

*На правах рукописи*

**Патрин Константин Геннадьевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ  
КРИСТАЛЛОВ МАНГАНИТОВ В СИСТЕМЕ  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$**

**Специальность 01.04.11 – физика магнитных явлений**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени**

**кандидата физико-математических наук**

**Красноярск – 2007**

Работа выполнена в Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Волков Н.В. ИФ СО РАН  
(г. Красноярск)

Официальные оппоненты: д.ф.-м.н. Солин Н. И. ИФМ УрО РАН  
(г. Екатеринбург)  
к.ф.-м.н. Чернов В. К. Сибирский федеральный  
университет (г. Красноярск)

Ведущая организация: Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится « \_\_\_\_ » октября 2007 г. в \_\_\_\_\_ часов в конференц-зале  
главного корпуса ИФ СО РАН на заседании диссертационного совета совете  
Д 003.055.02 по защите диссертаций в Институте физики им. Л.В.  
Киренского СО РАН по адресу: 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50,  
стр. 38.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФ СО РАН

Автореферат разослан « 6 » июля 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физико-математических наук

Втюрин А.Н.

**Актуальность исследований.** Магнитные системы с сильными электронными корреляциями привлекают внимание исследователей по многим причинам. Во-первых, при исследовании этих систем предстоит решать проблемы фундаментального характера, связанные с определением основного состояния. Во-вторых, в этих системах обнаруживаются необычные сочетания физических свойств, и, в-третьих, такого рода соединения оказываются перспективными в плане практических применений. Материалы на основе оксида марганца обладают сменой типа проводимости, которая сопровождается изменением магнитного состояния. Они являются наиболее яркими представителями систем с сильными электронными корреляциями. Наличие в этих материалах сильно взаимодействующих спиновой, зарядовой и орбитальной подсистем определяет богатое разнообразие их свойств. К настоящему времени установлено, что сложное поведение этих систем обусловлено конкуренцией взаимодействий, имеющих близкие величины. При определенных уровнях легирования примесями энергии взаимодействий, определяющие тенденции образования той или иной фазы, становятся сравнимыми, и вопрос об основном состоянии системы оказывается весьма нетривиальным. Предполагается, например, что в данном случае основным может быть неоднородное состояние, типа состояния с фазовым расслоением. Тонкий энергетический баланс является также причиной высокой чувствительности свойств примесных манганитов к внешним воздействиям, таким как температура, внешнее магнитное поле, давление, транспортный ток и др.

При введении редкоземельных ионов в кристалл образуется подсистема с явно выраженными локализованными магнитными моментами, при этом из-за сильной спин-орбитальной связи спиновые и орбитальные степени свободы оказываются взаимосвязаны. Таким образом, возникает дополнительный канал управления рассеянием электронов проводимости, в конечном счете все это сказывается на особенностях транспортных свойств.

В настоящей работе речь пойдет об исследовании взаимосвязи магнитных и электрических свойств кристаллов манганитов, легированных ионами редких земель и их чувствительности к воздействию транспортного тока и электромагнитного излучения СВЧ диапазона. При этом один из главных аспектов – изучение условий возникновения состояния с фазовым расслоением и влияния редкоземельных ионов на электронную структуру в кристаллах манганита. Интересным моментом здесь является и то, что наличие конкуренции взаимодействий приводит к возникновению неоднородных состояний в реальных кристаллах манганитов. Сильная чувствительность такого состояния с фазовым расслоением к внешним возмущениям (транспортный ток, магнитное поле) является причиной необычных наблюдаемых магниторезистивных эффектов и нелинейных электрических транспортных свойств.

Именно изучению новых кристаллов манганитов состава  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  ( $0 < y < 1$ ), проявляющих эффект колоссального магнитосопротивления, посвящено настоящее исследование.

**Цель работы.** Целью данной работы явилось изучение магнитных, электрических свойств кристаллов манганита  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$ , и их взаимосвязи, в зависимости от концентрации легирующей примеси и внешних условий. Значительное внимание уделено установлению границ существования магнитного фазового расслоения и исследованию динамического поведения системы в условиях пропускания транспортного тока и электромагнитного СВЧ облучения.

**Научная новизна.** При исследовании физических свойств, кристаллов манганита, получены следующие результаты:

1. Проведено комплексное исследование магнитных, резонансных и транспортных свойств, впервые синтезированных кристаллов манганитов состава  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$ . При изучении фазовой неоднородности в манганитах впервые использован метод исследования частотно-полевых зависимостей спектров магнитного резонанса. Это позволило

непосредственно установить, что в области температуры магнитного фазового перехода, где наблюдается эффект колоссального магнитосопротивления, реализуется состояние с магнитным фазовым расслоением.

