

Особенности гигантского магнитосопротивления в системе ферромагнетик – полимер

А. Н. Лачинов¹⁾, Н. В. Воробьева, А. А. Лачинов⁺

Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, 450075 Уфа, Россия

+Башкирский государственный университет, 450000 Уфа, Россия

Поступила в редакцию 16 октября 2006 г.

После переработки 7 ноября 2006 г.

Исследовано гигантское магнитосопротивление в структуре ферромагнетик – электроактивный полимер – немагнитный металл. Переход проводимости системы от диэлектрической к металлической связывается с изменением формы вольт-амперных характеристик ячейки в магнитном поле. Сделан вывод, что регистрируемый эффект гигантского магнитосопротивления может иметь инжекционную природу, поэтому этот эффект и реализуется практически на одной границе раздела ферромагнетик – электроактивный полимер.

PACS: 72.25.Mk, 75.47.De

Ранее [1] сообщалось, что в структуре ферромагнетик – полимер – немагнитный металл можно индуцировать электронное переключение внешним магнитным полем определенной величины. Это само по себе представляет большой интерес с точки зрения установления физического механизма этого явления, ранее индуцированного с помощью других физических факторов [2–5]. Кроме того, очевидны новые возможности в управлении переносом заряда в органико-неорганических многослойных системах. Однако не понятно, имеет ли это явление отношение к магниторезистивным эффектам типа гигантского магнитосопротивления. В работе [6] было показано, что спин электрона может сохранять свою ориентацию при инжекции электрона из ферромагнитного металла в электропроводящий полимер и при этом иметь достаточно большую длину когерентности. В работе [7] была рассчитана модель спиновой поляризации на гетероструктурах, обладающих инжекционным магнитосопротивлением, а в работе [8] продемонстрирована принципиальная возможность спинового транспорта в органической и полимерной среде и реализации на этой основе спинового вентиля. Недавно [9] было опубликовано сообщение о наблюдении гигантского инжекционного магнитосопротивления в неорганической системе $\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{GaAs}$. Отличительной чертой экспериментальной структуры, исследованной в этой работе, является отсутствие второго ферромагнитного электрода.

В отличие от электропроводящих полимеров с сопряженной системой π -электронов, использованных в работе [8], в работе [1] влияние магнитного поля на транспорт заряда было обнаружено в полимерах с несопряженной системой π -электронов и широкой запрещенной зоной.

Анализ результатов [6–9] позволил сформулировать следующую цель настоящей работы: исследование влияния магнитного поля на вольт-амперные характеристики в структуре ферромагнетик – несопряженный полимер – немагнитный металл для выяснения роли спинового транспорта через границу раздела ферромагнетик – полимер.

Явление гигантского магнитосопротивления (ГМС) в структуре ферромагнетик – электроактивный полимер – немагнитный металл заключается в том, что при достижении магнитного поля определенной величины происходит резкое изменение ее сопротивления (рис.1). Сопротивление изменялось на 6–8 порядков от образца к образцу. Явление было обратимым, но с гистерезисом. Для разных образцов, отличавшихся условиями приготовления и толщиной полимерного слоя, характерные величины магнитного поля регистрировались в интервале от 50 до 180 мТл. В одной и той же экспериментальной структуре можно было наблюдать два вида ГМС – с положительным и отрицательным коэффициентом магнитосопротивления. Это зависело от того, в каком начальном (при $H = 0$) по проводимости состоянии находилась полимерная пленка. Если пленка имела большое сопротивление ($R \sim 10^8 \Omega$), то регистрировался положительный эффект ГМС.

¹⁾e-mail: lachinov@anrb.ru

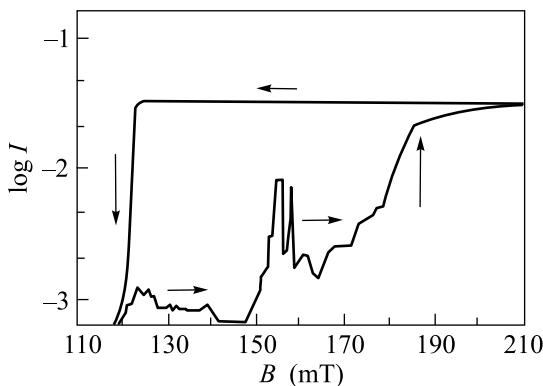


Рис.1. Зависимость тока (в микроамперах), протекающего через структуру Ni–полимер–Си, от величины магнитного поля. Исходное сопротивление структуры составляло $R \sim 10^8$ Ом. Величина приложенного напряжения 1 В, стрелками показано направление изменения магнитного поля

