

05

О природе эффекта гигантского магнитосопротивления в системе ферромагнетик—полимер—немагнитный металл

© А.Н. Лачинов, Н.В. Воробьева, А.А. Лачинов

Институт физики молекул и кристаллов
Уфимского научного центра РАН, Уфа
E-mail: vnv@anrb.ru

Поступило в Редакцию 7 октября 2008 г.

Исследована роль магнитострикции в проявлении эффекта гигантского магнитосопротивления (ГМС) в системе никель—полиарилефталид—медь. Установлено, что явление появления/исчезновения ГМС на границе никель—полимер не соотносится с существенным изменением магнитострикционных деформаций, так как поперечная и продольная магнитострикции в плоскости подложки в интервале магнитных полей, провоцирующих переход, практически не изменяются. Роль продольной магнитострикции перпендикулярно плоскости образца не может быть признана определяющей, потому что на одном и том же образце в зависимости от начальных условий изменяется знак переключения проводимости, в то время как знак продольной магнитострикции подложки не изменяется. Возможность управления пороговым полем с помощью изменения подаваемого электрического напряжения также свидетельствует не в пользу магнитострикции.

PACS: 41.20.Gz, 73.40.Rw

Целью настоящей работы является изучение влияния магнитострикции на гигантское магнитосопротивление (ГМС) в системе ферромагнетик—полимер—немагнитный металл. ГМС на этой системе впервые наблюдалось только несколько лет назад [1,2]. Особенностью ГМС является большое (до 8 порядков) при комнатной температуре относительное изменение сопротивления системы при достижении магнитным полем определенного порогового значения. В работах [1–3] это пороговое поле не превышало 180 мТ. В работах [4,5] показана возможность управления пороговым магнитным полем путем изменения

внешних условий реализации явления. Однако в структуре, использующей тонкую полимерную пленку, склонную к разбиению на отдельные электропроводящие домены (шнурованию тока), возникает вопрос о качестве контактирования с металлическим электродом. Если такой контакт нарушается по какой-либо причине во внешнем магнитном поле, то следствием также будет большое изменение электропроводности. Критический анализ накопленных экспериментальных результатов показал, что необходимо специально рассмотреть влияние двух явлений — пондеромоторных сил и магнитострикции ферромагнитного электрода. Особое значение этот вопрос приобретает в связи с известной чувствительностью электропроводности используемых полимеров к малому одноосному давлению [6].

Влияние пондеромоторных сил учитывается в методике проведения экспериментов и исключено надежным креплением образца на полюсе электромагнита, однако вопрос о магнитострикции ферромагнитного электрода является более сложным. В работе [1] влияние магнитострикции никеля уменьшалось путем изготовления составной ферромагнитной пластины, состоящей из Ni со стороны, контактирующей с полимерной пленкой, и пластины из Fe той же площади и толщины, закрепленной к никелевой пластине с противоположной полимеру стороны. За счет разного знака магнитострикции Ni и Fe можно было добиться существенной компенсации деформации электрода. Однако непосредственно магнитострикция в структурах Ni–полимер–Cu до сих пор не контролировалась.

Исследование роли магнитострикционных деформаций в ферромагнитном электроде было проведено путем прямого измерения относительного изменения его магнитострикции в процессе измерения гигантского магнитосопротивления в экспериментальной структуре никель–полимер–медь.

Для регистрации деформаций был использован полупроводниковый линейный тензорезистор из сульфида самария серии SmS–O–ВЛ (производитель — компания „СМС-тензо“, ФТИ, С.-Петербург), предназначенный для проведения измерений в магнитном поле. Измерения проводились мостовым методом. Тензорезистор наклеивался на свободную от полимерного слоя часть ферромагнитной подложки. Основные гальваномагнитные явления исключались путем повторения измерений при смене направления электрического тока через тензорезистор (положение каждой точки усреднялось для разных направлений протекающего тока).