2. Обнаружен и исследован эффект индуцирования магнитным резонансным СВЧ поглощением изменений в электрической проводимости монокристалла манганита. Показано, что ключевую роль в механизме изменения проводимости играет состояние фазового расслоения, реализующееся в образце.

3. Впервые обнаружено и экспериментально изучено влияние транспортного тока на спектр магнитного резонанса в монокристаллах манганита.

**Практическая ценность.** Результаты исследований позволяют расширить представления о природе магнитных взаимодействий и особенностях формирования магнитного состояния в магнитоупорядоченных кристаллах манганитов. В частности, они позволяют глубже понять механизмы изменения магнитных свойств при легировании материалов, что, в свою очередь, дает возможность целенаправленно получать материалы с заданными свойствами.

Основные надежды на применение манганитов связаны с эффектом колоссального магнитосопротивления, который может служить основой при создании магнитоуправляемых устройств электроники для целей записи, хранения и обработки информации, а также в сенсорах. Изучение взаимосвязи магнитных и электрических свойств кристаллов манганитов направлено на поиск новых эффектов и создание новых электронных элементов, управляемых не только магнитным полем, но и другими внешними воздействиями, например, транспортным током или электромагнитным излучением.

Еще одно из прикладных направлений может быть связано с разработкой устройств спинтроники. Высокая спиновая поляризация

носителей заряда в этих материалах позволяет надеяться на успешное их применение в качестве источников поляризованных электронов, эмитируемых в магнитные гетероструктуры. Очевидно, что все работы, направленные на выяснение механизмов электронного транспорта в манганитах и магнитных структурах на их основе, остаются востребованными.

**Апробация работы.** Материалы диссертации были представлены на:

- V Всероссийской научной конференции «Решетневские чтения» (г. Красноярск, 2001 г.);
- XL Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс. Физика» (г. Новосибирск, 2002 г.);
- XVIII, XIX и XX международных школах-семинарах «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (г. Москва, 2002, 2004, 2006 г.г.);
- Московском международном симпозиуме по магнетизму, «MISM» (г. Москва, 2002, 2005 г.г.);
- Международной конференции «Функциональные материалы» «ICFM-2003», (Крым, Украина, 2003 г.);
- Международной конференции Европейского Материаловедческого Общества, «EMRS-Fall Meeting» (г. Варшава, Польша, 2003 г.);
- Международной конференции по магнетизму (г. Рим, Италия, 2003 г.)
- Евро-Азиатском симпозиуме «Прогресс в магнетизме» «EASTMAG-2004» (г. Красноярск, 2004 г.);
- 34<sup>OM</sup> Всероссийском совещании по физике низких температур, «ФНТ-34» (г. Сочи, 2006 г.).

## **ПУБЛИКАЦИИ**

По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ в центральных научных журналах.

## **СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем составляет 101 страниц, включая 49 рисунков. Список цитированной литературы состоит из 96 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи работы. Приведены основные положения, выносимые на защиту. Рассмотрена научная и практическая значимость работы.

**Первая глава** диссертации содержит описание теоретических и экспериментальных данных, касающихся марганцевых оксидов, хорошо известных как манганиты. Очевидно, что раскрыть все аспекты проблем в обзоре ограниченного объема невозможно. Поэтому основное внимание уделено последним теоретическим и экспериментальным работам, посвящённым изучению сложных фаз в манганитах со спиновым, зарядовым и орбитальным упорядочением.

Вопросы, рассматриваемые в первой главе, выбирались из соображений их близости к экспериментальному и теоретическому материалу, обсуждаемому в оригинальной части работы. Так, основное внимание было уделено вопросам влияния примесей на магнитные и транспортные свойства манганитов. На этих примерах можно наблюдать, как при увеличении концентрации и варьировании сорта примесных атомов происходит перестройка кристаллографической структуры, энергетической

электронной структуры материалов, и, как следствие, изменение отклика на внешние воздействия.

**Вторая глава** диссертации содержит описание экспериментальных установок, использованных при исследованиях, технология получения и приготовления образцов.

Большое внимание в диссертации уделено разработке экспериментальных установок и технике эксперимента. Это обусловлено выбором объектов изучения и исследуемых характеристик. Для решения поставленных задач были использованы следующие установки: во-первых, универсальная установка для измерения электрических характеристик твердых тел; во-вторых, установка для исследования спектров магнитного резонанса; в-третьих, особое внимание было уделено разработке и созданию экспериментальных методик, которые позволяют проводить исследования методами, использующими комбинированное воздействие на исследуемые объекты.

Характерной особенностью методов с комбинированным воздействием является то, что исследуемая система находится в поле двух электромагнитных излучений различных диапазонов. Одно из излучений является зондирующим и несет информацию о состоянии системы. Второе излучение служит для возмущения системы. По реакции системы на возмущение, по характеру ее релаксации в основное состояние можно судить о ее внутренней структуре, существующих в ней взаимодействиях и конкретных механизмах взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.

