

Спин-зависимая туннельная проводимость в пленках TbCoFe/Pr₆O₁₁/TbCoFe

Н. Н. Крупа¹⁾

Институт магнетизма Национальной АН Украины, 03142 Киев, Украина

Поступила в редакцию 14 февраля 2008 г.

После переработки 7 апреля 2008 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований туннельного магнитосопротивления (TMR) в пленках TbCoFe/Pr₆O₁₁/TbCoFe при температуре 80 и 300 К. При переходе от состояния с намагниченностью слоев TbCoFe в одном направлении к состоянию с намагниченностью в противоположных направлениях величина сопротивления такой структуры увеличивается более чем в полтора раза при комнатной температуре и более чем в три раза при температуре 80 К. Величина TMR увеличивается при облучении области туннельного перехода излучением азотного лазера и при увеличении толщины барьерного слоя от 10 до 40 нм. Предполагается, что большое значение TMR достигается за счет использования парамагнитного барьерного слоя Pr₆O₁₁.

PACS: 73.40.—с, 75.70.Cn

Исследования спин-зависимого транспорта в твердых магнитных телах позволили не только установить основные физические закономерности этих процессов, но и заложить базу для создания новой области науки и техники, которую называют спинтроникой. В последние годы усилия научных работников главным образом концентрируются на поиске материалов с высокой степенью поляризации спинов, а также на разработке конкретных схем создания элементов управления спиновым током. Начиная с работы [1], одним из основных направлений таких исследований является изучение прохождения спинполяризованного тока через гетерогенные структуры [2, 3]. На базе таких пленочных структур уже созданы высокочувствительные магнитные сенсоры и получено рекордно большое значение туннельного магнитосопротивления (TMR) при прохождении спинового тока сквозь барьер из окиси магния [4].

Перспективными магнитными материалами для использования в элементах спинтроники являются аморфные ферромагнитные пленки сплава железа и тербия. Большая величина магнитного момента, коэрцитивной силы и энергии перпендикулярной анизотропии позволяет этим пленкам сохранять состояние, близкое к намагниченности насыщения при отсутствии внешнего магнитного поля, что должно обеспечивать в них достаточно высокую степень поляризации электронов. Изменяя относительный состав таких пленок, можно изменять в широких пределах ве-

личину их коэрцитивной силы [5], что является важным фактором в устройствах спинтроники.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования прохождения спинового тока сквозь туннельную нанопленочную структуру TbCoFe/Pr₆O₁₁/TbCoFe.

1. Эксперимент и полученные результаты. В работе использовались пленки SiO₂/Tb₁₉Co₅Fe₇₆/Pr₆O₁₁/Tb₂₂Co₅Fe₇₃/SiO₂, изготовленные на подложках из плавленого кварца методом электроннолучевого напыления в вакууме $P \leq 2 \cdot 10^{-9}$ Па. Вначале на подложку наносился защитный слой из SiO₂ толщиной 10 нм, и на него через маску наносилась полоска из Tb₁₉Co₅Fe₇₆ толщиной 20 нм и шириной 0.2–0.3 мм. Потом наносился барьерный слой переменной толщины 1–4 нм из Pr₆O₁₁, и дальше, перпендикулярно к первой полоске, наносилась вторая полоска из Tb₂₂Co₅Fe₇₃ толщиной 20 нм и шириной 0.2–0.3 мм. Сверху наносился защитный слой из SiO₂ толщиной до 40 нм. На края полосок из TbCoFe наносилась пленка из золота, которая служила для подпайки электродов.

Ферромагнитные аморфные слои, полученные из мишеней Tb₂₂Co₅Fe₇₃ и Tb₁₉Co₅Fe₇₆, с учетом небольших потерь тербия при напылении имеют состав, близкий к составу в точке компенсации железо-тербиевых пленок Tb₂₂Fe₇₈ (добавка кобальта только уменьшает старение и, практически, не изменяет магнитных характеристик слоя). Пленки такого состава имеют большую энергию перпендикулярной анизотропии, что обеспечивало в них высокую анизотропию намагниченности в направлении, пер-