Если пленка находилась в состоянии с малым сопротивлением ($R \sim 10$ Ом), то регистрировался отрицательный эффект ГМС. Для задания начального сопротивления было достаточно малого одноосного давления, приложенного перпендикулярно к плоскости образца [2]. На рис.2 приведена зависимость

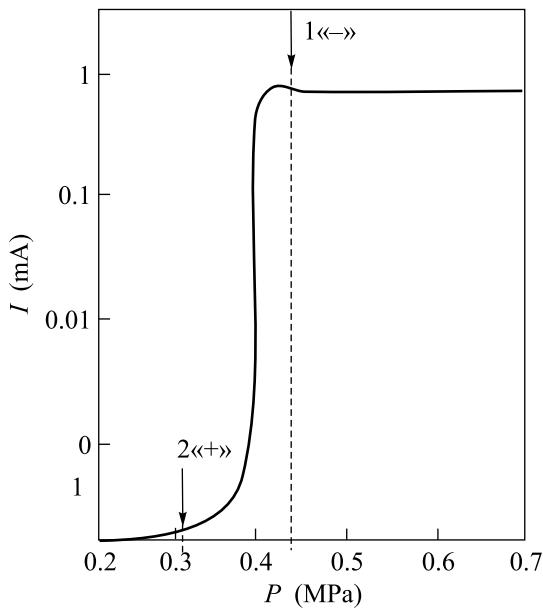


Рис.2. Зависимость величины тока, протекающего через образец от приложенного одноосного давления. Стрелками показаны области выбора давления для обеспечения начального сопротивления образца. Знаки “+” и “–” соответствуют знаку получаемого эффекта ГМС

сопротивления многослойной структуры с полимерной пленкой от давления. Природа описанного выше

поведения системы в магнитном поле до конца неясна.

Для изучения вклада инжекционного механизма в ГМС было проведено исследование влияния магнитного поля на транспорт носителей заряда в зависимости от величины и полярности приложенного электрического поля. Образец представлял собой многослойную структуру вида магнетик – полимерная пленка – немагнитный металл. В качестве магнетика использовалась пластина толщиной ~ 1.5 мм, изготовленная из поликристаллического Ni, который был выбран в качестве поляризатора спинов инжектированных электронов, так как он является сильным зонным магнетиком, причем по оценке, приведенной в [2], в этом магнетике расщепление состояний на поверхности Ферми для электронов с противоположным направлением спинов может достигать очень большой величины, $\Delta \sim 1$ эВ. Второй металлический электрод изготавливается методом напыления меди на поверхность полимерной пленки в вакууме. Для уменьшения влияния магнитострикционного эффекта, действующего на экспериментальный образец в магнитном поле, ферромагнетик изготавливается в виде составной пластины, состоящей из Ni со стороны, контактирующей с полимерной пленкой, и пластины Fe той же площади и толщины, закрепленной к никелевой пластине с противоположной полимеру стороной. Магнитное поле было направлено перпендикулярно плоскости образца.

В качестве полимера использовался полимер класса полиариленфталидов. Ранее было показано, что эти полимеры обладают уникальными электронными свойствами – в них можно индуцировать фазовый переход типа диэлектрик – металл, воздействуя на многослойную структуру типа металл – полимер – металл аномально малыми физическими полями, например, электрическим полем или давлением [3].

Полимерная пленка толщиной $\sim 800 \pm 50$ нм изготавливается методом центрифугирования из пятипроцентного раствора полимера в циклогексаноне. Толщина пленки оценивалась с помощью микротерферометра МИИ-4.

На рис.3 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) экспериментальной структуры Ni – полимер – Си в зависимости от величины внешнего магнитного поля. При нулевом магнитном поле наблюдается асимметричность в форме ВАХ при разной полярности напряжения. При увеличении магнитного поля асимметрия ВАХ изменяет свой характер. При малых токах и положительной полярности на ферромагнитном электроде магнитное поле приводит к фактическому “запиранию” проводимости в

