Спиновое расщепление поверхностных состояний в 20 нм HgTe квантовой яме

Добрецова А.А.^{1,2}, Квон З.Д.^{1,2}, Криштопенко С.С.^{3,4}, Михайлов Н.Н.¹, Дворецкий С.А.¹

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

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ ИФМ РАН, 603950, Нижний Новгород, ул. Академическая, 7

⁴ Laboratoire Charles Coulomb, UMR CNRS 5221, University of Montpellier, 34095, Montpellier, France

DOI 10.34077/Semicond2019-221

Поверхностные состояния в пленках трехмерного топологического изолятора, как известно, демонстрируют значительное Рашба-подобное спиновое расщепление, которое обусловлено разницей в электрических потенциалах двух поверхностей пленки [1]. Такое спиновое расщепление было впервые обнаружено в квантовых ямах Bi_2Se_3 [2] — обычном трехмерном топологическом изоляторе с дираковскими поверхностными состояниями. Спиновое расщепление также наблюдается для поверхностных состояний в квантовых ямах на основе HgTe и естественно связано со спиновым расщеплением подзоны H_1 . В ранних экспериментальных работах для 12 - 21 нм широких HgTe ям [3] большое спиновое расщепление подзоны H_1 объяснялось расщеплением Рашбы в двумерных системах, усиленное узкой щелью, большим спин-орбитальным взаимодействием и природой тяжелых-дырок подзоны H_1 . Последнее, однако, противоречит тому обстоятельству, что спиновое расщепление остальных подзон зоны тяжелых дырок H_2 , H_3 и т. д. значительно меньше.

В настоящей работе [4] мы исследовали спиновое расщепление зоны проводимости 20-22 нм HgTe квантовых ям с асимметричным профилем, варьируемым напряжением на верхнем затворе. Картина биений в осцилляциях Шубникова — де Гааза, обнаруженная во всех образцах при приложенном затворном напряжении, указывает на два типа электронов с различными концентрациями на уровне Ферми, возникающих вследствие Рашба-подобного спинного расщепления первой подзоны проводимости H_1 . Разность двух концентраций ΔN_s как функция затворного напряжения качественно объясняется предложенной упрощенной электростатической моделью поверхностных состояний, локализованных на гетерограницах квантовых ям (см. рис. 1).

Экспериментальные значения ΔN_s также находятся в хорошем количественном согласии с самосогласованными расчетами уравнений Пуассона и Шредингера с восьмизонным $\mathbf{k}\mathbf{p}$ гамильтонианом. Полученные результаты наглядно демонстрируют, что большое спиновое расщепление первой подзоны проводимости обусловлено поверхностной природой состояний H_1 .

[1] W.-Y. Shan et al., *New J. Phys.* **12**, 043048 (2010).

[2] H. Zhang et al., *Nat. Phys.* **5**, 438 (2009).

[3] X.C. Zhang et al., *Phys. Rev. B* **63**, 245305 (2001); Y.S. Gui et al., *Phys. Rev. B* **70**, 115328 (2004); K.E. Spirin et al., *JETP Lett.* **92**, **63** (2010).

[4] A.A. Dobretsova et al., *Low Temp. Phys.* **45**, 185 (2019).

Рис.1. Разность концентраций поверхностных электронов $\Delta N_s =$ на верхней и нижней границах ямы в зависимости от полной концентрации N_s . Красные точки - экспериментальные данные, зеленая линия - расчет в рамках "игрушечной" электростатической модели, синяя линия - самосогласованное решение уравнения Пуассона и Шредингера с 8-зонным гамильтонианом Кейна.