¹⁾e-mail: Krupa@img.kiev.ua

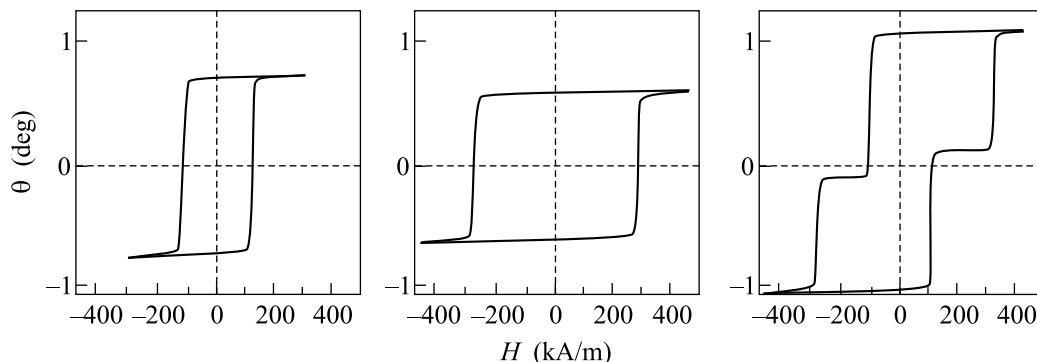


Рис.1. Зависимость угла Фарадея в исследуемых пленках от величины приложенного магнитного поля: пленка $Tb_{19}Co_5Fe_{76}$ (вверху); пленка $Tb_{22}Co_5Fe_{73}$ (посередине); туннельный контакт $SiO_2/Tb_{19}Co_5Fe_{76}/Pr_6O_{11}/Tb_{22}Co_5Fe_{73}/SiO_2$ (внизу)

пендикулярном к плоскости слоя. Кроме того, за счет небольшой разности в концентрации тербия коэрцитивная сила этих слоев сильно отличалась: величина коэрцитивной силы H для слоя $Tb_{22}Co_5Fe_{73}$ составляла $H_1 \approx 2.8 \cdot 10^5$ А/м, а для $Tb_{19}Co_5Fe_{76}$ $H_2 \approx 1.2 \cdot 10^5$ А/м (рис.1). Этот факт позволял перемагничивать низкокоэрцитивный слой $Tb_{19}Co_5Fe_{76}$, не изменяя направления намагниченности высококоэрцитивного слоя $Tb_{22}Co_5Fe_{73}$.

В описанных пленочных структурах исследовалось влияние взаимной ориентации магнитного момента в ферромагнитных слоях на величину туннельного тока при температуре 80 и 300 К. Внешнее магнитное поле прикладывалось перпендикулярно к плоскости пленок и изменялось от 0 до $7 \cdot 10^5$ А/м. При измерениях регистрировались величины напряжения и тока через туннельный контакт и напряженность приложенного магнитного поля. Кроме того, мы исследовали влияние на величину туннельного тока, сфокусированного в область туннельного контакта излучения азотного лазера.

Результаты изменения величины туннельного сопротивления R нашей пленочной структуры $Tb_{19}Co_5Fe_{76}/Pr_6O_{11}/Tb_{22}Co_5Fe_{73}$ от приложенного внешнего магнитного поля при температурах $T = 77$ и $T = 300$ К представлены на рис.2. Мы видим, что когда направления намагниченности в слоях $Tb_{19}Co_5Fe_{76}$ и $Tb_{22}Co_5Fe_{73}$ совпадают, величина R намного меньше, чем когда намагниченности в этих слоях имеют противоположное направление.

Если определять величину TMR как [4]

$$TMR = (R_{max} - R_{min})/R_{min}, \quad (1)$$

где R_{max} и R_{min} – максимальное и минимальное значения сопротивления исследуемой структуры, то мы видим, что величина TMR достигает значения при

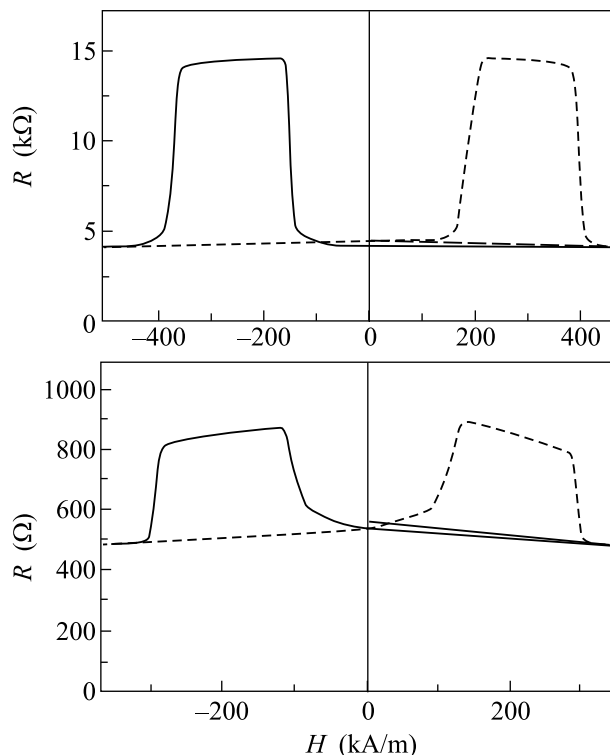


Рис.2. Зависимость величины сопротивления туннельного контакта $SiO_2/Tb_{19}Co_5Fe_{76}/Pr_6O_{11}/Tb_{22}Co_5Fe_{73}/SiO_2$ от приложенного магнитного поля: $T = 80$ К (вверху) и $T = 300$ К (внизу)

комнатной температуре 70% и при температуре жидкого азота 240%.

