Обменное взаимодействие темного экситона с поверхностными парамагнитными центрами в наноплателетах CdSe

Головатенко А. А.¹, Родина А. В.¹, Шорникова Е. В.^{2,3}, Яковлев Д. Р.^{1,2}, Biadala L.⁴, Qiang G.², Kuntzmann A.⁵, Nasilowski M.⁵, Dubertret B.⁵, Polovitsyn A.⁶, Moreels I.⁶, Bayer M.²

¹ ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

² Experimentelle Physik 2, 44227, Technische Universität Dortmund, Dortmund, Germany

³ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13

⁴ IEMN, CNRS, 59652 Villeneuve-d'Ascq, France

⁵ Laboratoire de Physique et d'Etude des Matériaux, ESPCI, CNRS, 75231 Paris, France

⁶ Department of Inorganic and Physical Chemistry, Universiteit Gent, 9000 Ghent, Belgium

DOI 10.34077/Semicond2019-287

Коллоидные квантовые ямы CdSe, иначе называемые наноплателетами, являются аналогом хорошо изученных ранее эпитаксиальных квантовых ям CdSe, получаемых методом молекулярно-лучевой эпитаксии. В результате эффекта диэлектрического конфайнмента и малой толщины наноплателетов (~ 1 нм) сильно возрастает обменное взаимодействие электрона и дырки в экситоне. Это приводит к расщеплению состояний светлого и темного экситона на энергию порядка 3-5 мэВ [1]. Таким образом, при низких температурах фотолюминесценция (ФЛ) коллоидных наноплателетов CdSe определяется рекомбинацией темного экситона за счет конкурирующих активационных механизмов [2]. Один из наиболее эффективных механизмов активации обусловлен обменным взаимодействием темного экситона с поверхностными парамагнитными центрами.

Нами проведено теоретическое рассмотрение степени циркулярной поляризации ФЛ темного экситона во внешнем магнитном поле в зависимости от знака константы обменного взаимодействия с поверхностными парамагнитными центрами. Мы показываем, что обменное взаимодействие экситона с поверхностными центрами может приводить к инверсии знака степени циркулярной поляризации ФЛ темного экситона за счет двух механизмов. Первый механизм связан с эффективным обменным полем поверхностных центров, изменяющим знак зеемановского расщепления спиновых подуровней экситона в малых магнитных полях. При этом величина магнитного поля B_c , при котором степень циркулярной поляризации обращается в ноль, убывает с ростом температуры (красная кривая на рис.1). Второй механизм связан со спин-зависимой рекомбинацией подуровней темного экситона за счет flip-flop взаимодействия с поверхностными парамагнитными центрами. При данном механизме критическое магнитное поле возрастает с увеличением температуры (синяя кривая на рис.1). Теоретическая зависимость температурного сдвига критического магнитного поля, рассчитанная с учетом обоих эффектов, приводит к немонотонной зависимости сдвига критического поля и качественно согласуется с экспериментально наблюдаемой зависимостью в ансамблях коллоидных наноплателетов CdSe толщиной 1.2 нм.

Работа была выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований грант № 19-52-12064.

[1] E.V. Shornikova et al., *Nanoscale*. **10**, 646 (2018).

[2] A.V. Rodina, Al L. Efros, *Phys. Rev. B*. **54**, 4843 (2016).

Рис.1. Степень циркулярной поляризации ФЛ и температурный сдвиг критического магнитного поля B_c .