

12. Мазуренко А. М., Урбанович В. С., Кучинский В. М. Устройство высокого давления для спекания керамики на основе тугоплавких соединений // Вестн АНБ. Сер. физ.-техн. наук. 1994. № 1. С. 42–45.
13. Van der Pauw L.J. A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effect of Discs of Arbitrary Shape. // Philips Res. Repts. 1958. Vol. 13. № 1. P. 1–9.
14. Кунис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. – М.: Радио и связь, 1996. С. 16–18.
15. Кислый П. С., Кузенкова М. А. Спекание тугоплавких соединений. Киев: Наукова думка, 1980. 168 с.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ В МАНГАНИТАХ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

В. А. Доросинец, С. Д. Шварков

Белорусский государственный университет, dorosinets@bsu.by

1. ВВЕДЕНИЕ

Сильное взаимодействие между зарядовой, орбитальной, решеточной и спиновой степенями свободы в манганитах обуславливает существование в них огромного количества разнообразных фаз, кардинально отличающихся по величине и характеру электропроводности, магнитным и оптическим свойствам. Эта особенность обуславливает перспективность манганитов для создания элементов магниторезистивной памяти, магнитооптических и магнитоэлектрических приборов, компонентов оптических датчиков в далекой инфракрасной и терагерцовой области. В настоящее время наибольшее практическое применение нашел эффект колоссального магнитосопротивления (КМС), наблюдающийся для определенного класса манганитов. Эффект КМС состоит в изменении в десятки и сотни раз сопротивления образцов при приложении магнитного поля.

Манганиты представляют собой соединения типа $T_{1-x}D_x\text{MnO}_3$, где T – трехвалентный редкоземельный элемент (как правило, лантан, ниобий или празеодимий), а D – двухвалентный щелочной металл (кальций, стронций, барий). Манганиты имеют перовскитоподобную структуру кристаллической решетки, в которой каждый ион марганца окружен октаэдром из атомов кислорода [1].

В данной работе нами исследовались пленки манганитов состава $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$, выращенные на подложке SrTiO_3 . Такое соотношение атомов лантана и кальция обеспечивает наиболее высокую температуру проявления эффекта КМС.

Электрические свойства манганитов тесно связаны с характером магнитного упорядочения в них. В настоящее время существуют предположения, что основным явлением, вызывающим эффект КМС, является фазовый распад, приводящий к образованию и сосуществованию кластеров с ферромагнитным, антиферромагнитным и парамагнитным типами магнитного упорядочения [2]. Данный процесс должен зависеть от наличия дефектов и механических деформаций.

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния механических напряжений, вызванных рассогласованием постоянных кристаллических решеток пленки и подложки, на электропроводность пленок $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ и моделирование процессов магнитного упорядочения и результирующей перколяционной проводимости.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерение сопротивления образцов проводилось с помощью криогенной установки Cryogenics, которая позволяет варьировать температуру образца в интервале от 1.7 К до 300 К, а также создавать магнитные поля до 8 Тл. Магнитное поле прикладывалось параллельно плоскости образца.

На рисунке 1 представлен график зависимости сопротивления от температуры в отсутствие внешнего магнитного поля. На нем можно выделить три характерных участка.

При температурах выше 130 К манганит упорядочен парамагнитно и ведет себя как полупроводник. При понижении температуры от 130 К до 40 К сопротивление образца понижается. Этот процесс сопровождается и неразрывно связан с одновременным упорядочением ориентации

спинов e_g -электронов ионов марганца Mn^{3+} , приводящим к переходу из парамагнитного состояния манганита в ферромагнитное состояние. В этой области температур проводимость носит сложный характер, так как в материале одновременно могут существовать ферромагнитные, антиферромагнитные и парамагнитные кластеры [2].

Приложение магнитного поля в области температур фазового перехода приводит к упорядочению спинов электронов и, как следствие, к резкому падению сопротивления образцов.

Третий участок — это область температур от 40 К до 1.7 К. На этом участке образец магнитно упорядочен и представляет собой ферромагнитный металл, поэтому проводимость материала обуславливается в основном механизмом двойного обмена между атомами марганца.

