С.В. Морозов

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, 603950, Россия

DOI 10.34077/RCSP2021-29

Одной из актуальных и быстро развивающихся задач современной физики полупроводников является разработка компактных источников когерентного ТГц излучения. Лучшие параметры генерации ТГц излучения имеют квантово-каскадные лазеры (ККЛ). Однако, существует спектральный диапазон $\lambda = 20 - 60$ мкм, не покрываемый ККЛ за счет полосы остаточных лучей $A_{III}V_V$ полупроводников, на основе которых изготавливается подавляющее большинство ККЛ. Межзонные полупроводниковые лазеры представляют собой простую альтернативу ККЛ.

Одной из перспективных для таких источников узкозонных полупроводниковых систем являются узкозонные гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ) HgTe/CdHgTe, энергия ТО фонона в которых лежит в диапазоне $\lambda = 60 - 90$ мкм. Современная МПЭ позволяет выращивать HgCdTe структуры с низкой остаточной концентрацией примесей и дефектов, из-за чего каналы безызлучательной рекомбинации на примесях и дефектах насыщаются уже при умеренных интенсивностях накачки [1]. В дополнение, КЯ HgTe/CdHgTe имеют сильно непараболические законы дисперсии электронов и дырок, квазисимметричные в окрестности $k = 0$, что позволяет существенно подавить безызлучательную оже-рекомбинацию и увеличить её порог от нескольких единиц до 40-50 мэВ [2]. Несмотря на то, что ранее СИ в материалах HgCdTe было получено лишь на длинах волн вплоть до 5.3 мкм, использование узких КЯ позволяет существенно продвинуться в длинноволновый диапазон спектра.

В данной работе в волноводных гетероструктурах с HgTe/HgCdTe КЯ, выращенных методом МПЭ на полуизолирующей GaAs (013) подложке с ZnTe и CdTe буферами, было получено стимулированное излучение (СИ) при импульсной оптической накачке на длинах волн вплоть до 25 мкм. В области меньших длин волн $\lambda \sim 10$ мкм пороговая интенсивность накачки составляла всего 120 Вт/см^2 ($\lambda_{\text{exc}} \sim 2$ мкм), и СИ было получено даже при непрерывной накачке ($\lambda_{\text{exc}} \sim 0.9$ мкм). В рамках работы рассчитана пороговая энергия оже-рекомбинации для серии КЯ HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te с одинаковой $E_g \sim 70$ мэВ (соответствует $\lambda \sim 18$ мкм), но различной толщиной КЯ и долей Cd в барьерах. Продемонстрирована немонотонная зависимость пороговой энергии оже-рекомбинации от доли Cd в барьерах, имеющая максимум при $x_{\text{Cd}} = 0.5 - 0.7$. Показано, что применение узких КЯ HgTe/CdHgTe с оптимальным составом барьеров позволяет подавить оже-рекомбинацию и продвинуться по длине волны СИ в диапазон $\lambda > 25$ мкм.

Рис.1. – Спектры СИ при различных температурах (сплошные кривые), полученные при импульсном (# 1, $\lambda_{\text{exc}} = 10,6$ мкм; образцы # 3, # 4 $\lambda_{\text{exc}} = 1,5$ мкм) и cw (# 2, $\lambda_{\text{exc}} = 0,9$ мкм) оптическом возбуждении.

Литература

- [1] Morozov, S. V., et al. Appl. Phys. Lett. 104(7), 072102 (2014).
- [2] S.V. Morozov, et al., Appl. Phys. Lett., 2017. 111(19): p. 192101.