Пороговые энергии оже-рекомбинации в узкозонных квантовых ямах HgTe

Алешкин В.Я., Дубинов А.А., Морозов С.В., Румянцев В.В.

ИФМ РАН, 603087, Нижегородская обл., Кстовский р-н, д. Афонино, ул. Академическая, 7

DOI 10.34077/Semicond2019-213

Лазеры на квантовых ямах (КЯ) HgTe являются одним из возможных кандидатов для работы в областях остаточных лучей GaAs и InP, в которых квантово каскадные лазеры на основе этих материалов не работают. Эта область соответствует интервалу энергий фотонов 25-50 мэВ. В связи с этим встает вопрос о выборе оптимальных параметров КЯ и окружающих их барьеров для генерации излучения в этом диапазоне. Одним из основных препятствий для осуществления лазерной генерации в этой области спектра является оже-рекомбинация [1]. Однако до настоящего времени не было проведено анализа зависимостей пороговых энергий оже-рекомбинации от параметров рассматриваемых структур.

В работе рассчитаны зависимости пороговых энергий оже-рекомбинации от температуры, параметров КЯ HgTe и окружающих их барьеров. Рассмотрены выращенные на плоскости (013) структуры с КЯ, энергия излучательного перехода в которых лежит в диапазоне 30–70 мэВ. Расчеты проведены в рамках трехзонной модели Кейна [2].

На рисунке 1 показаны вычисленные зависимости пороговой энергии от температуры для процессов оже-рекомбинации с участием двух электронов и одной дырки (СНСС) и участием двух дырок и одного электрона (СННН) для структур с различным составом барьеров. Толщины HgTe КЯ были подобраны так, что их ширины запрещенных зон были одинаковы в структурах с разными барьерами. При рассмотрении СННН процесса предполагалось, что дырка уносящая энергию переходит в возбужденную подзону, поскольку пороговая энергия такого процесса минимальна для СННН процессов.

Из рисунка видно, что пороговые энергии для СНСС процесса слабо зависят от температуры, но существенно зависят от состава барьеров. Оптимальный состав барьеров для процессов СНСС в рассмотренных структурах близок к $\text{Cd}_{0.6}\text{Hg}_{0.4}\text{Te}$. В структурах с такими барьерами пороговая энергия СНСС процесса составляет около 30 мэВ. Пороговая энергия для СННН процессов сначала уменьшается с ростом температуры, обращается в ноль, а затем скачком увеличивается. Такая зависимость обусловлена тем, что при низких температурах ширина запрещенной зоны КЯ меньше, чем расстояние между дырочными подзонами в Г-точке. С ростом температуры ширина запрещенной зоны увеличивается быстрее, чем расстояние между дырочными подзонами. При их равенстве пороговая энергия обращается в ноль. При дальнейшем увеличении температуры пороговая энергия СННН процесса скачком увеличивается до энергий около 40 мэВ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-02-00362).

[1] K.O'Brien et al., *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 051104 (2004).

[2] M.S.Zholudev et al., *Nanoscale Res. Lett.*, **7**, 534 (2012).

Рис.1. - Зависимость пороговых энергий оже-рекомбинации от температуры.