

Колебания тока и N-образная ВАХ в манганите $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$

И.К. Камилов, К.М. Алиев, Х.О. Ибрагимов, Н.С. Абакарова

*Институт физики Дагестанского научного центра РАН
ул. М. Ярагского, 94, г. Махачкала, 367003, Россия
E-mail: kamilov@datacom.ru*

Статья поступила в редакцию 4 сентября 2003 г., после переработки 18 февраля 2004 г.

В образцах $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ с $x = 0,425$ и $0,450$ при температуре 77 К экспериментально исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) в импульсных и постоянных электрических E и магнитных H полях до 10 кЭ при их взаимных ориентациях $\mathbf{H}\parallel\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}\perp\mathbf{E}$. Обнаружены N-образные ВАХ и высокочастотные (до 3 МГц) колебания тока.

В зразках $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ з $x = 0,425$ та $0,450$ при температурі 77 К експериментально досліджено вольт-амперні характеристики (ВАХ) в імпульсних та сталих електричних E й магнітних H полях до 10 кЕ при їх взаємних орієнтаціях $\mathbf{H}\parallel\mathbf{E}$ та $\mathbf{H}\perp\mathbf{E}$. Виявлено N-подібні ВАХ та високочастотні (до 3 МГц) коливання струму.

PACS: 72.20.Ht, 72.80.Ga, 75.30.Vn

Обнаружение явления колоссального магнитосопротивления (КМС) в манганитах стимулировало исследования процессов переноса заряда в системах, где проявляется глубокая взаимосвязь магнитной, решеточной и электронной подсистем.

Нелинейные ВАХ манганитов и гетероструктур на их основе, а также релаксационные процессы установления тока при приложении электрического напряжения к ним изучены в работах [1–10]. Обнаружены нелинейные ВАХ суб- или суперлинейного поведения и S-образные ВАХ [1–4, 6–10]. В работе [5] показано, что установление стабильной величины электрического тока, соответствующего приложенному напряжению, носит релаксационный характер с большими (до 10 мин) характерными временами. Отметим, что большинство исследованных ВАХ проявляют гистерезис, т.е. восходящие и нисходящие ветви ВАХ не совпадают. Причем физические механизмы, лежащие в основе нелинейностей, включают в себя влияние протекающего тока на магнитную однородность системы [1, 2, 4], неупругое рассеяние носителей заряда в магнитоактивных слоях на контактном переходе [3], электрическую модуляцию процессов двойного обмена в ферромагнитных системах [6] с образованием и движением волн зарядовой плотности [9, 10].

Цель настоящей работы — изучение влияния величины электрического поля на перенос тока в манганитах на примере $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ с $x = 0,425$ и $0,450$ при 77 К в магнитных полях до 10 кЭ, когда $\mathbf{H}\parallel\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}\perp\mathbf{E}$.

Согласно рентгенографическим данным, исследованные керамики $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ представляют собой орторомбические перовскиты с однородным гранулометрическим составом с хорошей спайностью и пористостью около 20% . Результаты детального экспериментального исследования теплоемкости и электросопротивления этих образцов для $x = 0,450$ в широком температурном интервале представлены в работах [11, 12]. Размеры исследованных образцов для $x = 0,425$ и $0,450$ были равны соответственно $6\times 1,7\times 0,7$ и $2,5\times 1,2\times 0,7$ мм. Токовые контакты наносили на торцы образцов серебряной пастой. Все измерения проводили при температуре 77 К. Температуру образцов контролировали медь-константановой термопарой.