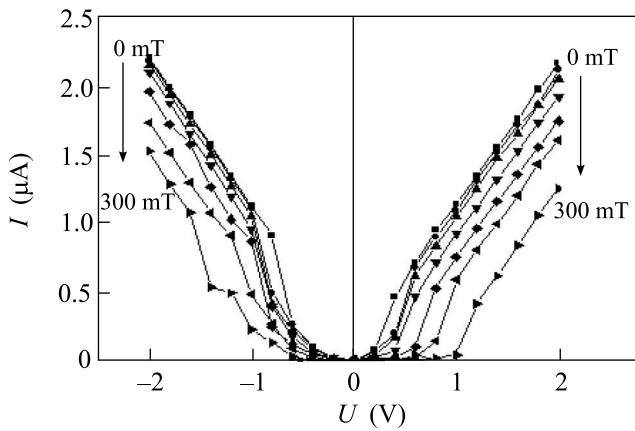


Рис.3. Вольтамперные характеристики структуры Fe–Ni–полимер–Cu при различных значениях магнитного поля в интервале 0–300 мТ. Стрелками указано направление увеличения магнитного поля. Кривые измерены при последовательном изменении магнитного поля с шагом 50 мТ. Знак напряжения соответствует знаку на ферромагнитной подложке

системе Ni – полимер – Cu, в пределах чувствительности измерительной аппаратуры, до значений электрического поля порядка 1 В. Затем, при увеличении напряжения, ток в системе начинает резко увеличиваться.

Анализ полученных вольт-амперных характеристик позволяет сделать следующие выводы. Внешнее магнитное поле оказывает сильное влияние на перенос заряда в системе Ni – полимер – Cu. При малых значениях поля это влияние носит монотонный характер, приводя к незначительному уменьшению проводимости системы. При превышении магнитным полем значения порядка 150–200 мТл сопротивление образца резко уменьшается. При этом изменяется и форма ВАХ. На характеристике четко выделяются три области: при малых напряжениях линейная область, вторая область является сверхлинейной с большим показателем степени – почти вертикальный участок, и опять линейный участок, но со значительно большим углом наклона по сравнению с первым.

На рис.3 видно, что ВАХ при 300 мТл имеет почти горизонтальный участок вплоть до 1 В. В третьей области наклон кривых ВАХ практически одинаковый, отличия заключаются в величине протекающего тока при данном значении магнитного поля.

На рис.4 показана зависимость магниторезистивного коэффициента (MR) от величины магнитного поля (перпендикулярного плоскости электрода), опре-

деленная при двух значениях приложенного напряжения ± 0.2 В. Оценка была проведена по формуле

$$MR = (R_0 - R_B)/R_0,$$

где R_0 и R_B – сопротивление экспериментальной структуры при нулевом магнитном поле и при неком значении магнитного поля B соответственно.

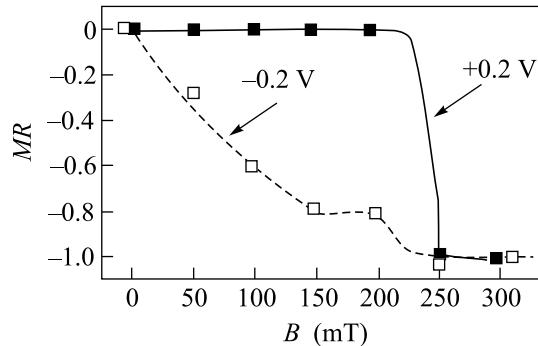


Рис.4. Зависимость величины магниторезистивного коэффициента от магнитного поля при разных напряжениях: ■ – (+0.2 В); □ – (−0.2 В). Знак полярности напряжения соответствует знаку на ферромагнитной подложке

Форма, которую приобретает ВАХ в магнитном поле, является типичной для переноса заряда с участием инжекционного механизма. Фактически эти результаты свидетельствуют о том, что регистрируемый эффект гигантского магнитосопротивления может иметь природу инжекционного гигантского магнитосопротивления, поэтому этот эффект и реализуется практически на одной границе раздела ферромагнетик – электроактивный полимер.

1. Н. В. Воробьев, А. Н. Лачинов, Б. А. Логинов, Поверхность **5**, 22 (2006).
2. А. Н. Лачинов, А. Ю. Жеребов, В. М. Корнилов, Письма в ЖЭТФ **52**, 742 (1990).
3. A. Yu. Zherebov and A. N. Lachinov, Synth. Metals **44**, 99 (1991).
4. В. М. Корнилов, А. Н. Лачинов, ЖЭТФ **111**, 1513 (1997).
5. А. Н. Лачинов, В. М. Корнилов, Т. Г. Загуренко, А. Ю. Жеребов, ЖЭТФ **129**, 728 (2006).
6. V. Dediu, M. Murgia, F. C. Matacotta et. al., Solid State Comm. **22**, 181 (2002).
7. L. V. Lutzev J. Phys. Cond. Matt. **18**, 5881 (2006).
8. Z. H. Xiong, Di Wu, Z. Valy Vardeny et. al., Nature **427**, 821 (2004).
9. Л. В. Луцев, А. И. Стогний, Н. Н. Новицкий, Письма в ЖЭТФ **81**, 636 (2005).