Образование электронных пар в низкоразмерных системах, обусловленное спин-орбитальной связью и силами изображения

Махмудиан М.М.^{1,2}, Чаплик А.В.^{1,2}

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

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

DOI 10.34077/Semicond2019-208

Показано, что два электрона, находящиеся в квантовой яме вблизи металлического электрода, притягиваются друг к другу за счет спин-орбитального взаимодействия (СОВ) типа Бычкова-Рашба и сил электростатического изображения. При вполне достижимых значениях характеристических параметров системы эффективное притяжение, вызванное СОВ, превалирует над кулоновским отталкиванием, и становится возможным образование биелектрона. Теория эффекта особенно проста и наглядна для квантовой проволоки. Энергия связи электронной пары существенно увеличивается при приложении затворного напряжения соответствующей полярности.

Физическая картина обсуждаемого эффекта состоит в следующем. Как известно, в 2D электронной системе, асимметричной в направлении своей нормали, существует СОВ типа Бычкова-Рашба линейное по планарному импульсу. Это взаимодействие расщепляет дисперсию свободной частицы на две ветви $E = p^2/2m \pm \alpha p$, где p — модуль двумерного импульса, m — эффективная масса, α — характерная для данной системы константа СОВ. Величина α зависит от нормальной к плоскости системы компоненты электрического поля $\alpha = AF$, где A не зависит от поля. В МДП-структуре требуемое нарушение centrosymmetrichnosti обеспечивается присутствием металлического электрода. В системе двух электронов действующее на каждый из них полное нормальное поле F зависит от расстояния между частицами (см. рис.) и увеличивается с уменьшением ρ . Нижняя ветвь расщепленного спектра электрона имеет участок отрицательных значений E , наиболее глубокое из которых соответствует петле экстремумов: $E_{\min} = -m\alpha^2/2$. Уменьшение ρ приводит к увеличению параметра α и, следовательно, к понижению энергии системы за счет СОВ, тогда как кулоновское отталкивание дает положительный вклад в энергию, также растущий при уменьшении ρ . Если баланс окажется отрицательным, возникнет связанное состояние — биелектрон. Очевидно, что соответствующий уровень энергии должен лежать ниже $-m\alpha^2$ — суммарной минимальной энергии двух электронов на бесконечно большом расстоянии.

В работе вычислены значения энергии основного уровня электронной пары в МДП-структуре и в квантовой проволоке, расположенной вблизи металлического электрода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-02-00565) и программы РАН (проект 0306 – 2018-0007).