Вольт-амперные характеристики исследуемых образцов измеряли как на постоянном токе, так и в импульсном режиме генератора напряжения $R_s \gg R_i$, где R_s — сопротивление образца, R_i — токоснижающее сопротивление, включенное последовательно с образцом. Длительность треугольного импульса, на котором снималась ВАХ, не превышала

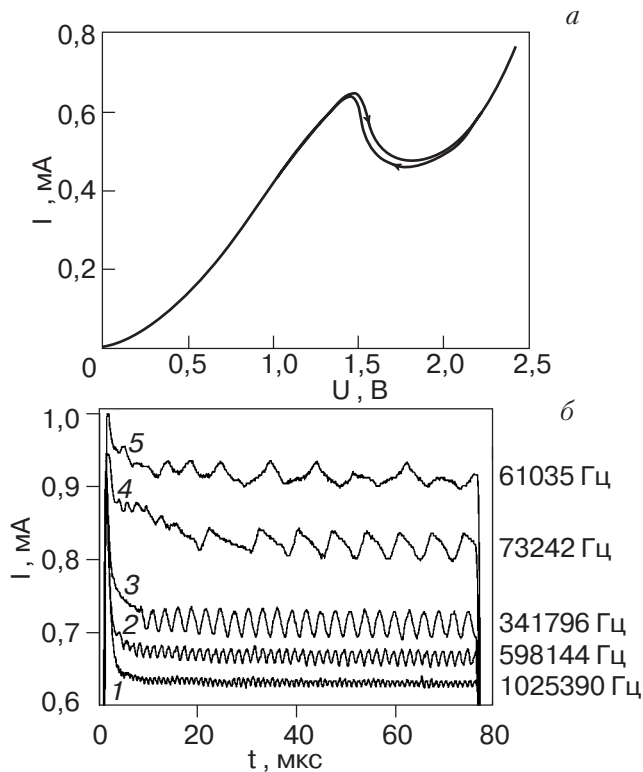


Рис. 1. Восходящая и нисходящая ветви ВАХ (а) и колебания на импульсе тока (при различных значениях приложенного напряжения U , В: 2,48 (1), 2,64 (2), 2,72 (3), 2,8 (4), 3,02 (5)) (б) для образца $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ с $x = 0,425$ при 77 К.

120 мкс, а длительность прямоугольных импульсов – 80 мкс с фронтами не хуже 0,1 мкс.

На рис. 1,а представлены восходящая и нисходящая ветви ВАХ для образца с $x = 0,425$, измеренные в импульсном режиме. Они представляют собой кривые с омическими участками вначале, которые плавно переходят в суперлинейные с характерным наклоном $I \sim U^n$, где $n = 1,4-1,6$. В дальнейшем, при напряжениях $U \approx 1,5$ В ВАХ имеет N-образный участок, который с ростом напряжения снова выходит на положительную ветвь, где $dI/dU > 0$.

Восходящая и нисходящая ветви ВАХ в зависимости от максимального значения приложенного электрического напряжения не совпадают, т.е. проявляют гистерезис, величина которого зависит не только от напряжения, но и от величины нагрузочного сопротивления. При соответствующем подборе нагрузочного сопротивления на токовом импульсе (рис. 1,б) возникают колебания тока, амплитуда и частота которых зависят от величины приложенного напряжения. Эти колебания тока в электрическом поле E имеют следующие характерные особенности: 1) уменьшается частота и увеличивается амплитуда с ростом поля; 2) появляются колебания и на второй положительной ветви ВАХ вплоть до больших значений напряжения U (20–30 В) и при этом демонст-

рируют свойства, характерные для хаотических систем (удвоение периода, квазипериодичность, стохастическое поведение или широкополосные шумы и т.п.). На рис. 1,б приведены значения частот, соответствующие максимальным амплитудам, согласно их фурье-анализу. Изменение направления тока в образце не влияет на вид ВАХ, которые совершенно идентичны в обоих направлениях. Форма колебаний тока при этом меняется незначительно, но основные закономерности независимо от величины смещения U сохраняются. При N-переключении в начале импульса тока происходит спад тока с характерными временами порядка нескольких микросекунд.

В импульсных электрических продольных $\mathbf{H}||\mathbf{E}$ и поперечных $\mathbf{H}\perp\mathbf{E}$ полях эффект КМС, рассчитанный по формуле $(\rho_H - \rho_0)/\rho_H$, достигал 35%. Замечено, что магнитное поле уменьшает амплитуду колебаний и смещает порог N-переключения в сторону меньших электрических полей.