Для решения подобных задач был модернизирован спектрометр магнитного резонанса, обладающий широким набором функциональных возможностей. Автором были сконструированы и созданы вставка для проведения направленных исследований и система температурной стабилизации. Экспериментальная установка позволяет проводить исследования, основанные на детектировании отклика системы при

комбинированном воздействии. Так, реализованы схемы детектирования магнитного резонанса по изменению проводимости образца и изменение спектра магнитного резонанса при воздействии транспортного тока. В спектрометре магнитного резонанса применены конструкция перестраиваемого СВЧ генератора, с системой автоматической подстройки частоты, импульсным питанием и другие оригинальные технические решения. Основные характеристики спектрометра: СВЧ диапазон – 10÷40 ГГц, диапазон магнитных полей – 0÷12 кЭ, температурный диапазон – 4.2÷350 К.

**Третья глава** посвящена изложению оригинальных результатов по исследованию кристаллов манганитов  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$ . Необычные магнитные и электрические свойства кристаллов  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  обусловлены конкурирующими взаимодействиями, которые могут меняться в зависимости от концентрации примесных ионов. Так, одной из важнейших особенностей манганитов является магнитное фазовое расслоение, в результате чего в подобных материалах образуются неоднородные состояния. Причем, эти неоднородные состояния не связаны напрямую с химической неоднородностью материалов, а возникают в результате образования в кристалле либо областей (фаз) с различной электронной плотностью, либо областей с одинаковой электронной плотностью, но отличающихся степенью локализации носителей заряда.

Принципиальным является то обстоятельство, что состояние с магнитным фазовым расслоением оказывается очень чувствительным к внешним воздействиям, и, таким образом, появляется уникальная возможность управления неоднородным состоянием (а через него магнитными и электрическими свойствами) материалов при помощи магнитного поля, температуры, электромагнитного излучения и транспортного тока.

Все обсуждаемые в настоящее время сценарии фазового расслоения в манганитах предполагают различные магнитные состояния сосуществующих фаз. Поэтому при исследованиях использовались методы магнитометрии и электронного магнитного резонанса как эффективные инструменты исследования фазового расслоения в манганитах.

Прежде всего, для кристаллов  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  были проведены исследования температурных зависимостей намагниченности, как при высоких, так и при низких температурах. Из высокотемпературных зависимостей обратной магнитной восприимчивости были получены эффективные значения магнитных моментов  $\mu_{eff}$ , приходящихся на магнитный ион, и постоянной  $\theta$ . Установлено, что с увеличением содержания ионов европия значение  $\mu_{eff}$  увеличивается, а значение  $\theta$  уменьшается. Эти данные объясняются влиянием магнетизма примесных ионов  $Eu^{3+}$ , возникающего за счет примешивания к основному уровню  ${}^7F_0$  более высоко лежащих уровней. Температура магнитного перехода ( $T_C$ ), для каждого образца, определялась как температура, при которой величина  $|dM(T)/dT|$  принимает максимальное значение. Для  $y = 0, 0.2, 0.4, 0.6$ , были получены значения  $T_C$  353, 320, 242 и 119 К, соответственно. Также для образцов с  $y = 0, 0.2, 0.4$  и  $0.6$  были проведены низкотемпературные измерения намагниченности в разных режимах. На рис. 1 представлены результаты измерений, как при охлаждении в поле  $H=50$  Ое (FC), так и при охлаждении без поля (ZFC). Видно, что с увеличением  $y$ , кривые намагниченности демонстрируют сложное поведение, и такое поведение намагниченности указывает на неоднородность магнитного состояния, в частности на то, что реализуется состояние подобное спин-стекольному.

Таким образом, магнитостатические данные показывают, что увеличение содержания ионов Eu в соединении  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  ведет к их заметному влиянию на магнитное состояние, как выше, так и ниже температуры магнитного фазового перехода.

