

ВЛИЯНИЕ ОБМЕННОГО СМЕЩЕНИЯ НА МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ СПИНОВОГО ВЕНТИЛЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сергеев В.С.

Данилюк А.Л. – к.ф.-м.н., доцент

В рамках данной работы рассмотрены кривые магнетосопротивления для многослойных систем типа $Ni_{80}Fe_{20}/Cu/Ni_{80}Fe_{20}/Fe_{50}Mn_{50}$. Осуществлено интерпретирование кривых GMR в рамках модели минимальной энергии для ориентации намагниченности слоев $Ni_{80}Fe_{20}$. Обнаружено, что межслойная обменная связь ферромагнитна и монотонно убывает с ростом толщины слоя Cu. Взаимодействие этой связи с эффектом смещения обмена приводит к критической толщине прослойки, ниже которой не может быть реализовано идеальное антипараллельное выравнивание намагниченностей $Ni_{80}Fe_{20}$.

В последние годы возрос интерес к обменным смещениям в спиновых клапанах на основе многослойных структур типа $Ni_{80}Fe_{20}/Cu/Ni_{80}Fe_{20}/Fe_{50}Mn_{50}$. Исследование магниторезистивных эффектов таких структур могут быть полезными для применения в магниторезистивных считывающих головках, что важно для увеличения плотности записи. В большинстве отчетов до сих пор слои $Ni_{80}Fe_{20}$ практически не участвуют из-за относительно толстой медной прослойки. Однако при уменьшении толщины промежуточного слоя Cu обменные смещенные спиновые клапаны демонстрируют колебательное межслойное обменное соединение, похожее на то, что было обнаружено, например, в распыленных Fe/Cu и Co/Cu, многослойных мультислоях $Ni_{80}Fe_{20}/Cu$ и при полученных с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии системы Co/Cu/Co и Fe/Cu/Fe. Осциллирующая межслоевая обменная связь обеспечивала бы возможность создания смешанного смещенного спинового клапана многослойной структуры с несвязанными слоями $Ni_{80}Fe_{20}$ при относительно низкой толщине промежуточного слоя Cu, что обеспечивало бы относительно высокое магнетосопротивление. Однако до сих пор осциллирующая связь в обменных смещенных структурах спиновых клапанов сообщалась только для обменно-смещенных систем Co/Cu/Co с многослойным слоем Ru/Cu в качестве буферного слоя. Вторая цель изучения зависимости толщины межслойной толщины магнетосопротивление заключается в том, что любое неосцилляторное соединение, ферромагнитное или антиферромагнитное, может сильно влиять на форму кривых магнетосопротивления многослойных слоев с переменным диапазоном спинов.

В этом данной работе рассматривается влияние межслойной обменной связи на кривые $R(h)$, т. е. сопротивление обменных смещенных спиновых клапанных мультислоев в зависимости от приложенного магнитного поля. Одновременно с спиновым клапаном или гигантским магнетосопротивлением (GMR) необходимо учитывать анизотропное магнетосопротивление (AMR), поскольку переориентация магнитных слоев намагничивания подразумевает изменение угла между током и направлением намагничивания. Из расчетов модели следует, что ферромагнитная связь приводит к уменьшению разности полей переключения для обоих магнитных слоев. Когда сцепление превышает критическое значение, идеальное антипараллельное выравнивание намагниченностей не может быть реализовано, что приводит к уменьшению эффекта GMR.

Была использована следующая модель для расчета кривых $R(h)$ GMR для многоканального смешивания с замедленным обменом. Полная энергия системы определяется формулой:

$$E_{TOT}(H) = -\mu_0 M_1 t_1 H \cos \vartheta_1 - \mu_0 M_2 t_2 H \cos \vartheta_2 - E_{ED} \cos \vartheta_2 - J \cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (1)$$

Первые два члена представляют собой зеемановскую энергию магнитных слоев с намагниченностью M и толщиной t в магнитном поле H . Третий член соответствует энергии однонаправленной обменной анизотропии E_{EB} в обменно-смещенный слой $Ni_{80}Fe_{20}$, возникающий в результате обменного взаимодействия $Ni_{80}Fe_{20}/Fe_{50}Mn_{50}$. Одноосная анизотропия, индуцированная внешним полем при росте, очень мала и поэтому пренебрегается. Четвертый член дает обменную связь между обеими $Ni_{80}Fe_{20}$ над прослойкой Cu с параметром обменной связи J . Направления векторов намагниченности $Ni_{80}Fe_{20}$ M_1 и M_2 в зависимости от приложенное поле можно определить, минимизируя полную энергию системы по отношению к ϑ_1 и ϑ_2

$$\left(\frac{\partial E_{TOT}}{\partial \vartheta_1}\right)_{\vartheta_2, H} = 0, \quad \left(\frac{\partial E_{TOT}}{\partial \vartheta_2}\right)_{\vartheta_1, H} = 0, \quad (2)$$

