Эффект Парселла в брэгговской структуре с квантовыми ямами на основе монослоёв InAs в GaAs

Иванов К.А.^{1,2}, Егоров А.Ю.², Калитеевский М.А.^{1,2,3}, Позина Г.⁴, Морозов К.М.^{1,2}, Clark S.J.⁵

¹ Санкт-Петербургский Академический Университет, 194021, Санкт-Петербург, ул. Хлопина, 8/3

² Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

³ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

⁴ Linköping University, Linköping, SE-58183, Sweden

⁵ Durham University, Durham, DH1 3LE, United Kingdom

DOI 10.34077/Semicond2019-164

Брэгговские структуры с квантовыми ямами интересны с точки зрения применения в фотонике и оптоэлектронике, поскольку, как было показано ранее, в них возможно усиление (эффект Парселла) и подавление спонтанного излучения на определённых частотах [1]. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования структуры, изготовленной методом молекулярнопучковой эпитаксии на подложке GaAs и содержащей 60 периодов объёмного GaAs одинаковой толщины 120 нм, в каждом из которых содержалось три монослоя InAs на расстоянии 10 нм друг от друга [2]. Каждый монослой образует квантовую яму, в которой возможна локализация экситона. Период структуры был подобран таким образом, чтобы энергия экситона удовлетворяла брэгговскому условию ($\omega = \pi c / d \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}$) для некоторого угла излучения.

Структура была исследована методом фотолюминесценции с временным и угловым разрешением. Оптическая накачка производилась фемтосекундным лазером с различной мощностью, спектры снимались как с поверхности структуры, так и с торца. В результате оказалось, что все спектры содержат линию, соответствующую основному состоянию экситона (X1). В то же время, спектр люминесценции с поверхности при большой мощности накачки содержит дополнительную линию (SR), энергия которой зависит от угла излучения и коррелирует с брэгговским условием (рис. 1а). Спектр излучения с торца структуры не содержит линии SR при любой мощности накачки (рис.

Рис. 1. – Изображения спектроскопии с временным разрешением (а) с поверхности образца и (б) с торца образца. (с) Отношение интегрированных по времени спектров с поверхности образца и с торца, в зависимости от угла излучения. Линия обозначает брэгговское условие.

1б). В рамках обработки результатов спектры были проинтегрированы по времени, а затем спектры с поверхности, снятые под разными углами, были нормированы на спектр с торца. В результате получена картина модального фактора Парселла (рис. 1с), демонстрирующая изолированные области усиления эмиссии, расположенные вдоль кривой, отвечающей брэгговскому условию.

[1] Е.Л.Ивченко, А.И.Несвижский, С.Йорда, ФТТ, 36(7), 2118 (1994).

[2] G.Pozina, et al., Sci. Rep. 5, 14911 (2015).