

05.2;11;12

МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ЛЕГИРОВАННЫХ МАНГАНИТОВ ЛАНТАНА

© В.А.Козлов, Я.М.Муковский, О.М.Урман, А.В.Шматок

1. Введение

Поиск материалов с высоким магнетосопротивлением ($MC, \Delta R/R_H = (R(0) - R(H))/R(H)$, где $R(H) = R_H$ — сопротивление в магнитном поле H) интенсивно ведется длительное время, главным образом с целью создания новых устройств для считывания магнитной записи, а также для создания различных датчиков и преобразователей магнитного поля.

Обнаружение гигантского отрицательного магнетосопротивления (ГМС) в легированных манганитах лантана привлекло к ним повторное широкое внимание исследователей [1-3]. Эти соединения имеют состав $La_{1-x}A_xMnO_{3+y}$, где A — атомы Ca, Sr, Ba, Pb и Cd, они обладают структурой перовскита и имеют смешанную валентность Mn.

ГМС в этих соединениях (до 127 000% в поле 6 Т [3]) наблюдалось в области ферромагнитного перехода на кристаллически совершенных тонкопленочных и объемных монокристаллических образцах. Свойства образцов чрезвычайно чувствительны к способу и режиму их получения, в том числе и к последующей термообработке.

Одним из очевидных преимуществ этих соединений перед разрабатываемыми в настоящее время для создания материалов с высоким МС слоистыми структурами, имеющими ферромагнитные и немагнитные слои, помимо большой величины МС является достаточно высокая температура, при которой наблюдается ГМС. В тонких пленках этих соединений обнаружен магнитооптический эффект Фарадея, сравнимый по величине с эффектом в ферроиттриевом гранате [4].

Также эти материалы могут рассматриваться как перспективные для разработки спинового (управляемого магнитным полем) транзистора, о создании прототипа которого сообщено в этом году [5]. Вместе с тем эти материалы используются в керамическом виде как высокотемпературные проводники для электрохимических устройств и в качестве катализаторов.

В настоящей работе изучалось влияние условий получения тонких пленок $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ на их структуру и температурную зависимость электросопротивления в малых магнитных полях.

2. Экспериментальная часть

Мишени стехиометрического состава $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ изготавливали по стандартной керамической технологии из карбонатов и/или оксидов с последующим перетиранием и с окончательным спеканием при температуре $T = 1300^\circ\text{C}$. Тонкие пленки получали методом реактивного магнетронного напыления на подложки из SrTiO_3 ($a = 0.390$ нм). Температура подложки составляла $550 - 800^\circ\text{C}$, парциальное давление кислорода поддерживалось в диапазоне $2 - 5$ мТор. Толщина пленок составляла $200 - 400$ нм. Из результатов рентгеновского анализа следует, что пленки имеют структуру перовскита с постоянной решетки $a = 0.385 - 0.389$ нм и являются монокристаллическими.

Электросопротивление пленок измерялось по четырехточечной схеме на переменном токе частотой 26 Гц. Магнитное поле 0.13 Т создавалось постоянным магнитом Co_5Sm и прилагалось в плоскости пленки перпендикулярно току. Температура Кюри T_c определялась по измерениям магнитной восприимчивости методом дифференциального трансформатора.

3. Результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2 приведены температурные зависимости сопротивления $R(T)$ пленочных образцов $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$, полученных при различных температурах подложки T_s . При понижении температуры происходит магнитный переход в ферромагнитное состояние. Ниже $T_c R(T)$ приобретает металлический характер.

Для описания физических свойств манганитов лантана была предложена модель двойного обмена [6], объясняющая влияние ферромагнитного состояния на проводимость этих соединений. Обменное взаимодействие между ионами Mn осуществляется за счет суперобмена через ионы кислорода, причем взаимодействие $\text{Mn}^{3+} - \text{Mn}^{3+}$ носит антиферромагнитный, а $\text{Mn}^{3+} - \text{Mn}^{4+}$ и $\text{Mn}^{4+} - \text{Mn}^{4+}$ — ферромагнитный характер. В ферромагнитном состоянии, согласно [6], высока вероятность перескока носителей между Mn^{3+} и Mn^{4+} без переворота спина. Вследствие этого ниже T_c сопротивление падает при переходе в ферромагнитное состояние.