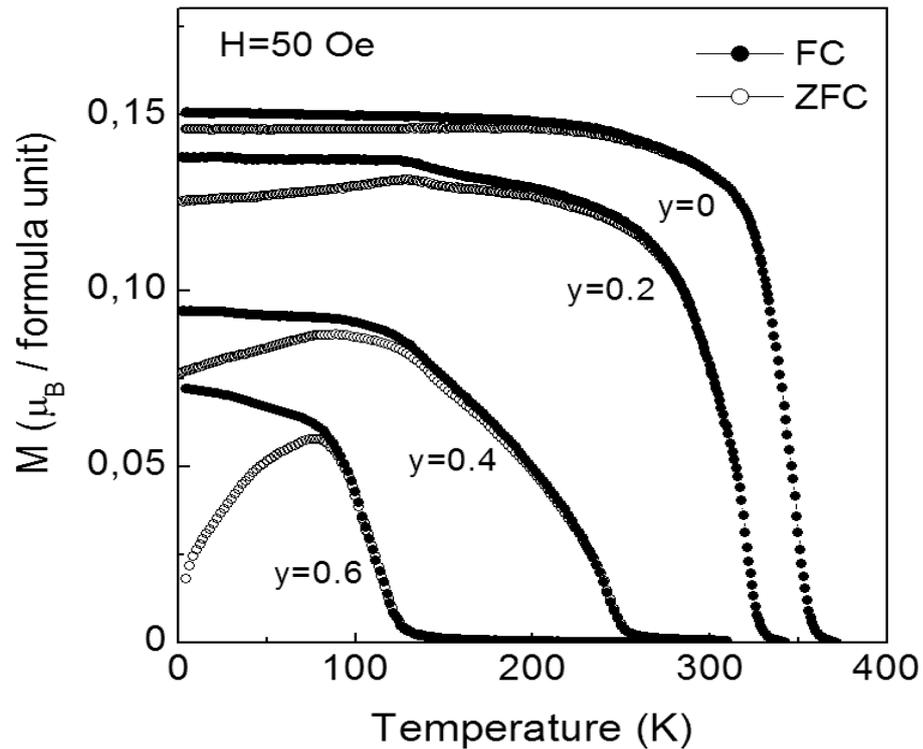


Рис. 1. Температурные зависимости намагниченности монокристаллов  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  в магнитном поле  $H = 50$  Oe (FC) и без поля (ZFC).

Известно, что для нелегированных соединений манганитов основным фактором, определяющим электрическое и магнитное поведение в манганитах, при фиксированной концентрации дырок является средний ионный радиус катиона, находящегося в А позиции. В тоже время из-за структурного беспорядка различие размеров разных катионов, расположенных в А позиции, вызывает локальные структурные искажения, случайно распределенные в объеме образца, и приводит к значительному изменению длины и угла Mn-O-Mn связей. Это может служить причиной магнитного фазового расслоения в микрометровом масштабе, что и наблюдается в манганитах из-за случайного распределения конкурирующих ФМ и АФМ обменных взаимодействий. Также известно, что в оксидных соединениях обмен между редкоземельными и 3d-ионами имеет антиферромагнитный характер, а это значит, что могут существовать «мостики» с фрустрированными связями. В любом случае – или из-за разброса локальных полей анизотропии, или конкуренции обменов –

возможна реализация состояния, подобного спин-стеклольному. В больших магнитных полях эти эффекты подавляются, и система ведет себя как классический ферромагнетик.

Поскольку столь значительное внимание к манганитам обусловлено эффектом КМС, то наряду с магнитными свойствами были исследованы закономерности изменения электрического сопротивления, как при варьировании температуры и магнитного поля, так и при изменении уровня легирования кристаллов ионами Eu.

Температурные зависимости удельного электросопротивления для кристаллов  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  с  $y = 0, 0.2, 0.4, 0.6$  представлены на рис. 2а. Видно, что при замещении ионов La ионами Eu транспортные свойства меняются весьма значительно. Так, величина магнитосопротивления  $\Delta\rho/\rho_0$  растет с увеличением  $y$  и достигает своего максимума в 96% при  $y=0.6$  в магнитном поле  $H=50$  kOe (рис. 2б).

Эти экспериментальные результаты объясняются в рамках подхода неоднородных проводников. Как правило, в легированных манганитах, переход металл-диэлектрик проявляется при довольно высоких температурах, а высокотемпературная проводимость носит поляронный характер. В наших образцах при высокой температуре поведение  $\rho(T)$  хорошо согласуется с моделью малых поляронных прыжков. Эта модель предсказывает, что поведение проводимости будет описываться следующей зависимостью  $\rho = VT \exp(E_g/k_B T)$ , где  $V$  - температурно-независимый коэффициент,  $E_g$  - энергии активации и  $k_B$  - постоянная Больцмана. Анализ кривых  $\ln(\rho/T)$  для  $y=0.6$  показывает, что при  $T_f=80$  К меняется механизм проводимости относительно комнатных температур. На самом деле поведение проводимости в температурном диапазоне  $T < T_f$  хорошо описывается моделью Моттовских прыжков. Исходя из этой модели, поведение проводимости для  $y=0.6$  должно иметь следующую зависимость  $\rho(T) = \rho_0 \exp\left[\left(T_0/T\right)^{1/4}\right]$ , где  $\rho_0$  предэкспоненциальная константа,  $T_0$  связана с

плотностью электронных состояний на уровне Ферми. Такое поведение сопротивления является типичным для разупорядоченных и топологически неоднородных сред.

