсного магнитного поля (Рис. 1, вставка). Прямой и обратный ход зависимости $R(H)$ совпадают, насыщение значения магнитосопротивления достигается в полях порядка 50 кЭ.

При использовании соленоида **A** с меньшим временем импульса обнаруживается интересная особенность в поведении временной зависимости магнитосопротивления. На рис. 2 представлены временные зависимости амплитуды магнитного поля (слева) и магнитосопротивления образца (справа) при температуре образца $T=200\text{К}$. Видно, что в момент импульсного магнитного поля наблюдается эффект отрицательного магнитосопротивления, однако после импульсного воздействия остается некоторый уровень сопротивления образца, релаксирующий со временем (20-80 мсек).

Ранее авторами работы [3] при исследовании релаксации поликристаллических пленок манганитов в качестве механизма, отвечающего за возникновение данного эффекта, предлагалось рассмотреть спин зависимый транспорт при туннелировании носителей заряда через антиферромагнитные границы ферромагнитных гранул. Однако в нашем случае наблюдаемая релаксация не может быть объяснена таким механизмом, так как отсутствуют сами границы. В работе [8], при исследовании монокристаллического образца $(\text{La}_{0.5}\text{Eu}_{0.5})_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$, было выдвинуто предположение, что данный эффект вызван изменением соотношения магнитных проводящей и диэлектрической фазы в объеме образца на субмикронных размерах.

На рис. 3 приведены зависимости релаксации магнитосопротивления, снятые при температурах 200К, 205К, 210К, 215К, 220К, на рис. 4 приведены зависимости релаксации магнитосопротивления при температуре $T=200\text{К}$, с различными амплитудами максимального магнитного поля 25, 40, 90, 200 кЭ. Из рис. 3 видно, что максимальный эффект релаксации магнитосопротивления наблюдается в $T=200\text{К}$ и время релаксации уменьшается с ростом температуры до значения температуры $T_{\text{MI}}=210\text{К}$ для данного образца. Выше этой температуры эффект релаксации магнитосопротивления отсутствует, что видно из графиков $T=215; 220\text{К}$ (рис. 3). Как видно из рис. 4, остаточное значение сопротивления после выключения импульсного магнитного поля зависит от максимальной амплитуды этого магнитного поля, однако, как того и следует ожидать, все кривые при различных $H_{\text{макс}}=25, 40, 90, 200$ кЭ выходят на один и тот же начальный уровень сопротивления, т.е. релаксируют примерно за одно и тоже время.

Таким образом, в работе было проведено исследование релаксации магнитосопротивления монокристаллического манганита лантана $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$ в магнитных полях вплоть до 200 кЭ с различными длительностями импульсного воздействия, обнаружен эффект релаксации магнитосопротивления при длительности импульсного магнитного поля 10 мсек. При увеличении длительности импульсного воздействия релаксации магнитосопротивления не наблюдалось. Проведенные исследования дают стимул для дальнейших исследований эффекта релаксации магнитосопротивления в замещенных манганитах лантана с целью установить механизм ее возникновения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-02-31126 мол_а.

Список литературы

1. Deac I.G., et. al. // Phys. Rev. B. (2002) V.65 N.17. P. 1-6.
2. Matsukawa M., et. al. // Phys. Rev. B. (2005) V. 72. N.6. P. 1-5.
3. Balevicius S., et. al. // J. Low Temp. Phys. (1999) V.117. P.1653-1657.
4. Heffner R.H., et. al. // Phys. Rev. Lett. (2000). V. 85. N.15. P.3285-3288.
5. Shaykhutdinov K.A. et. al. // J App. Phys. 2011. V. 109. N.5. P. 0537111-0537116.
6. Volkov N.V. et. al. // JMMM 2007. V. 309. P. 1-6.
7. Попков С.И. и др. // Вестник СибГАУ (2012). вып. 5(45). С. 201-204.
8. Быков А.А. et. al. // Письма в ЖТФ (2012). Т.38. Вып. 23.