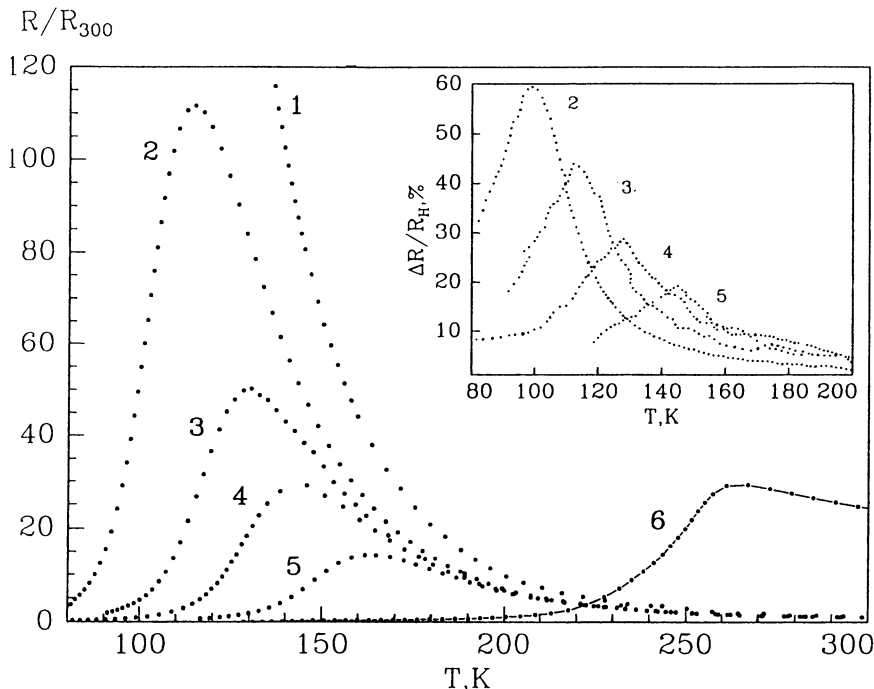


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления R/R_{300} и магнетосопротивления $\Delta R/R_H$ (вставка) пленок $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$, полученных при различных температурах подложки T_s : 1 — $T_s = 590^\circ\text{C}$, 2 — $T_s = 605^\circ\text{C}$; 3 — $T_s = 620^\circ\text{C}$, 4 — $T_s = 660^\circ\text{C}$, 5 — $T_s = 700^\circ\text{C}$, 6 — $T_s = 605^\circ\text{C}$; отжиг 30 мин при 650°C в кислороде, $20 \cdot R/R_{300}$.

Приложение внешнего магнитного поля затрудняет переворот спинов, приводя к дальнейшему падению сопротивления.

С уменьшением T_s максимум на $R(T)$ увеличивается и смещается к более низким температурам; в то же время $\Delta R/R_H$ также возрастает и достигает 60% при 105 K (см. вставку на рис. 1).

Энергия активации в полупроводниковой области для пленок в исходном состоянии при температуре выше T_c равна 0.16 эВ. Отжиг в кислороде приводит к значительному уменьшению сопротивления и сдвигу максимума на $R(T)$ к более высокой температуре (рис. 1). В то же время энергия активации уменьшается до 0.036 эВ и $\Delta R/R_H$ резко падает. Такое поведение согласуется с зонной моделью, предложенной на основании исследования рентгеновских фотоэлектронных и УФ фотоэмиссионных спектров соединений $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ [7], согласно которой увеличение концентрации элемента А или содержания кислорода при-

