Поправки высших порядков к спин-орбитальному взаимодействию в полупроводниковых квантовых ямах

Зайнагутдинов А.Р., Артамонов Д.М., Кулаков Д.А., Дегтярев В.Е., Хазанова С.В.,
Конаков А.А.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

DOI 10.34077/Semicond2019-294

Как известно, структура эффективного гамильтониана спин-орбитального взаимодействия (СОВ) в двумерном электронном газе определяется симметрией системы [1]. В линейном по волновому вектору приближении гамильтониан СОВ в двумерной электронной системе может быть записан следующим образом:

$$\hat{H}_{so}(k_x, k_y) = (\vec{\alpha}_1 \cdot \hat{\sigma})k_x + (\vec{\alpha}_2 \cdot \hat{\sigma})k_y, \quad (1)$$

где 2 символических вектора $\vec{\alpha}_1$ и $\vec{\alpha}_2$ описывают параметры СОВ, k_x и k_y – компоненты двумерного волнового вектора в плоскости электронного газа. Опираясь только на симметричные соображения, нами в [2] было показано, что спиновая SU(2) симметрия и известный режим устойчивого спинового хеликса [3] могут быть реализованы в широком классе полупроводниковых квантовых ям (КЯ), в т.ч. выращенных в направлении $[h\ k\ l]$ с тремя различными индексами Миллера, при условии:

$$[\vec{\alpha}_1 \times \vec{\alpha}_2] = \vec{0}, \quad (2)$$

которое определяется только величинами параметров СОВ, реализованных в конкретном случае. Однако этот результат оказался в противоречии с результатами работы [4], где предсказано, что устойчивые спиновые хеликсы в КЯ на основе полупроводников со структурой цинковой обманки могут быть реализованы только при условии равенства хотя бы пары индексов Миллера, характеризующих направление роста КЯ.

В настоящей работе нами с использованием метода огибающей функции рассчитаны параметры СОВ в КЯ на основе прямозонного полупроводника со структурой цинковой обманки, выращенной в произвольном направлении $[h\ k\ l]$. Для решения задачи мы использовали 8-зонную модель Кейна, параметризованную таким образом, чтобы описывать кубическое по волновому вектору слагаемое Дрессельхауза [5]. Для простоты двумерный конфайнмент определялся внешним плавным потенциалом в направлении роста КЯ. Это позволило исключить вклады, связанные с интерфейсами КЯ. Гамильтониан СОВ получался посредством канонического преобразования до 4-ого порядка малости с последующим усреднением по направлению роста.

Нами показано, что с точностью до 3-его порядка малости параметры СОВ и условие возникновения SU(2) симметрии совпадают с полученными в [4], однако учет более высокого 4-ого порядка вносит модификацию во все параметры СОВ и позволяет подправить этот результат и снять противоречие, возникшее с работой [2]. Оценки показывают, что поправки 4-ого порядка будут существенны в КЯ на основе InAs и других материалах с сильным собственным СОВ.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-32-00740-мол_а и гранта Президента РФ для молодых ученых № МК-6679.2018.2.

[1] S.D. Ganichev, L.E. Golub, *Phys. Status Solidi B*, **251**, 1801 (2014).

[2] A.S. Kozulin, A.I. Malyshev, A.A. Konakov, *J. Phys. Conf. Ser.*, **816**, 012023 (2017).

[3] B.A. Bernevig, J. Orenstein, S.-C. Zhang, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 236601 (2006).

[4] M. Kammermeier, P. Wenk, J. Schliemann, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 236801 (2016).

[5] В.Е. Дегтярев, С.В. Хазанова, А.А. Конаков, *ФТП*, **51**, 1462 (2017).