

Квантово-каскадный лазер на основе AlGaInP с периодом из 3-х квантовых ям с частотой генерации 7 ТГц

И. В. Ярмуш¹⁾, А. А. Афоненко¹⁾, Д. В. Ушаков¹⁾, А. А. Дубинов²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: afonenko@bsu.by

²⁾ Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия, e-mail: sanya@ipmras.ru

В работе предложен дизайн квантово-каскадного лазера на основе GaInP/AlGaInP с периодом из 3-х квантовых ям. Рассчитанный спектр усиления имеет максимум на частоте 7 ТГц, максимальное усиление достигает 125 см^{-1} при температуре 77 К. При этом плотность порогового тока составляет около 500 А/см^2 .

Ключевые слова: квантово-каскадный лазер; терагерцовый диапазон; фосфи́ды; фононная полоса поглощения.

Quantum cascade laser based on AlGaInP with a period of 3 quantum wells with a generation frequency of 6.8 THz

I. V. Yarmush¹⁾, A. A. Afonenko¹⁾, D. V. Ushakov¹⁾, A. A. Dubinov²⁾

²⁾ Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: afonenko@bsu.by

¹⁾ Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod, Russia, e-mail: sanya@ipmras.ru

In this work, the design of a quantum-cascade laser based on InGaP/AlInGaP with a period of 3 quantum wells is proposed. The calculated gain spectrum has a maximum at 7 THz, and the maximum gain reaches 125 см^{-1} at 77 K temperature. At the same time, the threshold current density is about 500 А/см^2 .

Keywords: quantum-cascade laser; terahertz range; phosphides; phonon absorption band.

Гетероструктуры GaInP/AlGaInP являются перспективными для решения задачи создания квантово-каскадных лазеров (ККЛ) с рабочим диапазоном частот 5–8 ТГц вследствие большей энергии оптических фононов (48 мэВ) по сравнению с AlGaAs (36 мэВ). Дизайн с периодом из 3-х квантовых ям (КЯ) по сравнению с дизайном из 2-х КЯ позволяет снизить плотность порогового тока за счет увеличения периода структуры. Кроме того, при селективном легировании инжекторной КЯ участвующие в лазерных переходах уровни меньше подвержены спектральному уширению, что благоприятно для увеличения максимального усиления.

В выбранной схеме получения инверсии населенностей опустошение нижнего лазерного уровня происходит за счет испускания оптического фонона. Частота 7 ТГц соответствует энергии кванта 29 мэВ. Поэтому рабочее напряжение на одном каскаде составляет около 75 мВ. Для моделирования ТГц ККЛ использована модель на основе системы балансных уравнений [1]. Параметры материалов брались из работы [2].

Оптимизация структуры лазера проведена следующим образом. Вначале подбирались толщины квантовых ям (КЯ), чтобы уровень инжектора совпадал с верхним лазерным уровнем, а уровень экстрактора совпадал с нижним лазерным

уровнем (рис. 1). Далее проводилась подстройка толщин всех слоев для максимизации усиления на заданной частоте. Найдена следующая последовательность слоев одного каскада в нм: **4.52/11.85/6.77/5.64/1.69/ 6.77** (**16/42/24/20/6/24** монослоев соответствующих полупроводников) с барьерами $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$, выделенными жирным шрифтом, и КЯ $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$. Предполагается, что центральная часть подчеркнутой КЯ легирована с двумерной концентрацией электронов $4.64 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

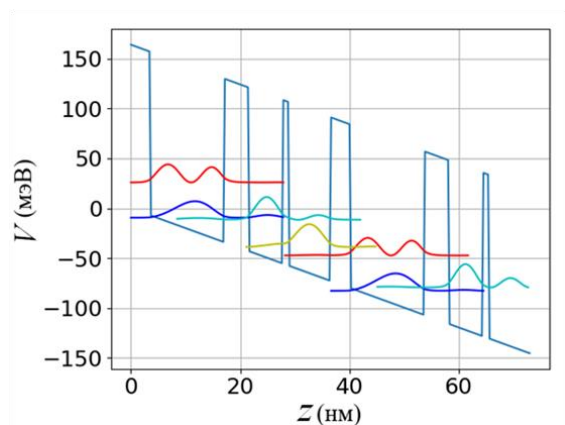


Рис. 1. Профиль энергии дна зоны проводимости V , уровни энергии и квадраты модулей волновых функций предложенной структуры при величине приложенного напряжения $V_1 = 75 \text{ мВ}$ на один каскад

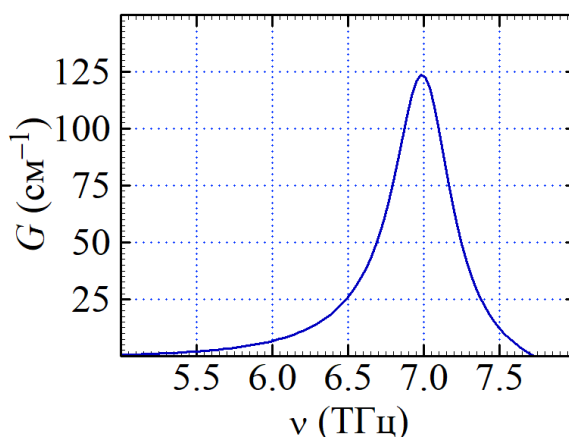


Рис. 2. Спектр усиления при величине приложенного напряжения $V_1 = 75 \text{ мВ}$ на один каскад и температуре $T = 77 \text{ К}$

Проведенный для предложенного ККЛ расчет показал, что коэффициент усиления на частоте 7 ТГц при температуре 77 К достигает величины 125 см^{-1} (рис. 2). Рабочий участок попадает на возрастающую ветвь ВАХ. Плотность тока при 77 К в пороге генерации составила около 500 А/см^2 .

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23-19-00436, <https://rscf.ru/project/23-19-00436/>.

Библиографические ссылки

1. Моделирование квантово-каскадных лазеров терагерцового диапазона частот методом балансных уравнений на основе базиса волновых функций со сниженными дипольными моментами туннельно-связанных состояний / Д. В. Ушаков [и др.] // Квантовая электроника. 2019. Т. 49, № 10. С. 913–918.
2. Vurgaftman I. Band parameters for III–V compound semiconductors and their alloys / I. Vurgaftman, J. R. Meyer, L. R. Ram-Mohan // J. Appl. Phys. 2001. Vol. 89, No. 11. P. 5815–5875.