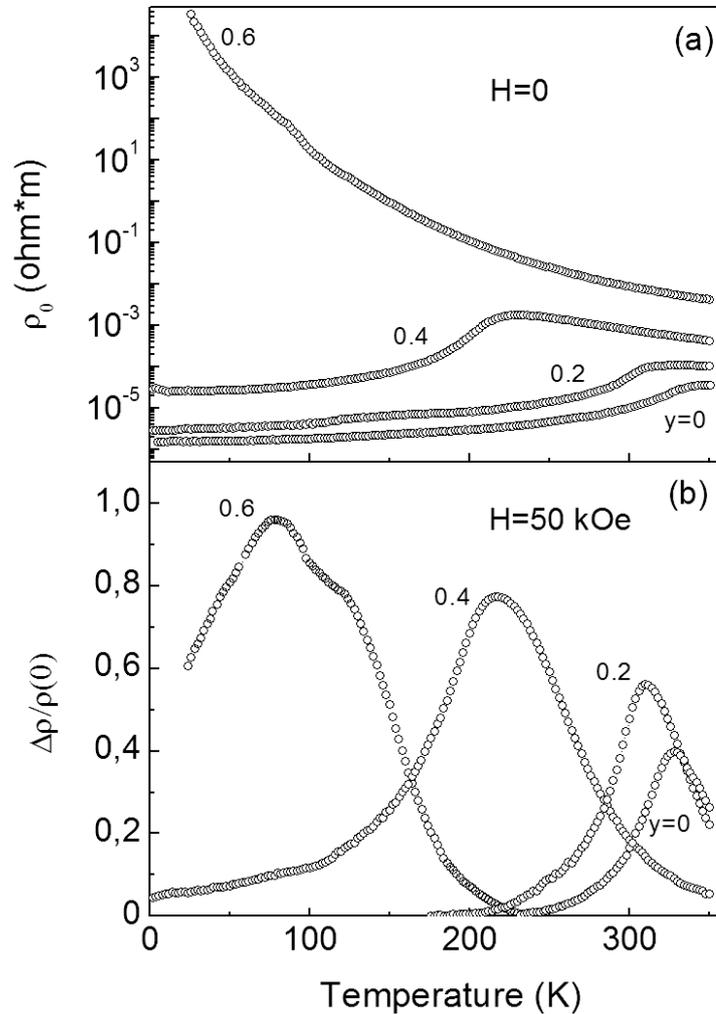


Рис. 2. Температурные зависимости: (a) – удельного электросопротивления, (b) – магнитосопротивления

Еще одним фактом, указывающим на неоднородность нашего образца, является нелинейное поведение транспортных свойств. Так в области температур, где наблюдается эффект КМС, наблюдается нелинейная вольт-амперная зависимость, причем нелинейный характер наблюдается вплоть до полей  $H=30$  кОе. Стоит отметить, что с увеличением поля не только меняется величина проводимости, но и характер нелинейности, а это может указывать на неоднородность нашего образца.

Поскольку эффект КМС обусловлен магнитным фазовым расслоением, то весьма информативным здесь может оказаться применение метода магнитного резонанса, так как спектры магнитного резонанса очень чувствительны к магнитной неоднородности образцов. Не стоит забывать, что любой из обсуждаемых в настоящее время сценариев фазового расслоения подразумевает, что сосуществующие фазы находятся в различном магнитном состоянии.

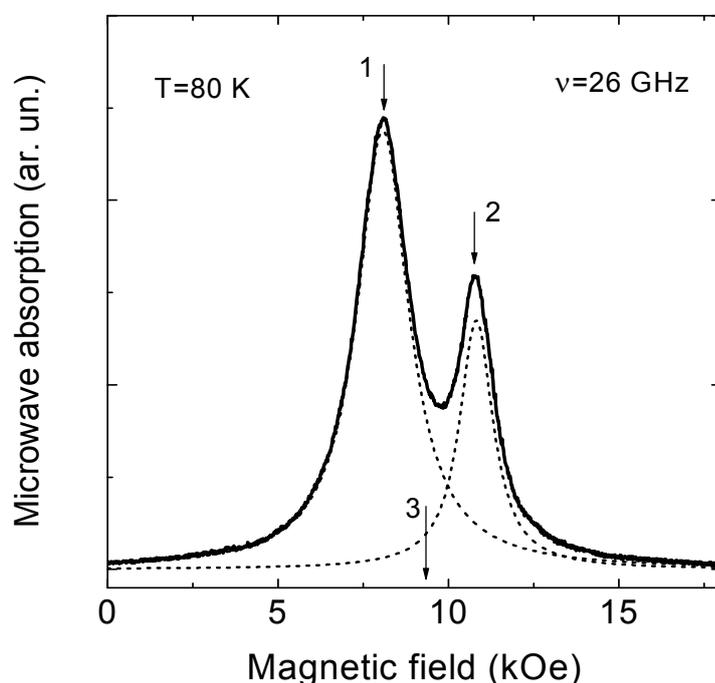


Рис. 3. Спектр магнитного резонанса,  $\nu=26$  ГГц, и наилучшая его подгонка Лоренцевскими (1 и 2) линиями поглощения; 3 - позиция линии, ожидаемая для однородного изотропного ферромагнетика