Величина туннельного сопротивления R для обеих температур практически линейно возрастает с увеличением толщины барьерного слоя Pr_6O_{11} (рис.3). При увеличении толщины барьерного слоя величина TMR также немного возрастает. Из-за недостатка данных трудно сказать о какой-то периодической за-

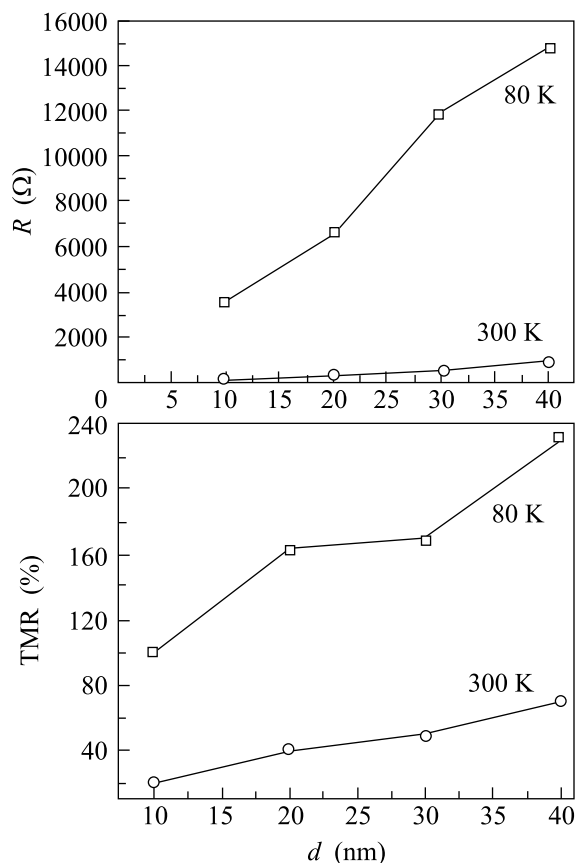


Рис. 3. Зависимость величины туннельного сопротивления R и магнитосопротивления TMR пленочной структуры $\text{SiO}_2/\text{Tb}_{19}\text{Co}_5\text{Fe}_{76}/\text{Pr}_6\text{O}_{11}/\text{Tb}_{22}\text{Co}_5\text{Fe}_{73}/\text{SiO}_2$ от толщины барьерного слоя Pr_6O_{11}

висимости величины TMR от толщины барьерного слоя Pr_6O_{11} , аналогичной наблюдаемой зависимости для случая использования в качестве барьерного слоя окиси магния [4].

Значительная разность в величинах туннельного сопротивления при $T = 300$ К $T = 80$ К может быть связана с вкладом в проводимость прыжковой про-

водимости, которая возникает в барьерном нанослое за счет неидеального интерфейса в пленочной структуре.

При облучении туннельной структуры излучением азотного лазера величина туннельного сопротивления уменьшается как при совпадении направления намагниченности в слоях $\text{Tb}_{19}\text{Co}_5\text{Fe}_{76}$ и $\text{Tb}_{22}\text{Co}_5\text{Fe}_{73}$, так и при противоположной направленности намагниченностей. Величина TMR при этом вначале немного (до 20%) возрастает и при высокой интенсивности излучения падает.

Таким образом, полученные результаты показывают, что туннельные пленочные структуры с проводящими магнитными слоями типа TbFe и барьерными слоями на основе окиси празеодима Pr_6O_{11} являются перспективным материалом для создания устройств спинтроники. Высокие значения TMR в таких структурах, по нашему мнению, достигаются за счет высокой степени поляризации электронов в аморфных ферромагнитных слоях TbFe, а также за счет особых свойств барьерного слоя Pr_6O_{11} . Окись празеодима является парамагнитным широкозонным полупроводником с большим значением эффективного магнитного момента. Температура Кюри данного материала равна 85 К. Мы считаем, что ферромагнитные слои за счет инжекции поляризованных электронов в тонкий нанослой Pr_6O_{11} могут изменять магнитные состояния этого нанослоя, что и дает дополнительный вклад в TMR.

1. M. Julliere, Phys. Lett., A **54**, 225 (1975).
2. I. Zutic and J. Fabian, Rev. Mod. Phys. **76**, 323 (2004).
3. T. L. Monchesky and J. Unguris, Phys. Rev. B. **74**, 241301 (2006).
4. S. Yuasa and D. D. Djayaprawira, J. Phys. D: Appl. Phys. **40**, R337 (2007).