Для подтверждения предположения о наличии фазового распада в магнитной подсистеме в широкой области температур нами были измерены зависимости сопротивления образца от магнитного поля при различных температурах (рис. 2). Видно, что в пленках $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ наблюдается эффект КМС, достигающий максимального значения в температурной области около 130 К,

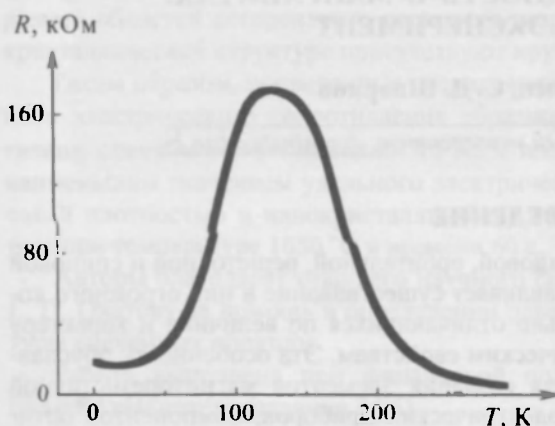


Рис. 1. Зависимость сопротивления $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ от температуры. $B = 0$ Тл

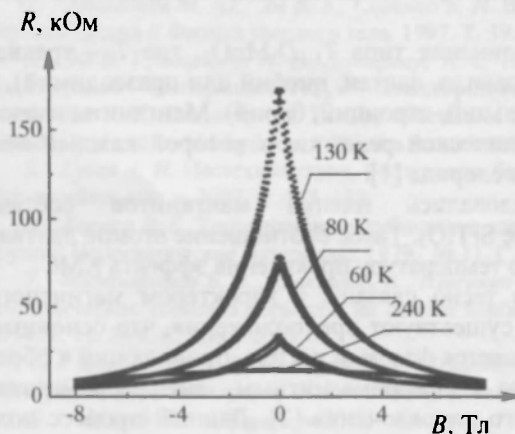


Рис. 2. Зависимость сопротивления пленок $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ от приложенного магнитного поля при различных значениях температуры. На сносках указаны температуры проведения измерения

где сопротивление изменяется более чем в двадцать раз при приложении магнитного поля с величиной магнитной индукции 8 Тл. В то же время с уменьшением температуры магниторезистивный эффект уменьшается, что указывает на исчезновение фазового распада и переход к ферромагнитному упорядочению.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕТКИ И РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для расчета зависимости сопротивления от температуры и от магнитного поля, нами предварительно проводилось моделирование процесса магнитного упорядочения при различных значениях температуры и магнитного поля. Наибольшее внимание уделялось области температур от 40 К до 130 К, для которой характерно сосуществование кластеров с различным характером магнитного упорядочения.

Для исследования переходных процессов в настоящее время широко применяются методы математического моделирования, основанные на методе Монте-Карло [3]. В нашей работе мы создали комплекс программ для описания поведения спиновых систем вблизи точки Кюри в рамках модели Изинга с использованием алгоритма Метрополиса. Микроскопические модели Изинга широко используются для описания спиновых систем с ферромагнитным взаимодействием и дают хорошие результаты при исследовании критических явлений.

В структурах типа $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ спиновое упорядочение протекает в подсистеме атомов марганца. Так как данный материал имеет слоистую структуру, то взаимодействия спинов, находящихся в различных слоях подрешетки, можно считать незначительным по сравнению с взаимодействиями между спинами, принадлежащими одному слою. Каждый слой представляет собой двумерную квадратную решетку, поэтому в нашем случае можно ограничиться рассмотрением процессов магнитного взаимодействия в двумерной квадратной решетке.

Существование механических напряжений в пленке учитывалось введением в решетку случайно выбранных узлов, для которых характерно антиферромагнитное взаимодействие с соседними узлами, что стимулирует образование антиферромагнитных или парамагнитных кластеров [4]. Такую модификацию модели Изинга называют моделью Изинга с замороженным беспорядком. Увеличение концентрации узлов с особым поведением соответствует росту механических напряжений в пленках.

