Спектроскопия отражения высококачественных гетероструктур с квантовыми ямами

Шапочкин П.Ю.¹, Григорьев Ф.С.², Храмов Е.С.², Елисеев С.А.¹, Ловцюс В.А.¹,
Ефимов Ю.П.¹, Игнатьев И.В.²

¹ Физический факультет СПбГУ, 198504, Санкт-Петербург, ул. Ульяновская, 1

² Лаборатория оптики спина СПбГУ, 198504, Санкт-Петербург, ул. Ульяновская, 1

DOI 10.34077/Semicond2019-146

Гетероструктуры, выращенные с помощью молекулярно-пучковой эпитаксии, сочетают низкую концентрацию примесей с точным контролем толщины выращиваемых слоев. Для количественного анализа качества гетероструктур необходим надежный метод измерения их оптических свойств. Оптическое исследование, такое как спектроскопия отражения, может определить дефекты не меньше длины волны света. Свет, тем не менее, может возбудить экситон с волновой функцией размером порядка боровского диаметра (30 нм в GaAs). Экситоны, в свою очередь, могут детектировать дефекты на масштабе их волновой функции. Поскольку требуется лишь фотон, чтобы возбудить такой экситонный зонд, экситонная спектроскопия является простым, но мощным, методом характеристики наноструктур [1].

Точный численный расчет экситонных состояний [2] позволяет обрабатывать экспериментально полученные спектры отражения, извлекая из них параметры гетероструктуры, и даже верифицировать форму потенциала [3]. Это открывает новые экспериментальные возможности, например, позволяет проследивать параметры экситонных состояний во внешнем магнитном поле [4].

В нашем докладе мы представим результаты исследования высококачественных гетероструктур с квантовыми ямами методом спектроскопии отражения. Рисунок 1 показывает спектр отражения одной из структур с квантовыми ямами шириной 20 и 14 нм. Малое уширение наблюдаемых особенностей демонстрирует высокое качество исследуемых образцов. В докладе мы покажем, как радиационная часть уширения определяется волновой функцией экситона. Помимо уширения спектры отражения содержат информацию о толщинах слоев гетероструктуры. Они определяют относительный набег фаз световых волн, интерферирующих в гетероструктуре, что проявляется в форме экситонных резонансов в спектре отражения.

В докладе будут представлены также результаты исследований экситонных состояний в широких квантовых ямах. В таких ямах светоекситонное взаимодействие смешивает близко расположенные размерно-квантованные состояния экситонов [5]. Этот эффект хорошо наблюдается экспериментально и был смоделирован нами с помощью численного расчета. Детальное исследование квантовых ям шириной вплоть до 250 нм стало возможно в настоящее время благодаря высокому качеству исследуемых образцов. Тем не менее, такие исследования остаются ресурсоемкими как по вычислительным мощностям, так и по затрачиваемому на обработку экспериментальных данных времени.

[1] E.S. Khrantsov et al., *Phys. Rev. B* **99**, 035431 (2019).

[2] E.S. Khrantsov et al., *J. Appl. Phys.* **119**, 184301 (2016).

[3] P.S. Grigoryev et al., *Superlatt. and Microstruct.* **97**, 452 (2016).

[4] P.S. Grigoryev et al., *Phys. Rev. B* **93**, 205425 (2016).

[5] М.М. Воронов и др. *ФТТ* **49**, 1792 (2007).

Рис.1. Спектр отражения образца с квантовыми ямами 20 нм и 14 нм измеренный при температуре $T = 10$ K.