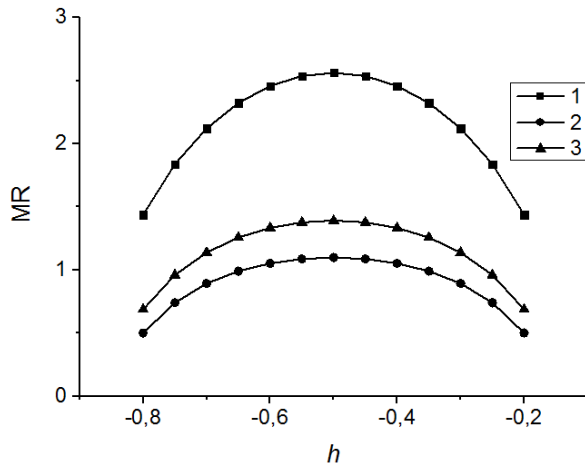
Чтобы упростить обозначение, введем теперь следующие безразмерные величины:

$$j = \frac{J}{E_{EB}}, \quad h = \frac{\mu_0 M_2 t_2 H}{E_{EB}} = \frac{H}{H_{EB}} \quad (3)$$

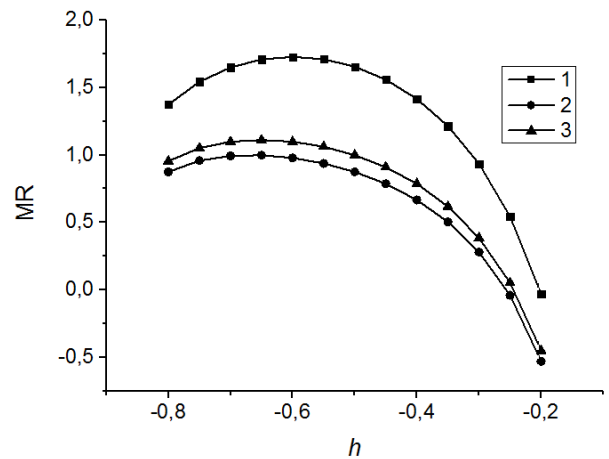
$$x = \frac{M_1 t_1}{M_2 t_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad (M_1 = M_2). \quad (4)$$

Несколько наборов углов $\vartheta_1(h)$ и $\vartheta_2(h)$ удовлетворяют уравнению (2). Решение минимальной полной энергии, $\vartheta_{1, \min}(h)$ и $\vartheta_{2, \min}(h)$ можно найти, вставив все возможные решения в уравнение (1). Гигантское магнетосопротивление может быть рассчитано как:

$$r(h) = 1 + \frac{1}{2} \{1 - \cos[\vartheta_{1,min}(h) - \vartheta_{2,min}(h)]\} \quad (5)$$



(a)



(б)

Рисунок 1. (а) Вычисленные кривые $r(h)$ для $x = 1$ в зависимости от безразмерного параметра связи j : 1 – $j=0.2$; 2 – $j=0.8$; 3 – $j=1$. Критический параметр связи $j_{crit} = 1/4$. Максимум в сопротивлении сильной связи находится при $h = -1 / (1 + x) = -0.5$. (б) Вычисленные кривые $r(h)$ для $x = 4/3$ в зависимости от параметра безразмерной связи j . Критический параметр связи $j_{crit} = 0.287$, максимум сопротивления для сильной связи находится при $h = -1 / (1 + x) = -0.427$.

Таким образом в рамках данной работы было проведено исследование влияние межслойной обменной связи на магниторезистивное поведение многослойных спиновых клапанов с обменным смещением $Ni_{80}Fe_{20}/Cu$. Обнаружено, что обменная связь по прослойке Cu носит ферромагнитный характер и монотонно убывает с ростом толщины слоя Cu. Критическая толщина промежуточного слоя, ниже которой невозможно реализовать идеальное антипараллельное выравнивание намагниченностей, оказалась равной 1,5 нм, что соответствует константе обменной связи $J_{crit} = 0,037$ мДж /м². Это определяется взаимодействием между межслоевое обменное взаимодействие и эффектом обменного смещения. Максимальное GMR, равное 4,3%, достигается при $t_{Cu} = 2,2$ нм. Присутствие максимума и его положения определяется балансом между двумя противодействующими эффектами, т. е. эффектами шунтирования в слое Cu и изменением в передаче без рассеяния поляризованных электронов на слое Cu, по сравнению с ферромагнитной межслойной обменной связью с неоднородной силой сцепления.

Список использованных источников:

1. Diény B., Speriosu V. S., Metin S., Parkin S. S. P., Gurney B. A., and Wilhoit D. R., *J. Appl. Phys.* **69**, 4774 (1991).
2. Diény B., Speriosu V.S., Parkin S.S.P., Gurney B.A., Wilhoit D.R. and Mauri D., *Phys. Rev. B* **43**, 1297 (1991).
3. Parkin S. S. P., *Appl. Phys. Lett.* **61**, 1358 (1992).
4. Mosca H., Petroff F., Fert A., Schroeder P. A., Pratt W. P., Laloe R., *J. Magn. Magn. Mater.* **94**, L1 (1991).