Комбинационное рассеяние света с переворотом спина в самоорганизованных квантовых точках CdSe/ZnMnSe

Козырев Н.В., Ахмадуллин Р.Р., Намозов Б.Р., Кусраев Ю.Г., Седова И.В., Сорокин С.В., Иванов С.В.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

DOI 10.34077/Semicond2019-293

Методом резонансного комбинационного рассеяния с переворотом спина (КРПС) были исследованы самоорганизованные квантовые точки (КТ) CdSe в барьере ZnMnSe, полученные методом молекулярно-пучковой эпитаксии. В магнитном поле 6 Т в диапазоне температур от 1.6 К до 30 К в спектрах КРПС наблюдается большое число (порядка десяти) линий рассеяния, расположенных эквидистантно друг от друга в соответствии с энергией зеемановского расщепления ионов марганца. Этот феномен связан с тем, что резонансное рассеяние света происходит с рождением промежуточного состояния – экситона, взаимодействующего с большим числом ионов марганца. Процесс рассеяния сопровождается одновременным переворотом спинов нескольких ионов марганца, находящихся в области локализации этого экситона. Переворот спинов ионов Mn^{2+} возникает вследствие их обменного взаимодействия с фотовозбуждённой тяжёлой дыркой.

Спектр фотолюминесценции (ФЛ) слоя КТ представляет собой широкую полосу с максимумом при 2.33 эВ и шириной на полувысоте ~ 40 мэВ. В магнитном поле 6Т, приложенном в геометрии Фарадея, зеемановское расщепление ФЛ мало (< 0.5 мэВ) и, практически, не заметно на фоне её ширины. С другой стороны, ФЛ барьера показывает расщепление, соответствующее гигантскому эффекту Зеемана. Такое поведение ФЛ соответствует тому, что ионы марганца находятся только в барьере ZnMnSe. Следовательно, обменное взаимодействие фотовозбуждённой тяжёлой дырки, локализованной в слое КТ CdSe, с ионами марганца в барьере мало.

Согласно теоретической модели, предложенной для описания эффекта КРПС ионов Mn^{2+} [1], число линий в спектрах рассеяния для систем в режиме слабого обменного взаимодействия, подобных нашей, должно быть мало (по нашим оценкам одна-две) и определяется малой долей ионов марганца, входящих в орбиту локализованного экситона. Однако, результат, полученный нами, противоречит предсказанию теории – экспериментально мы наблюдаем около десяти линий рассеяния (см. рисунок). Была предложена качественная модель описания этого явления, основанная на динамически меняющемся обменном поле тяжёлой дырки, при образовании промежуточного состояния рассеивающимся фотоном [2]. Существенное отличие предложенной модели от [1] состоит в том, что количество ионов марганца, одновременно переворачивающих свой спин, определяется тем, сколько их находится в области локализации экситона.

Рис.1. – а) Спектр КРПС в магнитном поле 6 Т (геометрия Фойгта) при температуре 1.6 К, измеренная в конфигурации (-zσz).

б) Экспериментальная зависимость интенсивности рассеяния от номера линии (ромбы); теоретический расчёт [1] для системы в режиме сильного (кружки) и слабого (кресты) обменного взаимодействия.

[1] J. Stühler, G. Schaack, M. Dahl, A. Waag, G. Landwehr, K. V. Kavokin, and I. A. Merkulov, *J. Cryst. Growth* **159**, 1001 (1996).

[2] N. V. Kozirev, R. R. Akhmadullin, B. R. Namozov, Yu. G. Kusrayev, I. V. Sedova, S. V. Sorokin, and S. V. Ivanov, *Phys. Rev. B* **99**, 035301 (2019)