Исследования энергетического спектра квазидвумерных структур HgTe/CdHgTe магнитотранспортными методами

М.В. Якунин¹, С.М. Подгорных¹, А.В. Суслов², С.С. Криштопенко³, В. Jouault³, W. Desrat³, F. Terpe³,
В.Н. Неверов¹, М.Р. Попов¹, Н.Н. Михайлов⁴, С.А. Дворецкий⁴

¹ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург 620137, С.Ковалевской 18

² National High Magnetic Field Laboratory, Florida State University, 1800 East Paul Dirac Drive,
Tallahassee, Florida 32310, USA

³ Laboratoire Charles Coulomb, UMR 5221 Centre National de la Recherche Scientifique,
University of Montpellier, F-34095 Montpellier, France

⁴ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск 630090,
пр. Лаврентьева 13

тел: +7 (343) 378-3644, эл. почта: yakunin@imp.uran.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-20

Представлены результаты исследований специфики энергетического спектра гетероструктур на основе HgTe, характеризующегося инверсным расположением зон, образованных s -орбиталями (состояния типа E), и зон, сформированной p -орбиталями (состояния типа H), при толщинах слоев HgTe, близких к критической величине в 6.3 нм, и более.

При больших толщинах слоя HgTe зона проводимости формируется состояниями типа H (как и валентная зона), поэтому она характеризуется большим g -фактором, который к тому же анизотропен, то есть в наклонных полях величина спиновых расщеплений определяется не только полной величиной поля, но и соотношением его перпендикулярной слою и параллельной компонент. Представлены исследования анизотропии g -фактора зоны проводимости слоя HgTe толщиной 20 нм, а также возникающих вследствие обменного взаимодействия антипересечений уровней Ландау [1].

Простейшим вариантом многослойной системы является двойная квантовая яма (ДКЯ), состоящая из двух квазидвумерных слоев HgTe, разделенных тонким барьером $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, и окруженная таким же материалом. Если слои HgTe достаточно толстые (20 нм у нас), то актуальные состояния формируются в основном тяжелыми дырками (состояния H), для которых интенсивность туннелирования через барьер невелика. Поэтому общий спектр формируется наложением спектров отдельных слоев, возможно с их взаимным смещением по энергии, с некоторым влиянием формирующихся по периметру топологических состояний. В таких системах можно регулировать степень перекрытия зон проводимости и валентной, изменяя профиль ДКЯ приложением напряжения к нанесенному на поверхность затвору [2]. Этим регулируется соотношение между электронами и дырками в системе.

Самые необычные спектры формируются в ДКЯ при толщине слоев HgTe, близкой к критической (от 6.5 до 8.5 нм в наших экспериментах). В этом случае актуальными являются не только состояния типа H , но и состояния E , для которых туннельная связь между слоями велика, что качественно преобразует весь спектр. В результате образуются весьма экзотические варианты коллективного спектра от аналога двуслойного графена (при 6.5 нм) до спектра с очень узкой щелью (для 8.5 нм), чувствительной к внешним воздействиям. Экспериментально показано [3], что из-за наложения серий уровней Ландау типа H и E может наблюдаться нетрадиционная возвратная картина квантового эффекта Холла, из которой можно анализировать характер состояний на уровнях – электронный или дырочный, а также определить детали профиля потенциала ДКЯ, оценить наличие антипересечений между уровнями. Формирующиеся боковые максимумы в подзонах энергетического спектра позволяют исследовать проблему резервуара малоподвижных носителей тока в сочетании с высокоподвижными в центральных экстремумах зон. В структурах с узкой щелью показано, что параллельное слоям магнитное поле способно таким образом влиять на энергетический спектр, что изменяется тип высокоподвижных носителей с дырок на электроны.

Исследования поддержаны грантом Министерства науки и высшего образования № 075-15-2020-797 (13.1902.21.0024).

Литература

- [1] M.V. Yakunin *et al.*, Phys. Rev. B. 2012. V.85. 245321.
- [2] M.V. Yakunin *et al.*, Phys. Rev. B. 2016. V.93. 085308.
- [3] M.V. Yakunin *et al.*, JETP Letters. 2016. V.104. P.403-410; Phys. Rev. B. 2020. V.102. 165305.