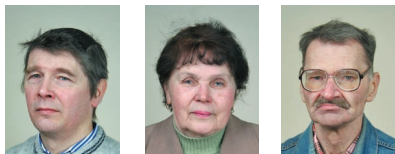


Магнитооптика наногетероструктур и антиферромагнитных металлов

Лобов И.Д., Кириллова М.М., Маевский В.М.



В магнитных наногетероструктурах $Fe/X/Fe$ ($X= GaAs, ZnTe, SiC$) на ИК частотах обнаружен и изучен магниторефрактивный эффект (МРЭ), являющийся оптическим аналогом магниторезистивного эффекта. На основании исследования МРЭ, экваториального эффекта Керра и магнитных характеристик определены условия возникновения в указанных структурах межслоевого обменного взаимодействия антиферромагнитного (АФМ) типа и магниторезистивных свойств. В АФМ хrome впервые зафиксированы магнитооптические экваториальный и полярный эффекты Керра. Результаты используются для объяснения особенностей магнитооптических свойств наноструктур Fe/Cr со сверхтонкими слоями железа.

Магнитооптика наногетероструктур

Магнитооптические методы, обладающие высокой чувствительностью и информативностью, применены для изучения магнитного состояния и обменного взаимодействия в спин-туннельных структурах. Негиротропный (четный по намагниченности) магниторефрактивный эффект определяется диагональными компонентами тензора диэлектрической проницаемости и обусловлен асимметрией рассеяния электронов проводимости с противоположным направлением спинов на границах ферромагнитных (ФМ) слоев. То обстоятельство, что МРЭ, GMR и межслоевой обмен имеют общий источник формирования, позволяет использовать МРЭ для бесконтактного тестирования магниторезистивных материалов и исследования

межслоевого обмена. Гиротропный (нечетный по намагниченности) экваториальный эффект Керра (ЭЭК, δ_p -эффект) обусловлен механизмом спин-орбитального взаимодействия и связан с недиагональной компонентой тензора диэлектрической проницаемости.

Наноструктуры: $Fe-GaAs(t_x)-Fe$, $Fe-ZnTe(t_x)-Fe$ и $Fe-SiC(t_x)-Fe$ (толщина полупроводниковых слоев $t_x=(8-25)\text{\AA}$, $t_{Fe}=25\text{\AA}$) приготовлены методом магнетронного ВЧ распыления с защитным покрытием из A_2O_3 . Измерения МРЭ проводились на участке спектра (1-11)мкм. По определению, величина эффекта $r(H)=[R(0)-R(H_s)]/R(H_s)$, где H_s – поле насыщения, достигает максимального значения при переходе АФМ конфигурации магнитных моментов соседних слоев к ФМ конфигурации.

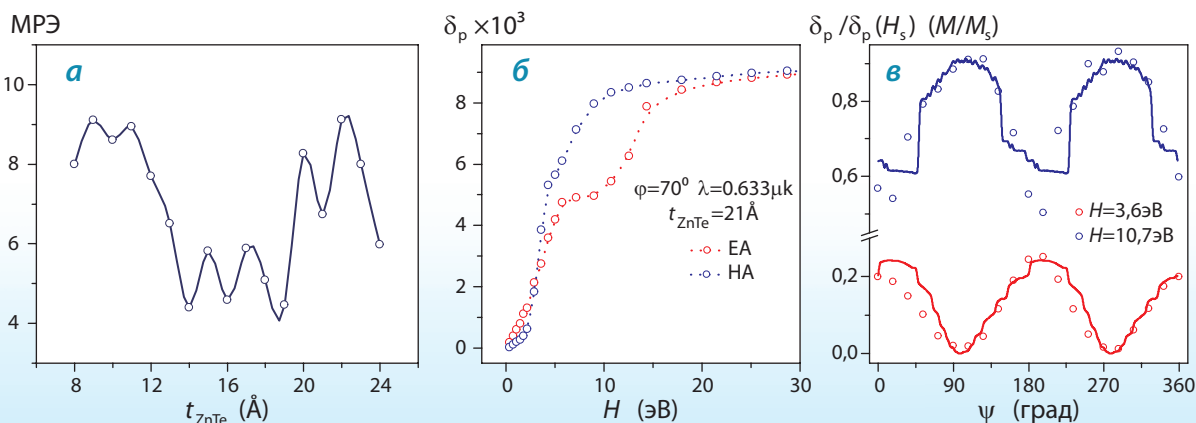


Рис. 1

а – зависимость МРЭ от толщины слоя ZnTe при $H=54\text{ Э}$ и $\lambda=2.52\text{ мкм}$; **б** – полевые зависимости ЭЭК вдоль легкой (EA) и трудной (HA) осей; **в** – азимутальные зависимости нормированного ЭЭК (символы) и рассчитанного отношения M/M_s (линии) для случая $t_{ZnTe}=10\text{\AA}$ приведены для двух значений магнитного поля.

Исследование зависимости МРЭ от толщины спейсера показало, что в каждой гетероструктуре существуют определенные области толщин, где величина эффекта максимальна. *Рис.1а* демонстрирует это на примере Fe/ZnTe/Fe.