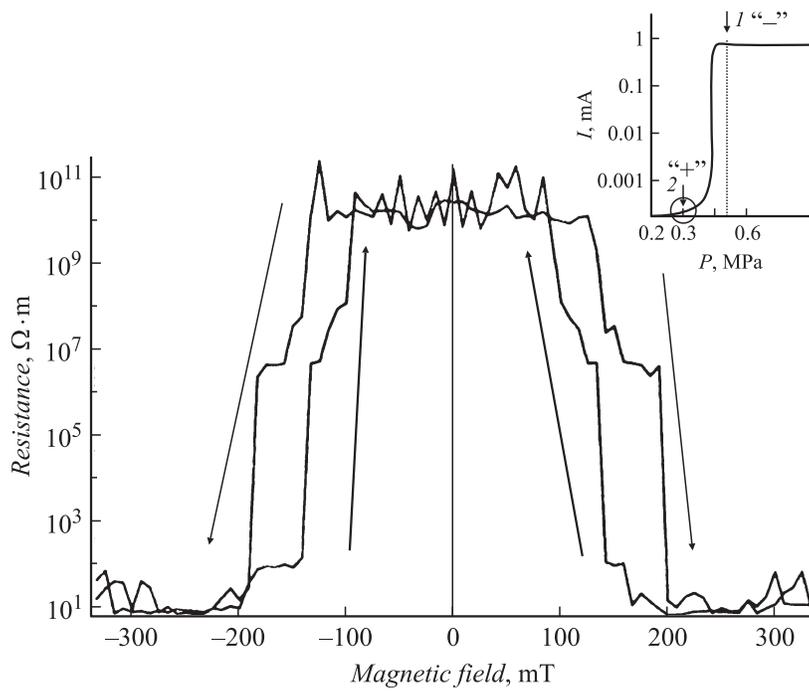


Рис. 1. Переключение проводимости в системе никель–полиарленфталид–медь в зависимости от начальных условий. Зависимость сопротивления структуры Ni–полимер–Cu, от величины магнитного поля. Стрелками обозначено направление изменения сопротивления при возрастании или убывании магнитного поля. К структуре приложено напряжение 1 V. На вставке — области необходимого внешнего давления, определяющие знак ГМС.

На рис. 1 представлены типичные результаты измерения эффекта гигантского магнитосопротивления в структуре Ni–полимер–Cu для случая положительного коэффициента ГМС. Магнитное поле было направлено перпендикулярно плоскости образца. Значение магнитного поля, при котором происходило максимальное изменение сопротивления системы, находится в интервале значений, часто регистрируемых на аналогичных образцах: 100–180 mT.

Результаты измерений линейной магнитострикции представлены на рис. 2. Кривые изменения линейной магнитострикции были получены

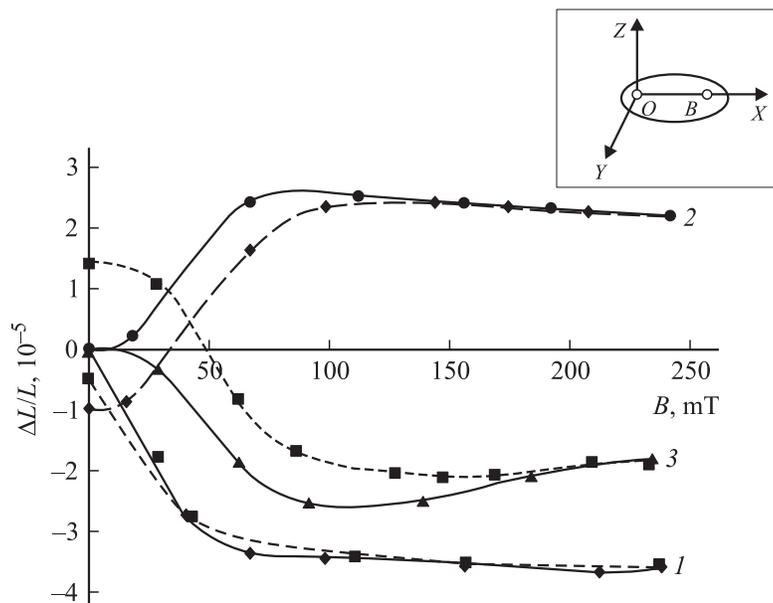


Рис. 2. Зависимости приведенной деформации $\Delta L/L$ пластины из поликристаллического никеля от величины внешнего магнитного поля. Здесь L — длина линейного тензорезистора OB , ΔL — изменение длины тензорезистора под действием внешнего магнитного поля. 1 — продольная магнитострикция, поле в плоскости образца (направление OX); 2 — поперечная магнитострикция, поле в плоскости (направление OY); 3 — поперечная магнитострикция, поле перпендикулярно плоскости образца (направление OZ). Сплошные линии — прямой ход (магнитное поле увеличивается), пунктир — обратный ход (магнитное поле уменьшается). На вставке — направления ориентации линейного тензорезистора OB относительно внешнего магнитного поля.

при ориентации тензорезистора OB параллельно магнитному полю (продольная магнитострикция, направление OX) и поперек магнитного поля в двух направлениях (поперечная магнитострикция). Поперечная магнитострикция измерена для ориентации поля в плоскости образца (направление OY), а также перпендикулярно плоскости образца (направление OZ). Направления OY и OZ являются принципиально различными, так как плоскость YOZ является границей тонкой пластины, а процессы намагничивания вдоль или поперек плоскости тонкой

пластины существенно отличаются вследствие проявления эффекта формы [7].