На кристаллах  $(\text{La}_{0,4}\text{Eu}_{0,6})_{0,7}\text{Pb}_{0,3}\text{MnO}_3$  были проведены магниторезонансные исследования. Для анализа экспериментальных спектров кристалла  $(\text{La}_{0,4}\text{Eu}_{0,6})_{0,7}\text{Pb}_{0,3}\text{MnO}_3$ , записанных на частоте 26 ГГц, использовалась процедура подгонки лоренцевскими линиями. Рис. 3 демонстрирует типичный спектр магнитного резонанса кристалла, записанный при температуре 80 К. В спектре магнитного резонанса при понижении температуры уверенно регистрируются две линии поглощения,

начиная с  $T \sim 220$  К, что близко к температуре, где появляются аномалии в поведении транспортных свойств кристалла. Две линии соответствуют магнитнорезонансному поглощению в двух различных фазах, сосуществующих в объеме образца, это же подтверждают измерения частотно-полевых зависимостей (рис. 4).

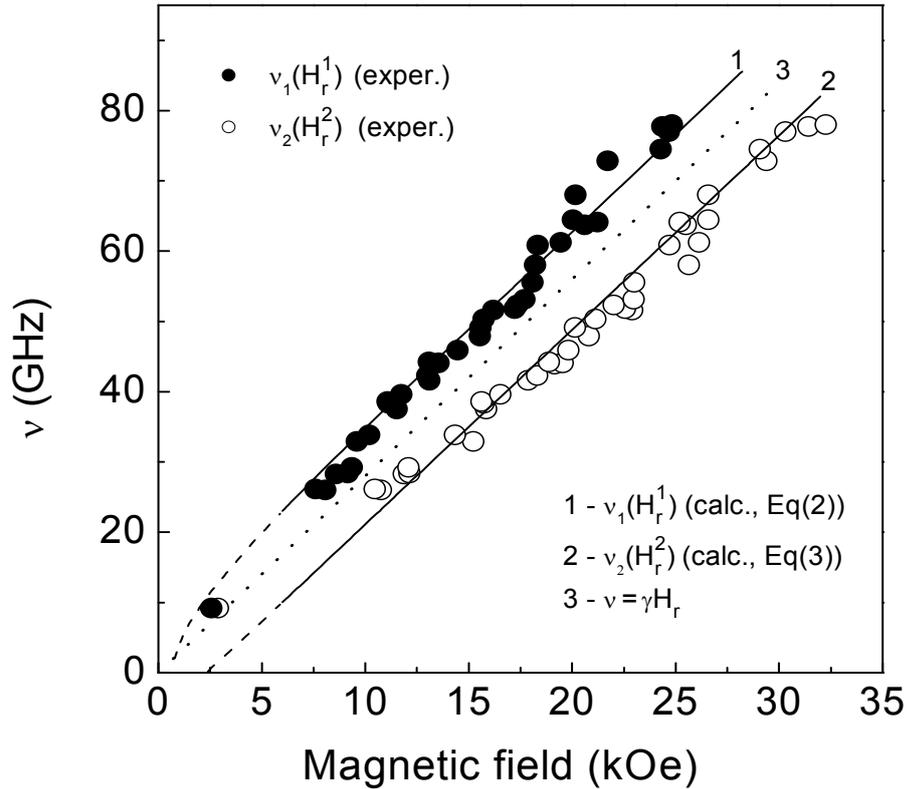


Рис. 4. Частотно-полевые зависимости для двух линий поглощения. Символы - эксперимент, линии - модельный расчет.

В линейном приближении резонансные условия для обеих фаз даются следующими соотношениями:

$$\left(\frac{\nu_1}{\gamma}\right)^2 \approx (H_r^1 + (1+x)J_{eff}M_2)(H_r^1 + (1+x)J_{eff}M_2 + 4\pi M_1) \quad (1),$$

$$\frac{\nu_2}{\gamma} \approx H_r^2 + \left(\frac{1+x}{x}\right)J_{eff}M_1 \quad (2),$$

где  $\gamma$  - гиромагнитное отношение,  $H_r^1$  и  $H_r^2$  – резонансные поля линий поглощения различных фаз.