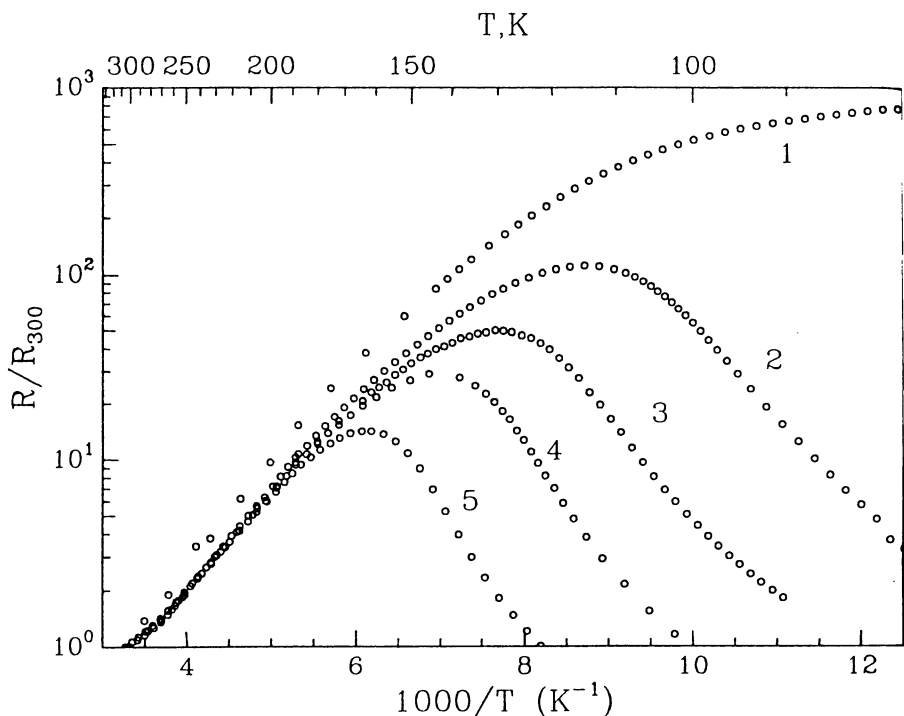


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления пленок $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$, полученных при различных температурах подложек T_s , в координатах $\lg(R/R_{300}) - 1000/T$: 1 — $T_s = 590^\circ\text{C}$, 2 — $T_s = 605^\circ\text{C}$, 3 — $T_s = 620^\circ\text{C}$, 4 — $T_s = 660^\circ\text{C}$, 5 — $T_s = 700^\circ\text{C}$.

водит к возникновению дырочных состояний в запрещенной зоне и уменьшению ее ширины.

В отличие от пленок, полученных лазерным напылением на подложки LaAlO_3 с последующей термообработкой [1-3], наши пленки имеют более высокие значения максимумов $R(T)$ и $\Delta R/R_H$ (максимальное значение МС в поле 0.1 Т составляет 46%, в то время как опубликованное рекордное значение для 0.1 Т — 17% [3]). Причиной этого может быть деформация пленок, возникающая при их натяжении на решетку подложки. Следует отметить, что настоящие пленки со столь высокими параметрами были получены в результате одностадийного процесса, без последующей термообработки.

Авторы благодарят А.М. Ионову и Г.К. Струкову за помощь в приготовлении мишеней, А.М. Ионову и С.Г. Карашева за участие в обсуждении результатов.

Список литературы

- [1] *Von Helmholt R., Wecker J., Holzappel B. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1993. V. 71. N 14. P. 2331-2333.
- [2] *Chahara K., Ohno T. et al.* // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 63. N 14. P. 1990-1992.
- [3] *Jin S., Tiefel T.H., McCormack M. et al.* // Science. 1994. V. 264. P. 413-415.
- [4] *Lawler J.F., Lunney J.G., Coey J.M.D.* // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 65. N 23. P. 3017-3018.
- [5] *Monzma D.J., Lodder J.C., Popma Th.J.A., Dieny B.* // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 74. N 26. P. 5260-5263.
- [6] *Zener C.* // Phys. Rev. 1951. V. 82. P. 403-405.
- [7] *Chainani A., Mathew M., Sarma D.D.* // Phys. Rev. B. 1993. V. 47. N 23. P. 15 397-15 403.

Московский институт
стали и сплавов

Поступило в Редакцию
1 декабря 1995 г.

