

УДК 537.9

Шумовая термометрия краевых каналов в двумерном топологическом изоляторе

С.В. Петруша

Институт физики твердого тела РАН

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Топологические изоляторы представляют собой перспективный тип материала, обладающий диэлектрическим объемом и проводящими состояниями на поверхности [1]. Двумерные топологические изоляторы могут быть реализованы в квантовых ямах HgTe внутри CdTe. В CdTe зона проводимости образована состояниями с p симметрией, а валентная зона состояниями с s симметрией. В HgTe состояния с s симметрией расположены выше по энергии, чем с p [2]. При ширине квантовой ямы более 6.3 нм наблюдается инверсия зон, и на границе HgTe/CdTe возникают бесщелевые краевые состояния с линейным спектром и связью между направлением движения электрона с его спином [1]. При помещении уровня ферми между валентной зоной и зоной проводимости при низкой температуре, объем квантовой ямы не проводит электрический ток. Транспортные свойства структуры в таком режиме определяются краевыми состояниями.

В то время как существование краевых каналов подтверждено как непосредственными транспортными измерениями нелокального сигнала [3], так и измерениями магнитного поля в области предполагаемого протекания тока [4], теоретически предсказанные свойства этих каналов не получили полного подтверждения. В частности, не наблюдается явления топологической защиты, когда электроны, движущиеся в краевом канале не должны рассеиваться назад, так как такое рассеяние требует переворота спина. Для длинных краев измеренное сопротивление оказывается много большим кванта сопротивления, ожидаемого для баллистического транспорта [5]. Механизм рассеяния электронов в краевых каналах на данный момент не ясен. Критике подвергается и предполагаемая одноканальность краевых состояний [6].

Рассматриваемые в данной работе образцы представляют собой квантовые ямы HgTe/CdTe с шириной 8 нм и геометрией холловского моста [6]. Образцы обладают проводимостью n-типа, связанной с легированием примесями, поэтому для смещения уровня ферми в запрещенную зону требуется приложение отрицательно затворного напряжения ~ -2.5 В (рис. 1). Исследуемые образцы имеют длинные края с сопротивлением порядка 150 кОм, что позволяет изучать механизм рассеяния носителей в краевых каналах. Наличие краевого транспорта подтверждается измерениями нелокального сигнала при изменении затворного напряжения (рис. 1).

Измерение шумового сигнала для края показало линейную зависимость избыточной

спектральной плотности мощности от протекающего через край тока вплоть до напряжений на краевом канале, многократно превышающих температуру образца. Попытка интерпретировать эти данные как дробовой шум приводит к фактору Фано, отличному от значения для одноканального баллистического или диффузного проводника. Предполагается, что такая зависимость может свидетельствовать о перегреве электронного газа в канале, и избыточная мощность вызвана тепловыми флуктуациями разогретого газа. Данные шумовой термометрии, перестроенные в зависимость температуры электронного газа от мощности, выделяющейся в канале, (рис. 2) потенциально могут быть использованы для определения механизма рассеяния носителей в краевом канале.

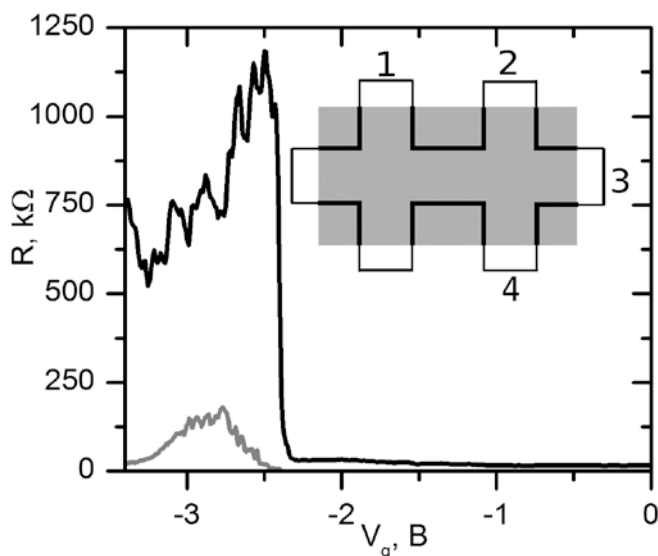


Рис. 1 Черная линия – локальное сопротивление с контакта 3 при закороченных остальных контактах. Серая – нелокальное сопротивление, ток 3-4, напряжение 2-1.

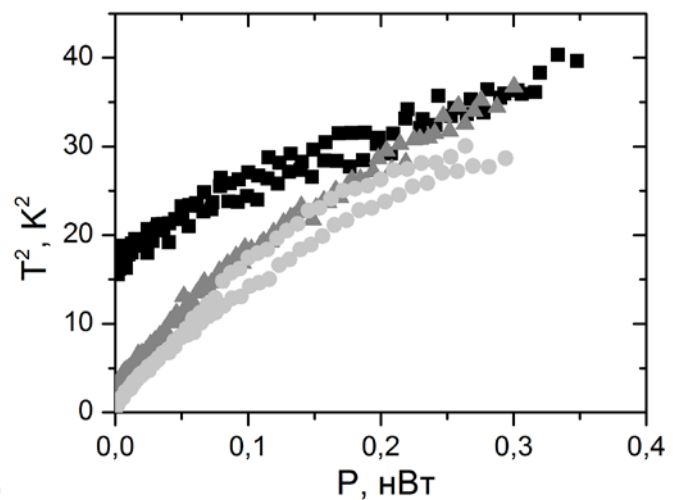


Рис. 2 Зависимость температуры электронного газа от выделяемой мощности для различной температуры образца: ● 0.5К ▲ 1.6К ■ 4.2К

Литература

1. Hasan, M.Z., Kane, C.L. Colloquium: Topological insulators. – Reviews of Modern Physics 82(4) – 2010 – 3045-3067.
2. Chadi, D.J. et al. Reflectivities and Electronic Band Structures of CdTe and HgTe. - 1972 - Physical Review B 5(8) – pp. 3058-3064.
3. Konig, M. et al. Quantum spin hall insulator state in HgTe quantum wells. - Science 318(5851) – 2007 – pp. 766-770.
4. Nowack, K.C. et al. Imaging currents in HgTe quantum wells in the quantum spin Hall regime. – Nature Materials 12(9) – 2013 – pp. 787-791.
5. Gusev, G.M. et al. Transport in disordered two-dimensional topological insulators. – Physical Review B 84(12) – 2011
6. Tikhonov, E.S., et al. Shot noise of the edge transport in the inverted band HgTe quantum wells." JETP Letters 101(10) – 2015 – pp. 708-713.