На рис. 2 приведены ВАХ для образца с $x = 0,450$ в продольных магнитных полях $\mathbf{H}||\mathbf{E}$, измеренные в постоянных электрических полях. Подчеркнем, что все измерения проведены при постоянной температуре $T = 77$ К, что контролировалось термопарой, и рассеиваемые на образце мощности не приводили к джоулеву разогреву образца. В магнитных полях ВАХ для образцов этого состава, как и для состава с $x = 0,425$, свидетельствуют, что КМС достигает 35%, а также демонстрируют незначительное снижение порога N-переключения с ростом величины магнитного поля. Как видно на рис. 2, КМС несколько уменьшается при N-переключении, но в минимуме и на второй восходящей ветви ВАХ КМС достигает

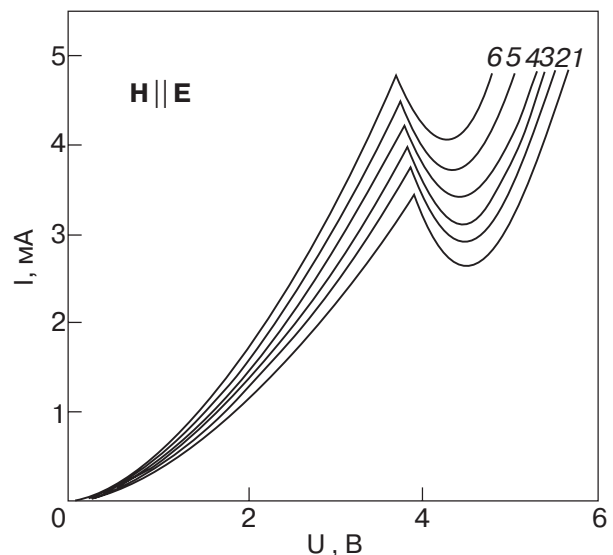


Рис. 2. ВАХ образца $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ для $x = 0,450$ при $T = 77$ К и различных значениях продольного магнитного поля H , кЭ: 0 (1), 1,38 (2), 2,25 (3), 4,5 (4), 6,7 (5), 8,5 (6).

того же порядка или заметно больше. В поперечных магнитных полях $\mathbf{H} \perp \mathbf{E}$ поведение ВАХ совершенно идентично случаю продольных полей $\mathbf{H} \parallel \mathbf{E}$. Отметим, что наблюдается незначительная анизотропия КМС: влияние продольного магнитного поля сильнее и эффект КМС на всех участках ВАХ в продольных полях больше, чем в поперечных. Величина КМС на участках ВАХ, где выполняется закон $I \sim U^{1,6}$, постоянна либо незначительно уменьшается ($\sim 3\%$) с ростом напряжения до N-переключения.

При многократном (более 30 раз) термоциклировании образца в пределах 77–300 К было обнаружено качественное изменение формы ВАХ и резкий рост гистерезиса на восходящей и нисходящей ветвях ВАХ.

Если в образце нет встроенных гетеро- или сандвич-структур, точечных или других контактов с неравновесными свойствами, то для интерпретации результатов по обнаружению N-образной ВАХ в манганитах можно привлечь $\Delta m\tau$ -модель, приведенную в работе [13], в которой удельное электросопротивление вычисляется по формуле Друде:

$$\rho = \frac{m^*}{e^2 n \tau}, \quad (1)$$

где e — заряд электрона, m^* — эффективная масса, n — концентрация носителей тока, а время релаксации τ представляется как сумма $\tau^{-1} = \tau_{st}^{-1} + \tau_{ph}^{-1} + \tau_m^{-1}$, где τ_{st} , τ_{ph} и τ_m — характеристические времена при рассеянии на статических нарушениях трансляционной симметрии системы, фонах и флуктуациях локальных магнитных моментов соответственно. Окончательное выражение с учетом энергии активации Δ выглядит следующим образом:

$$\rho = e^{2\Delta/3T} (\rho_{st} + \rho_{ph} + \rho_m). \quad (2)$$

Значительное неупругое рассеяние носителей заряда при определенных значениях порогового электрического поля может привести к резкому росту сопротивления вследствие изменения времени рассеяния, особенно с учетом второго, поляронного, и третьего, описывающего спиновой беспорядок, членов в скобках формулы (2), что может привести к N-образной ВАХ.