Значение сигнала с измерительного моста фиксировалось при непрерывном возрастании внешнего магнитного поля и последующем его убывании (как и в эксперименте на рис. 1). Продольная магнитострикция (магнитное поле направлено вдоль линейного тензорезистора) в плоскости образца (рис. 2, кривые 1) является отрицательной и сравнимой по величине с известными данными [8]. Выход кривых на насыщение происходит при достижении внешним магнитным полем значения около 50 мТ. При ориентации внешнего магнитного поля в плоскости пластины-подложки перпендикулярно линейному тензорезистору магнитострикция положительна, что также типично для таких измерений (рис. 2, кривые 2). Выход кривых 2 на насыщение при значении внешнего магнитного поля составляет около 70 мТ. При направлении внешнего магнитного поля перпендикулярно плоскости пластины-подложки магнитострикция отрицательна (рис. 2, кривые 3). Выход на насыщение также при $B \sim 70$ мТ.

Следует отметить, что ГМС полимерной пленки на никелевой подложке наблюдалось ранее для ориентации магнитного поля как в плоскости образца, так и перпендикулярно этой плоскости. Анализ кривых, представленных на рис. 2, показывает, что магнитострикция исследованных образцов хорошо регистрируется во всем диапазоне магнитных полей. Однако можно выделить две области, в которых изменение магнитострикции ведет себя по-разному. При малых полях до 60 мТ наблюдается существенное приращение деформации ферромагнетика. Подчеркнем, что относительно полимерной пленки это тангенциальные сдвиговые деформации, направленные вдоль границы раздела металл–полимер. При больших внешних магнитных полях кривые магнитострикционных деформаций в плоскости подложки при различных ориентациях внешнего магнитного поля выходят на насыщение и практически не меняются. Обращает на себя внимание тот факт, что область изменения деформаций ферромагнетика, вызванная магнитострикцией, ограничена магнитными полями, величина которых значительно меньше тех, при которых регистрируется ГМС. Таким образом, полученные результаты можно интерпретировать как отсутствие корреляции между магнитострикцией в ферромагнитной подложке и гигантским магнитосопротивлением, происходящим в структуре ферромагнетик–полимер–немагнитный металл.

В связи с этим, можно утверждать, что изменение магнитострикционных деформаций ферромагнитной подложки в плоскости, на которую нанесен слой полимера, не может быть причиной, влияющей столь существенным образом на проводимость полимерной пленки.

Необходимо также обсудить вопрос о магнитострикционных деформациях, направленных перпендикулярно плоскости подложки. В настоящей работе не удалось измерить их непосредственно с помощью тензорезисторов, так как пластина никеля была довольно тонкой (толщина около 1 мм). В принципе, деформации, обусловленные поперечной магнитострикцией, могут инициировать переключение проводимости за счет изменения давления на полимер. Хорошо известна высокая чувствительность электропроводности тонких пленок полидифениленфталата к одноосному давлению, направленному перпендикулярно к поверхности пленки [6]. Более того, небольшое внешнее давление необходимо для проявления эффекта переключения проводимости в магнитном поле (рис. 1, вставка). Однако также известно, что магнитострикция никеля отрицательна [8], и потому в рассматриваемом случае при возрастании магнитного поля должно происходить уменьшение давления электрода на полимерную пленку. В рассматриваемом варианте ГМС с положительным коэффициентом образец находится в низкопроводящем исходном состоянии. Следовательно, уменьшение давления может привести лишь к уменьшению электропроводности, но не к ее увеличению, в соответствии со всем известным накопленным к настоящему времени опытом [9].

Суммируя представленные результаты, можно утверждать, что магнитострикционные явления не оказывают существенного влияния на явление гигантского магнитосопротивления в структуре Ni–полимер–Cu.

Данная работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-02-12042-офи, программы фундаментальных исследований ОФН-5, проект 1.15 и программы президиума РАН П-8.

Список литературы

- [1] Воробьева Н.В., Лачинов А.Н., Логинов Б.А. // Поверхность. 2006. В. 5. С. 22.
- [2] Лачинов А.Н., Воробьева Н.В., Лачинов А.А. // Письма в ЖЭТФ. 2006. Т. 84. В. 11. С. 720.
- [3] Lachinov A.N., Vorobieva N.V., Lachinov A.A. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2007. V. 467. P. 135.

- [4] Воробьева Н.В., Лачинов А.Н., Гепое Ж., Лачинов А.А., Логинов Б.А. // Сб. трудов конференции „Нанотехнологии — производству — 2007“. Фрязино, 2008. С. 450.
- [5] Воробьева Н.В., Лачинов А.Н., Гепое Ж., Лачинов А.А. // Материалы симпозиума „Нанофизика и нанoeлектроника“. Н. Новгород, 10–14 марта 2008. Т. 1. С. 110.
- [6] Лачинов А.Н., Жеребов А.Ю., Корнилов В.М. // ЖЭТФ. 1992. Т. 102. С. 187.
- [7] Osborn J.A. // Phys. Rev. B. 1945. V. 57. N 11–12. P. 351.
- [8] Вонсовский С.В. // Магнетизм. М.: Наука, 1971. С. 920.
- [9] Лачинов А.Н., Воробьева Н.В. // УФН. 2006. Т. 176. В. 12. С. 1249.