

Формирование спинового тока на интерфейсе платина/графен

П.Н. Скирдков<sup>1,2</sup>, А.М. Шикин<sup>3</sup>, И.И. Климовских<sup>3</sup>, А.А. Рыбкина<sup>3</sup>, А.Г. Рыбкин<sup>3</sup>, К.А. Звездин<sup>1,2</sup>, А.К. Звездин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Институт общей физики РАН им. А.М. Прохорова

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

Управление намагниченностью в низкоразмерных системах без использования внешнего магнитного поля, основанное на спин-орбитальном взаимодействии, привлекает последнее время повышенное внимание в связи с возможностью создания нового поколения спиновых устройств. Выделяется два используемых для этих целей эффекта: спиновый эффект Холла и эффект Рашбы. При этом уже есть экспериментальное подтверждение возможности перемагничивания ферромагнитной плёнки как за счёт первого [1], так и за счёт второго [2] из упомянутых эффектов. В качестве материала, обеспечивающего достаточную величину спин-орбитального взаимодействия, как правило, используют тяжёлые проводящие элементы (чаще всего это платина или тантал).

Другим вызывающим повышенный интерес материалом является графен. В контексте управления намагниченностью из свойств графена в первую очередь можно отметить длину спиновой диффузии, превышающую 100 микрон [3], что существенно расширяет возможности использования спиновых токов на практике. Однако спин-орбитальное взаимодействие графена мало и имеет порядок нескольких единиц мэВ. В работе [4] было предложено использовать интерфейс золото/графен, чтобы увеличить величину спин-орбитального взаимодействия.

В данной работе был рассмотрен интерфейс платина/графен [5]. Методом фотоэмиссионной спектроскопии с угловым и спиновым разрешением была исследована спиновая и электронная структура интерфейса. Полученные результаты свидетельствуют о линейности дисперсионной зависимости  $\pi$  состояний графена и расположении точки Дирака вблизи уровня Ферми. Полученный фотоэлектронный спектр со спиновым разрешением позволяет утверждать, что взаимодействие графена с Pt 5d состояниями приводит спиновому расщеплению  $\pi$  состояний графена на величину 80 мэВ на уровне Ферми. Теоретически на основе решения кинетического уравнения Больцмана и гамильтониана Рашбы для двумерного электронного газа было показано, что в данной системе возникают спиновый ток и спиновая аккумуляция в случае приложения электрического поля или градиента

температур. Был предложен механизм появления вращающего момента в магнитном слое, нанесённом на графен, основанный на обменном взаимодействии намагниченности магнитного слоя и спиновой аккумуляции интерфейса. С учётом экспериментально обнаруженной величины спин-орбитального расщепления была оценена характерная величина создаваемого вращающим моментом эффективного поля (1 Э на каждые 10 мкВ/нм). На основе этих данных микромагнитно были рассчитаны процессы переключения магнитного слоя в зависимости от его размеров и анизотропии.

Полученные результаты говорят о возможности применения интерфейса платина/графен для создания спинтронных устройств со спин-орбитальным контролем намагниченности.

#### Литература

1. *Liu L., Pai C.-F., Li Y., Tseng H.W., Ralph D.C., Buhrman R.A.* Spin-Torque Switching with the Giant Spin Hall Effect of Tantalum // *Science* – 2012. – V. 336, N 6081. – P. 555-558.
2. *Miron I.M., Garello K., Gaudin G., Zermatten P.-J., Costache M.V., Auffret S., Bandiera S., Rodmacq B., Schuhl A., Gambardella P.* Perpendicular switching of a single ferromagnetic layer induced by in-plane current injection // *Nature* – 2011. – V. 476 – P. 189–193.
3. *Dlubak B., Martin M.-B., Deranlot C., Servet B., Xavier S., Mattana R., Sprinkle M., Berger C., De Heer W.A., Petroff F., Anane A., Seneor P., Fert A.* Highly efficient spin transport in epitaxial graphene on SiC // *Nature Physics* – 2012. – V. 8 – P. 557–561.
4. *Marchenko D., Varykhalov A., Scholz M.R., Bihlmayer G., Rashba E.I., Rybkin A., Shikin A.M., Rader O.* Giant Rashba splitting in graphene due to hybridization with gold // *Nature Communications* – 2012. – V. 3, N 1232.
5. *Shikin A.M., Rybkina A.A., Rybkin A.G., Klimovskikh I.I., Skirdkov P.N., Zvezdin K.A., Zvezdin A.K.* Spin current formation at the graphene/Pt interface for magnetization manipulation in magnetic nanodots // *Appl. Phys. Lett.* – 2014. – V. 105 – P. 042407.