Конкуренция излучательной и оже-рекомбинации в узкозонных волноводных структурах с квантовыми ямами HgTe/CdHgTe излучающих в среднем и дальнем ИК диапазонах

С.В. Морозов¹⁾, В.В. Румянцев¹⁾, В.В. Уточкин¹⁾, Н.С. Куликов¹⁾, М.С. Жолудев¹⁾, М.А. Фадеев¹⁾,
В.Я. Алёшкин¹⁾, Н.Н. Михайлов²⁾, В.И. Гавриленко¹⁾

¹ Институт физики микроструктур РАН, 603950, Нижний Новгород

² Институт физики полупроводников имени А.В. Ржанова СО РАН, 630090, Новосибирск

эл. почта: more@ipmras.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-46

Представлены результаты по стимулированному излучению (СИ) в диапазоне длин волн от 10 до 22 мкм и фотолюминесценции вплоть до 36 мкм при импульсной и непрерывной оптической накачке альтернативной квантовым каскадным лазерам гетероструктур с квантовыми ямами (КЯ) на основе HgCdTe/CdHgTe. В структурах на основе КРТ с КЯ HgTe/CdHgTe можно перестраивать ширину запрещенной зоны путем изменения ширины КЯ и содержания Cd в ней. Таким образом, HgCdTe гетероструктуры с КЯ могут быть использованы в качестве перспективного материала для источников излучения в диапазоне 5 - 15 ТГц. Важным моментом в данных исследованиях является изучение времени межзонной излучательной рекомбинации, которое классически увеличивается с уменьшением ширины запрещенной зоны. Это препятствует получению эффективной излучательной межзонной эмиссии и как следствие снижает характеристики лазеров на основе таких структур. Излучательная рекомбинация, обычно, изучалась в квантовых ямах HgTe/CdHgTe с запрещенной зоной в диапазоне 40 - 140 мэВ с использованием четырехзонной модели Кейна. Показано, что боковые максимумы в энергетическом спектре валентной зоны препятствуют излучательной рекомбинации при высоких концентрациях носителей. В тоже время одной из причин снижения вероятности излучательной рекомбинации является увеличение вклада безызлучательной оже-рекомбинации, что в конечном итоге препятствует созданию лазеров.

В ходе работы были рассчитаны пороговые энергии оже - процессы ряда эпитаксиальных структур с квантовыми ямами на основе узкозонных твердых растворов HgCdTe с шириной запрещенной зоны от 60 до 110 мэВ и различным содержанием Cd в яме. Показано, что полученные значения соответствуют разнице энергий потолка валентной зоны и боковых максимумов в первой валентной подзоне и хорошо согласуются с полученными экспериментально максимальными температурами наблюдения СИ в образцах. На примере наиболее узкозонной структуры продемонстрировано, что переход к более узким ямам из чистого HgTe и барьерам с меньшей шириной запрещенной зоны при сохранении энергий межзонных переходов в КЯ позволяет понизить боковые максимумы в валентной подзоне и, соответственно, повысить вплоть до 45 мэВ пороговую энергию ССНС оже - процесса. Полученные результаты создают предпосылки для увеличения максимальных рабочих температур излучателей на основе квантовых ям HgTe/CdHgTe в среднем и дальнем ИК диапазонах. В выращенных усовершенствованных волноводных структурах HgCdTe/CdHgTe с уменьшенным содержанием Cd в КЯ до 6% за счет увеличения протяженности симметричного закона дисперсии удалось получить СИ вплоть до 22.3 мкм при 10К и увеличить максимальную температуру наблюдения СИ вплоть до 80К.

Работа выполнена при поддержке РНФ грант № 17-12-01360.