Спиновая поляризация и спин-зависимый транспорт в кристаллическом топологическом изоляторе PbSnTe

Терещенко О.Е.¹, Голяшов В.А.¹, Кавеев А.К.², Климов А.Э.^{1,3}, Акимов А.Н.¹,
Тарасов А.С.¹, Ищенко Д.В.¹, Супрун С.П.¹, Ахундов И.О.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Иоффе Институт, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

³ НГТУ, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

DOI 10.34077/Semicond2019-277

Кристаллические топологические изоляторы (ТИ) расширяют класс трехмерных топологических изоляторов, чьи экзотические поверхностные состояния защищены кристаллической симметрией, а не симметрией обращения времени. Такие материалы характеризуются уникальной электронной и спиновой структурой: одновременным наличием объемной запрещенной зоны и Дираковским конусом спин-поляризованных поверхностных состояний проводимости, формируемых вследствие сильного спин-орбитального взаимодействия. Для выделения поверхностного транспорта и, как следствие, потенциального применения ТИ в спинтронике важно иметь суммарное удельное сопротивление, величину которого преимущественно определяют топологически защищенные поверхностные состояния. Несмотря на большие усилия сделать ТИ материал на основе Bi_2Se_3 и его сплавов с низкой концентрацией объёмных носителей заряда, не удаётся повысить его объемное удельное сопротивление выше нескольких Ом·см. Твердый раствор $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ открывает новые возможности для изучения проявления ТИ свойств поверхностного состояния в транспортных измерениях. PbTe ($x=0$) является тривиальным изолятором, при $x\sim 0.30-0.35$ происходит топологический квантовый фазовый переход, связанный с инверсией зон, и появляется нетривиальное поверхностное состояние.

В качестве образцов в настоящей работе использовались пленки $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ состава $x\sim 0.3$, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках BaF_2 . Измерения, проведенные методом фотоэмиссии с угловым и спиновым разрешением, показали наличие поверхностного состояния с линейным законом дисперсии дираковского типа, при этом уровень Ферми находится в запрещенной зоне и пересекает поверхностное состояние в точке Дирака. Измерение спиновой поляризации фотоэлектронов, эмитированных из конуса Дирака, показало наличие геликоидальной спиновой текстуры и значение поляризации свыше 30%. Для изучения спин-зависимого транспорта были изготовлены структуры с парой ферромагнитных контактов Co и $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$, осажденных через маски на поверхность пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ на различном расстоянии друг от друга, что соответствует геометрии измерения локального спин-вентильного эффекта. Методом МОЭК было установлено, что легкая ось намагниченности контактов лежит в плоскости поверхности, магнитные свойства изотропны в ней, а коэрцитивные поля составляют 10 мТл и 5 мТл для контактов Co и CoFeB , соответственно. Для всех ориентаций магнитного поля в магнитосопротивлении наблюдается гистерезис в области полей, которые соответствуют коэрцитивным полям ферромагнитных контактов. В геометрии, когда ориентация поля $\mathbf{B}$ перпендикулярна направлению тока между контактами, наблюдается классический спин-вентильный эффект. Разница значений сопротивлений при параллельном и антипараллельном направлениях намагниченности инжекционного и детектирующего контактов $\Delta R/R_{\text{пар}}$ составила около 0.15 %. Показано, что в кристаллическом ТИ PbSnTe проявляется спин-вентильный эффект в локальной геометрии на удалении ферромагнитных контактов более 50 мкм и температуре свыше 30 К. Возможным объяснением столь значительной диффузионной спиновой длины является наличие спин-поляризованных поверхностных состояний, обнаруженных нами с помощью метода фотоэмиссии с угловым и спиновым разрешением.

Работа частично поддержана проектами РФФИ 17-02-00575 и 17-02-00729.