Спектры возбуждения фотолуминесценции многослойных структур с квантовыми ямами на основе гетеропары AlGaAs/GaAs для фотоприемных устройств

Д.А. Пашкеев¹⁾, А.Д. Шабрин¹⁾, В.С. Кривобок²⁾, И.Д. Бурлаков¹⁾

¹ АО «НПО «Орион», Москва, 111538, ул. Косинская, 9

² ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, 119991, Ленинский проспект, 53

тел: +7 (499) 374-8130, эл. почта: d.pashkeev@gmail.com

DOI 10.34077/RCSP2019-21

Гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ) на основе AlGaAs/GaAs (GaAs – яма, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ – барьер) используются для создания матричных фотоприемных устройств (ФПУ) для спектрального диапазона 8 – 12 мкм (Quantum Well Infrared Photodetector, QWIP) [1]. Принцип работы QWIP ФПУ основан на межподзонных переходах электронов, локализованных на первом квантово-размерном уровне КЯ зоны проводимости (переходы с E1 на E2). Эти уровни определяют рабочий спектральный диапазон ФПУ и зависят от технологических параметров структуры. Для оптимизации работы фотодетекторов необходим точный контроль положения этих уровней, что требует развития неразрушающих методик спектроскопического анализа выращиваемых гетероструктур [2].

В основе методики использовался метод низкотемпературного измерения спектров возбуждения фотолуминесценции (СВФ). Предварительный теоретический расчет структуры энергетических уровней в КЯ осуществлялся методом численного решения уравнения Шредингера в одночастичном приближении. Многослойные гетероструктуры выращивались методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Спектры возбуждения фотолуминесценции, а также спектры фотолуминесценции измерялись в диапазоне температур от 5 до 80 К. Для контроля спектроскопических результатов измерялись спектры фотопроводимости одноэлементных приемников с размерами 2x2 мм².

Основная идея метода СВФ состоит в последовательном измерении спектров фотолуминесценции

от источника возбуждения с различными длинами волн и регистрацией интенсивности основного пика излучения. В качестве перестраиваемого источника излучения использовалось излучение GaN светодиода, пропускаемое через монохроматор. Полуширина спектра излучения возбуждения составляла в среднем 1 нм, а шаг изменения максимума излучения – также 1 нм.

Измерения спектров проводились для образцов с различным количеством КЯ (от 1 до 10), толщин ям d (от 3 до 10 нм) и содержанием AlAs в барьере x от 20 до 30 %. На рисунке приведен измеренный спектр СВФ для структуры из 10 квантовых ям с $d \approx 7$ нм и $x \approx 25$ %. Стрелочками указаны

наблюдаемые оптические переходы. Они формируются экситонными состояниями, соответствующим зона-зонным переходам в барьере, а также переходам между электронными уровнями (EX) и дырочными уровнями (NHX – тяжелые дырки, LHX – легкие дырки). Установлено, что для КЯ с указанными диапазонами параметров энергия основного перехода (E1-NH1) варьируется в пределах от 1,53 до 1,65 эВ для $T = 5$ К, с увеличением температуры до 80 К энергии переходов изменяются в пределах 5 мэВ.

По результатам численных расчетов получено, что положение уровней LH1 и NH2 совпадает в пределах 8 мэВ, это позволяет считать, что максимум спектральной характеристики ФПУ, определяемой как E2-E1, можно рассчитать из разницы энергий переходов E1-LH1 и E2-NH2 с соответствующей поправкой. Из сравнения полученных результатов СВФ и фотопроводимости установлена корректность данного предположения, а точность определения рабочего перехода фотодетектора составляет не более 150 нм.

Литература

- [1] S.D. Gunapala and etc. // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2014. V.20, № 6. P. 3802312.
- [2] М.Р. Юскаев и др. // Прикладная физика. 2018. № 2. С.47-52.