Полевые зависимости ЭЭК (*рис.1б*) в исследуемых структурах имеют необычный ход. На кривых $\delta_p(H)$ вдоль трудной оси (*HA*) при толщинах спейсера, отвечающих максимумам МРЭ, наблюдаются особенности в виде изломов. В рамках модели косвенного обменного взаимодействия показано, что особенности на кривых $\delta_p(H)$ и нормированной намагниченности M/M_s хорошо воспроизводятся только при учете межслоевого обменного взаимодействия (*рис.1в*). Выполненные на сэндвичах с прослойкой ZnTe температурные измерения *ас*-магнитной восприимчивости подтвердили возникновение межслоевого обменного взаимодействия с ростом температуры.

Таким образом, анализ данных по магнито-рефрактивному эффекту, кривых намагничивания $\delta_p(H)$ и *ас*-магнитной восприимчивости свидетельствует о наличии слабого межслоевого обменного взаимодействия АФМ-типа и об усилении магниторезистивных свойств в сэндвичах Fe/*X*/Fe (*X*=GaAs, ZnTe, SiC) при толщинах слоев: $t_{\text{GaAs}}=(20-22)\text{\AA}$, $t_{\text{ZnTe}}=(8-12)\text{\AA}$ и $(20-23)\text{\AA}$, $t_{\text{SiC}}=(16-18)\text{\AA}$.

Магнитооптические эффекты в хrome

Хром является металлическим антиферромагнетиком с температурой Нееля $T_N=311.5\text{K}$, в котором реализуется волна спиновой плотности с волновым вектором $\mathbf{q}=(2\pi/a)(1-\delta), 0, 0)$. Магнитооптические свойства Cr ранее не изучались. В АФМ Cr нами впервые обнаружен экваториальный эффект Керра, величина которого в магнитном поле $H=10\text{кЭ}$ составляет $\sim 0.2\%$ от ЭЭК в Fe (*рис.2а*). Определена недиагональная компонента тензора оптической проводимости хрома (*рис.2в*).

В Cr зафиксирован полярный эффект Керра (*рис.2г*). Поворот плоскости поляризации электромагнитной волны при $H=10\text{кЭ}$ составляет $\alpha_K=1.5\times 10^{-3}$ град. Оба эффекта наблюдаются в области интенсивного межзонного поглощения света (*рис.2б*).

Таким образом, впервые в АФМ 3d-переходном хrome наблюдались экваториальный и полярный эффекты Керра. Отметим, что наличие магнитооптического отклика в хrome необходимо учитывать при анализе магнитооптических свойств слоистых и гранулированных наноструктур, содержащих Cr в виде прослоек или матрицы.

Более подробно с представленными результатами и выводами можно ознакомиться в публикациях [1-3].

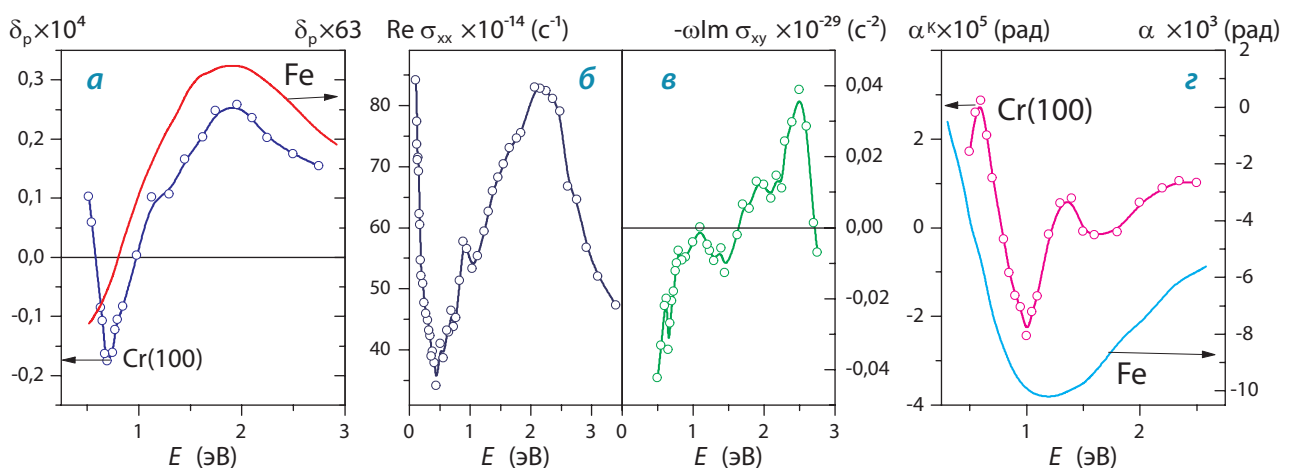


Рис. 2

а - спектры ЭЭК для Cr и Fe при $\varphi=70^\circ$; **б** - спектр оптической проводимости Cr; **в** - спектр мнимой части недиагональной компоненты тензора оптической проводимости; **г** - спектры полярного эффекта для Cr и Fe.

¹ Lobov I.D., Pudonin F.A., Kirillova M.M., Korolev A.V., Maevskii V.M. *J. Magn. Magn. Mater.* 264 (2003) 163

² Lobov I.D., Kirillova M.M., Romashev L.N., Ustinov V.V., Maevskii V.M., Milyaev M.A. *J. Magn. Magn. Mater.* 300 (2006) e359

³ Лобов И.Д., Маевский В.М., Кириллова М.М., Королев А.В., Пудонин Ф.А. *ФММ* 102 (2006) 162