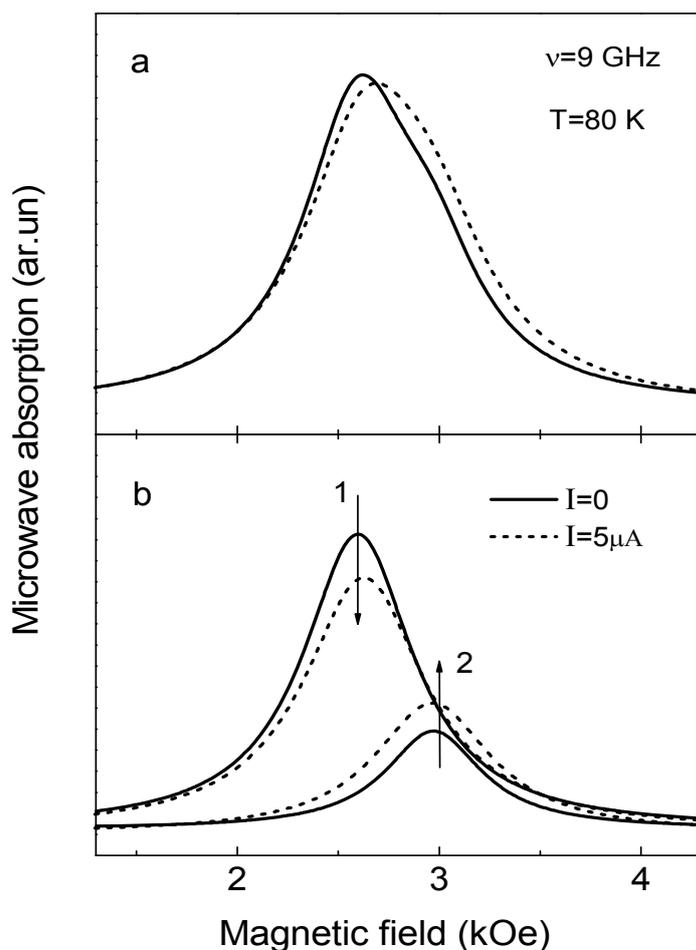


Рис. 5. (а) – Спектр магнитного резонанса, записанный при пропускании постоянного тока (пунктирная линия) и без тока, (б) – соответствующие изменения линий поглощения для обеих фаз, стрелками указано уменьшение и увеличение интенсивностей линий поглощения основной и меньшей фаз.

Также исследовался спектр магнитного резонанса при пропускании постоянного тока через образец. При этом использовалось СВЧ излучение на частоте 9 GHz, поскольку в этом случае спектр поглощения наблюдается в низких полях ( $H_r^1, H_r^2 < 3 \text{ kOe}$ ). Рис. 5 показывает, как постоянный ток влияет на спектр магнитного резонанса. Увеличение тока приводит к увеличению доли нарождающейся (проводящей) фазы, в то время как доля основной фазы уменьшается. Такое поведение указывает на то, что ток вызывает увеличение объема более проводящей фазы в образце.

Следует упомянуть результаты исследований, проведенных при изучении изменения проводимости манганита  $\text{Eu}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  при магнитном резонансе в области фазового перехода, где наблюдается смешанное

двухфазное ферромагнитно–парамагнитное состояние. В данном случае резонансная СВЧ накачка выступает в роли инструмента, который позволяет селективно возмущать одну из сосуществующих магнитных фаз в системе.

Данные эксперимента показывают, что наблюдается корреляция в температурных зависимостях величины СВЧ индуцированного эффекта и поведения магнитосопротивления. Ранее обсуждалось, что поведение интенсивностей линий поглощения в спектрах магнитного резонанса парамагнитной и ферромагнитной фаз отражает их эволюцию в образце при изменении температуры и внешнего магнитного поля. Данные наших работ однозначно показывают, что изменение проводимости, индуцированное магнитным резонансным поглощением, имеет место только тогда, когда в спектре одновременно наблюдаются линии парамагнитной и ферромагнитной фаз, т. е. когда образец находится в двухфазном состоянии.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ РАБОТЫ**

1. Сконструирован и изготовлен автоматизированный блок для измерения электрических и магниторезистивных параметров широкого круга магнитных материалов (от «плохих» полупроводников  $\rho \sim 4 \cdot 10^5 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$  до металлов  $\rho \sim 1 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ ) в температурном диапазоне  $T = 4.2 - 300 \text{ K}$  и в области магнитных полей  $H = 0 - 12 \text{ kOe}$ .
2. Проведены исследования магнитных свойств кристаллов  $(\text{La}_{1-y}\text{Eu}_y)_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  в зависимости от температуры, магнитных полей при разных концентрациях легирующей примеси Eu. Установлено, что введение ионов европия существенно влияет на температуру магнитного перехода (от  $T_C = 370 \text{ K}$  для  $y = 0$ , до  $T_C = 119 \text{ K}$  при  $y = 0.6$ ). Из анализа высокотемпературных зависимостей намагниченности следует, что примесные ионы Eu дают небольшой вклад в намагниченность системы и гораздо сильнее влияют на обменное взаимодействие. Низкополевые зависимости в магнитоупорядоченной области указывают на существование

спин-стекольного состояния, возникающего вследствие появления конкурирующих взаимодействий.