Дальнейший рост напряжения, увеличивая энергию носителей заряда для преодоления барьеров поляронов и спинов, выводит ВАХ на новый участок роста тока. При этом нельзя исключить влияния протекающего тока на магнитную однородность исследуемых систем или другие механизмы, приводящие к резкому изменению концентрации носителей тока вследствие нарушения зарядового или орбитального порядка, а также из-за образования и движения волн зарядовой плотности [1–2,5,9–10].

В заключение авторы выражают благодарность А.Б. Батдалову и Ш.Б. Абдулвагидову за полезное обсуждение результатов работы и О.Ю. Горбенко за предоставление высококачественных образцов. Работа выполнена при финансовой поддержке грантом РФФИ № 02-02-17817 и грантом № НШ-2253.03.2 на базе приборного парка аналитического центра ДНЦ РАН.

1. A. Guha, N. Khare, A.K. Raychaudhuri, and C.N.R. Rao, *Phys. Rev.* **B62**, R11941 (2000).
2. A. Guha, A.K. Raychaudhuri, A.R. Raju, and C.N.R. Rao, *Phys. Rev.* **B62**, 5320 (2000).
3. М.А. Белоголовский, Ю.Ф. Ревенко, А.Ю. Герасименко, В.М. Свистунов, Е. Хатта, Г. Плитуик, В.Е. Шатерник, and Е.М. Руденко, *ФHT* **28**, 553 (2002); М.А. Белоголовский, Ю.Ф. Ревенко, А.Ю. Герасименко, Ю.В. Медведев, О.И. Черняк, В.М. Свистунов, Дж. Плитник, *ФHT* **29**, 889 (2003).
4. S. Heim, T. Nachtrab, M. Möhle, R. Kleiner, R. Koch, S. Rother, O. Waldmann, P. Müller, T. Kimura, and Y. Tokura, *Physica* **C367**, 348 (2002).
5. М.К. Губкин, Т.М. Перекалина, А.М. Балбашев, В.В. Киреев, С.В. Пушко, *ФТТ* **43**, 293 (2001).
6. M. Tanaka, J. Zhang, and T. Kawai, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 027204–1 (2002).
7. J.Z. Sun, *J. Magn. Magn. Mater.* **202**, 157 (1999).
8. J.S. Moodera, J. Novak, and Rene J.M. van der Veen, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 2941 (1998).
9. A. Wahl, V. Caignaert, and S. Mercone, *arXiv: cond-mat/0306160* (2003).
10. A. Wahl, S. Mercone, A. Pautrat et al., *arXiv: cond-mat/0306161* (2003).
11. Ш.Б. Абдулвагидов, И.К. Камиллов, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, *ЖЭТФ* **123**, 857 (2003).
12. А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, А.Б. Батдалов, И.К. Камиллов, О.Ю. Горбенко, В.А. Амеличев, А.Р. Кауль, А.И. Курбаков, В.А. Трунов, *ФТТ* **45**, 124 (2002).
13. A.B. Beznosov, B.I. Belevtsev, E.L. Fertman, V.A. Desnenko, D.G. Naugle, K.D.D. Rathnayka, and A. Parasiris, *ФHT* **28**, 774 (2002).

Electric oscillations and N-type current-voltage characteristics of $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ manganite

I.K. Kamilov, K.M. Aliev, Kh.O. Ibragimov, and N.S. Abakarova

The current-voltage characteristics of $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.425$ and 0.450) have been measured at temperature 77 K in direct and pulsed electric and magnetic fields of $\mathbf{H} \parallel \mathbf{E}$ and $\mathbf{H} \perp \mathbf{E}$ orientations. N-type current-voltage characteristics and high frequency (up to 3 MHz) electric oscillations have been found.