Расчеты действительно показывают наличие процесса фазового распада в широкой области температур, приводящего к образованию ферромагнитных, антиферромагнитных и парамагнитных кластеров. Картина разбиения решетки на кластеры для заданных значений температуры и магнитной индукции использовалась затем для расчета удельного сопротивления в рамках перколяционной модели. Нами учитывалось, что протекание тока происходит только по системе парамагнитных кластеров и между ферромагнитными кластерами только с

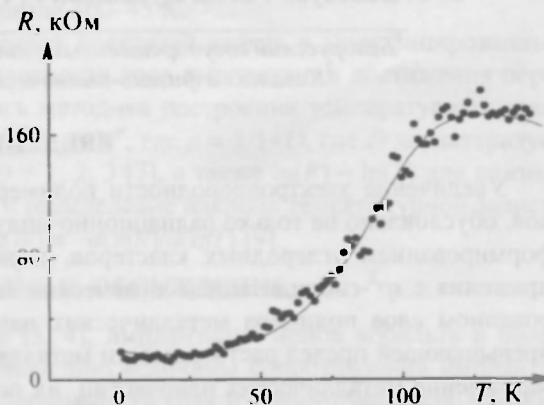


Рис. 3. Сравнение результатов модели (точки) с экспериментом (линия). $B = 0$ Тл

одинаковой ориентацией спинов. Проводимость по кластерам с антиферромагнитным упорядочением отсутствует.

На рисунке 3 представлены результаты компьютерного моделирования температурных зависимостей сопротивления в отсутствие магнитного поля и сравнение их с экспериментальными результатами. Видно, что в области температур ниже температуры фазового перехода наша модель хорошо описывает поведение системы, что позволяет судить о справедливости использованных нами предположений.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана компьютерная модель, созданная на основе модели Изинга, учитывающая возможность сосуществования трех типов упорядочения спинов и замороженного беспорядка из-за наличия дефектов решетки и механических напряжений в пленках манганитов. Для расчета электропроводности использовалась перколяционная модель протекания тока по образовавшейся системе кластеров. В рамках разработанной модели экспериментальные температурные зависимости сопротивления и магнитосопротивления пленок $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ в интервале температур от 40 до 130 К находят объяснение при учете фазового распада в магнитной подсистеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Salamon M. B., Jaime M. The physics of manganites: structure and transport // *Rev. Mod. Phys.* 2001. Vol. 73. № 3. P. 583–628.
2. Ahn K. H., Lookman T., Bishop A. R. Strain-induced metal–insulator phase coexistence in perovskite manganites // *Nature*. 2004. Vol. 428. P. 401–404.
3. Heuer H. O. Monte Carlo simulation of strongly disordered Ising ferromagnets // *Phys. Rev. B*. 1990. Vol. 42. № 10. P. 6476–6484.
4. Burgu J., Dagotto E. Percolative transitions with first-order characteristics in the context of colossal magnetoresistance manganites // *Phys. Rev. B*. 2003. Vol. 67. № 1. P. 014410–1–014410–6.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК ПОЛИИМИДА, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ НЕМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. С. Волобуев¹, С. М. Лукашевич¹, Р. И. Хайбуллин², В. Ф. Валеев²

¹Белорусский государственный университет, vlasname@mail.ru
²Казанский физико-технический институт, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение электропроводности полимеров, имплантированных ионами металлов, обусловлено не только радиационно-индуцированной карбонизацией материала, формированием углеродных кластеров, характеризующихся наличием систем сопряжения с sp^2 -гибридизацией химических связей, но и образованием в карбонизированном слое полимера металлических наночастиц. Так, при дозе имплантации, превышающей предел растворимости металла в имплантированном слое, начинается зарождение металлических наночастиц, их последующий рост и агломерация [1, 2]. В зависимости от дозы имплантации содержание металла в виде частиц в имплантированном слое может колебаться от нескольких единиц до нескольких десятков атомных процентов и, следовательно, в таких системах можно реализовать процессы