**3.** Установлено, что характер электрической проводимости кристаллов  $(La_{1-y}Eu_y)_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  меняется от металлического при  $y = 0$  до полупроводникового при  $y = 0.6$ . В области магнитного перехода имеет место эффект колоссального магнитосопротивления (КМС). Его величина и температурная область существования увеличиваются при увеличении содержания европия в интервале  $y = 0 - 0.6$  и далее уменьшаются при увеличении  $y$ . В интервале температур, где наблюдается эффект КМС, регистрируются нелинейные вольт-амперные характеристики, причем характер нелинейности зависит от величины магнитного поля и наблюдается при  $H < 30$  кОе. Все эти факты являются косвенным указанием на существование магнитного фазового расслоения.

**4.** Методом электронного магнитного резонанса получено прямое доказательство существования эффекта магнитного фазового расслоения. В области магнитного перехода, там же, где имеет место эффект магнитосопротивления и наблюдаются нелинейные электрические свойства, одновременно наблюдаются сигналы магнитного резонанса, присущие различным магнитным фазам. Изучение частотно-полевых зависимостей линий поглощения магнитного резонанса впервые использовано для анализа эволюции двухфазного состояния. По изменению отношения интенсивностей линий магнитного резонанса показано, что происходит изменение объема фаз, как в зависимости от температуры, так и от величины магнитного поля.

**5.** При пропускании постоянного тока через образец  $(La_{0.4}Eu_{0.6})_{0.7}Pb_{0.3}MnO_3$  обнаружено его влияние на спектр магнитного резонанса. Установлено, что увеличение тока приводит к увеличению объема более проводящей фазы в объеме образца. Таким образом, появляется возможность управлять электрическими свойствами кристаллов манганитов посредством внешних воздействий.

6. Впервые в объемных кристаллах манганита  $\text{Eu}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  обнаружено влияние СВЧ облучения на соотношение фаз. Установлено, что в области существования КМС при развертке магнитного поля на фоне кривой  $\rho(H)$  при включении СВЧ накачки происходит ее искажение, по форме подобное линии электронного магнитного резонанса. Величина индуцированного изменения зависит от величины тока измерения. Показано, что эффект не связан с тривиальным нагревом, а имеет место СВЧ индуцированное изменение соотношения пара- и ферромагнитной фаз.

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Volkov N.V., Petrakovskii G.A., Vasiliev V.N., Sablina K.A., Velikanov D.A., Patrin K.G., Observation of mixed two-phase state in  $\text{Eu}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  single crystal by magnetic resonance method, *Physica B*, 2002, V.324, P.254-260
2. Volkov N.V., Petrakovskii G.A., Vasiliev V.N., Sablina K.A., Patrin K.G., Magnetic resonance probe of the phase separation in  $\text{Eu}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  single crystal, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2003 V.258-259C, P.302-305
3. Volkov N.V., Petrakovskii G.A., Sablina K.A., Patrin K.G., Probing the phase separation in the doped manganites by the magnetic resonance method, *Acta Physica Polonica*, 2004, v.105, p.69
4. Volkov N., Petrakovskii G., Vasiliev V., Sablina K., Böni P., Clementyev E., Patin K., Magnetic and transport properties of  $(\text{La}_{0.4}\text{Eu}_{0.6})_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  single crystal: The key role of intrinsic inhomogeneity, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2005 V.300, P.179-182
5. Volkov N.V., Petrakovskii G.A., Patrin K.G., Vasiliev V.N., Sablina K.A., Vasiliev A., Eremin E.V., Molokeev M., Intrinsic inhomogeneity in a  $(\text{La}_{0.4}\text{Eu}_{0.6})_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  single crystal: Magnetization, transport and electron magnetic resonance studies, *Physical Review B*, 2006, V73, 104401
6. Volkov N., Petrakovskii G., Böni P., Clementyev E., Patin K., Sablina K., Velikanov D.A., Vasiliev V.N., Intrinsic magnetic inhomogeneity of Eu substituted  $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$  single crystals, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2007 V.309, P.1-6

---

Подписано к печати 26.06.2007

Формат 60×84/16 Тираж 70 экз., у. –п.л.:1,1. Заказ № 38  
Отпечатано в типографии Института Физики СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, ИФ СО РАН