8.3 ТГц квантово-каскадный лазер на основе квантовых ям HgCdTe для работы при комнатной температуре

Дубинов А.А.¹, Афоненко А.А.², Ушаков Д.В.², Алешкин В.Я.¹, Хабибуллин Р.А.³

¹ ИФМ РАН, 603950, Нижний Новгород, ГСП - 105

² Белорусский государственный университет, 220030, Минск, пр. Независимости, 4

³ ИСВЧПЭ РАН, 117105, Москва, Нагорный пр., 7/5

DOI 10.34077/Semicond2019-426

В настоящее время очень востребованы компактные источники излучения терагерцового диапазона частот. Наибольшего прогресса в этой области достигли квантово-каскадные лазеры (ККЛ) на основе гетеросистем полупроводников GaAs/AlGaAs и InGaAs/InAlAs/InP [1]. Однако генерация излучения в области частот 6–10 ТГц в ККЛ на их основе невозможна из-за резонансного поглощения на оптических фонах в этом диапазоне частот.

В гетероструктурах HgCdTe частота оптических фононов почти в два раза меньше (3.6–5 ТГц). Поэтому создание ККЛ на основе HgCdTe открывает перспективы для освоения диапазона 6–10 ТГц. Кроме того, в узкозонном материале HgCdTe эффективная масса электрона в 2–3 раза меньше, чем в гетеросистеме на основе GaAs/AlGaAs, что должно благоприятно сказаться на увеличении дипольного матричного элемента для лазерных уровней [2].

В настоящей работе проведено моделирование и численная оптимизация терагерцового ККЛ на основе каскада из двух узкозонных квантовых ям (КЯ) HgCdTe и вычислены его характеристики. Из-за малой ширины запрещенной зоны существенно влияние непараболичности зон. Поэтому расчеты волновых функций, матричных элементов дипольных переходов и энергий состояний проводились с использованием 3-х зонного k-p – метода [3]. Степень заполнения уровней энергий находились путем численного решения системы балансных уравнений [4]. Коэффициент усиления для внутривозонных переходов в зависимости от частоты излучения находился в многоуровневом приближении согласно [5, 6]. Для выбора структуры с максимальным усилением были перебраны толщины барьерных слоев $\text{Hg}_{0.4}\text{Cd}_{0.6}\text{Te}$ в диапазоне 1.3–3.9 нм и КЯ $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}$ в диапазоне 5.2–14.9 нм. На рисунке 1 приведены расчеты спектров усиления для одной из оптимальных структур, слои которой составляют 1.9/12.9/1.9/14.9 нм. Подчеркнутым шрифтом обозначены толщины слоев КЯ. Верхним лазерным выступает основной уровень структуры. Нижним лазерным уровнем является второй уровень структуры через два периода решетки. Проведенное моделирование показало, что усиление оптимизированной структуры ККЛ на основе узкозонных КЯ HgCdTe достигает 50 см^{-1} на частоте 8.3 ТГц при комнатной температуре. Отметим, что вычисленная величина усиления достаточна для преодоления потерь в двойном металлическом волноводе, обычно используемом для терагерцовых ККЛ [7].

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 18 – 19 – 00493).

[1] M.S. Vitiello et al., *Opt. Exp.*, **23**, 5167 (2015).

[2] E. Benveniste et al., *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 131108 (2008).

[3] Д.В. Ушаков, И.С. Манак. *Опт. и спектр.*, **104**, 847 (2008).

[4] Д.В. Ушаков, И.С. Манак. *ЖПЭС*, **74**, 801 (2007).

[5] V.B. Gorfinkel et al., *IEEE J. Quantum Electron.*, **32**, 1995 (1996).

[6] Д.В. Ушаков и др., *Квант. электрон.*, **40**, 195 (2010).

[7] Д.В. Ушаков и др., *Квант. электрон.*, **48**, 1005 (2018).