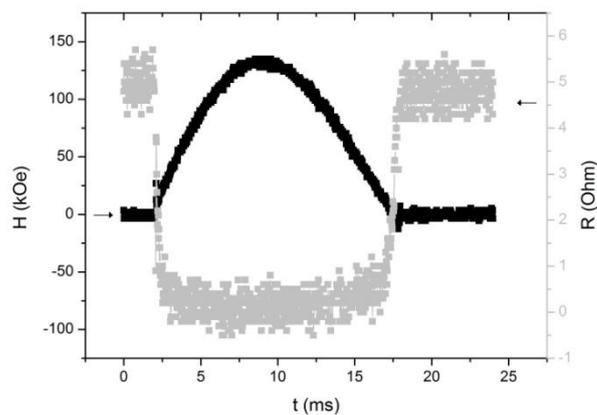
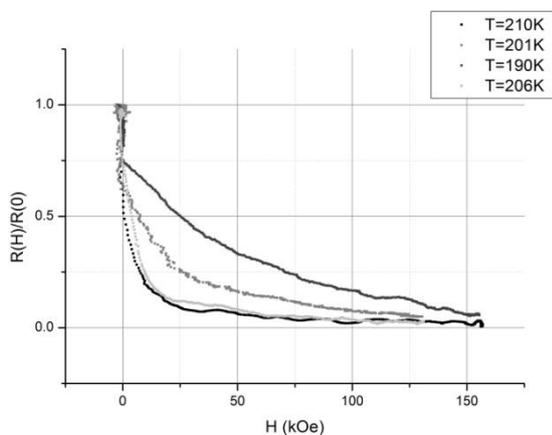


Рисунок 1. Зависимости нормированного сопротивления от магнитного поля при различных температурах $T=190$; 201 ; 206 ; 210K . На вставке – временные зависимости амплитуды магнитного поля соленоида B и магнитосопротивления образца.

Вставка к рисунку 1. Временные зависимости магнитосопротивления и импульсного магнитного поля (соленоид B) от времени. Температура образца $T = 210\text{K}$.

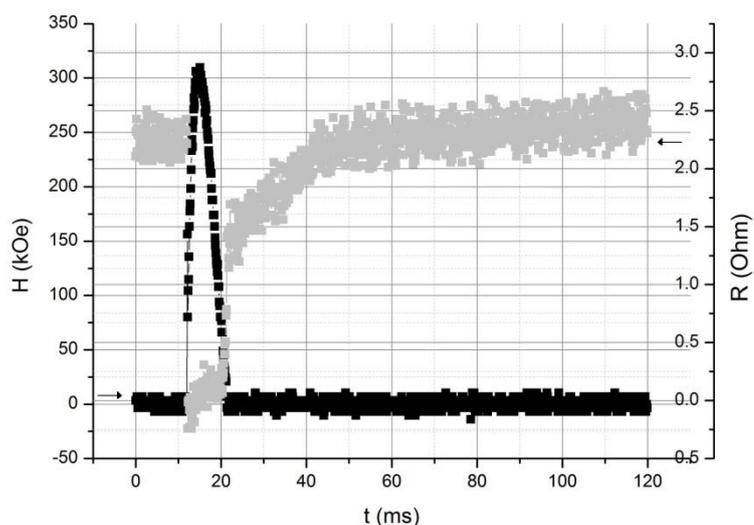


Рисунок 2. Временные зависимости магнитосопротивления и импульсного магнитного поля (соленоид А) от времени. Температура образца $T = 200\text{K}$.

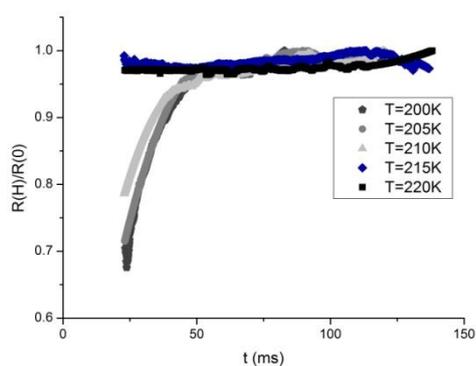


Рисунок 3. Временные зависимости нормированного магнитосопротивления $R(t)$ при различных температурах $T = 200; 205; 210; 215; 220\text{K}$. Представлена только релаксация магнитосопротивления – часть кривой после отключения магнитного поля $H=200\text{ кЭ}$.

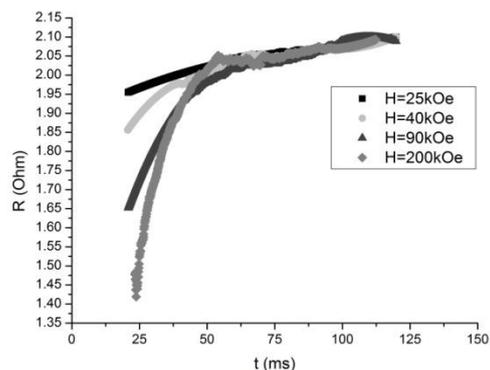


Рисунок 4. Временные зависимости магнитосопротивления $R(t)$ после приложенных импульсных магнитных полей различной амплитуды $H_{\text{макс}}=25; 40; 90; 200\text{K}$ при температуре образца $T = 200\text{K}$. Представлена только релаксация магнитосопротивления – часть кривой после отключения магнитного поля.