

## МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ InGaAs/GaAs/InGaP-ЛАЗЕРОВ С ВЫТЕКАЮЩЕЙ МОДОЙ

А. А. Афоненко<sup>1</sup>, Д. В. Ушаков<sup>1</sup>, С. М. Некоркин<sup>2</sup>, Б. Н. Звонков<sup>2</sup>,  
Н. В. Байдусь<sup>2</sup>, Н. В. Дикарева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Научно-исследовательский физико-технический институт

Нижегородского государственного университета

им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

E-mail: afonenko@bsu.by

Полупроводниковые лазеры со значительным вытеканием излучения через подложку – одни из перспективных источников когерентного излучения повышенной мощности [1], но пороговый ток таких лазеров увеличен за счет больших потерь на вытекание в подложку. В связи с этим, с целью увеличения коэффициента усиления, необходимо в активную область лазера встраивать большое количество квантовых ям [2], однако вопрос об оптимальном количестве квантовых ям остается открытым из-за влияния на параметры выходного излучения лазеров различных факторов.

В настоящей работе проанализированы мощностные характеристики лазеров с 4, 6, 8 и 10 квантовыми ямами в активной области. Расчет производился на основе диффузионно-дрейфовой модели активной области с учетом процессов захвата неравновесных носителей в квантовые ямы и поглощения свободными носителями. Распределение оптической мощности внутри резонатора считалось в приближении экспоненциальных волн, отражающихся на гранях резонатора с коэффициентами  $r_1 = 0.03$ ,  $r_2 = 0.98$ . Плотность фотонов в вытекающей моде считалась как

$$S_{\text{leak}} = S \frac{\rho_{\text{leak}}}{\rho_{\text{ext}} + \rho_{\text{sub}}}, \quad (1)$$

где  $S$  – двумерная плотность фотонов внутри волновода,  $\rho_{\text{leak}}$  – коэффициент потерь вытекающей моды,  $\rho_{\text{ext}} = -\ln(r_1 r_2) / 2L$  – коэффициент внешних потерь лазерного резонатора,  $\rho_{\text{sub}}$  – коэффициент поглощения вытекающей моды в подложке,  $L$  – длина резонатора ( $L = 1$  мм).

С одной стороны, как видно из рис. 1, при прохождении тока через структуру реализуется неоднородное возбуждение квантовых ям (большее со стороны  $p$ -эмиттера) из-за чего добавление каждой новой квантовой ямы дает все меньший и меньший вклад в результирующее усиление, но увеличивает пороговый ток [3]. С другой стороны наличие значительных потерь вытекающей моды приводит к высокому уровню возбужде-

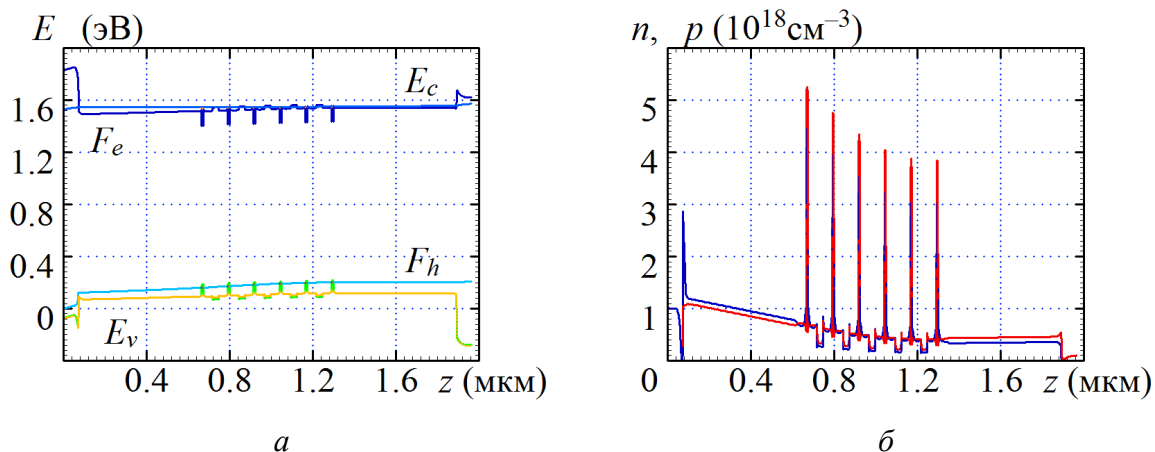


Рис. 1. Зонная диаграмма (а) и распределение концентрации носителей (б) в структуре с 6 квантовыми ямами при лазерной генерации при токе накачки 100 А ния структуры в целом, большой заселенности волноводного слоя ( $\sim 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) и вносимым тем самым дополнительным потерям поглощения свободными носителями. При этом населенность волноводного слоя уменьшается при увеличении числа квантовых ям.

При увеличении числа квантовых ям с 4 до 10 оптимальный коэффициент потерь вытекающей моды увеличивается от 35 до  $100 \text{ см}^{-1}$  (рис. 2). Увеличение рабочей температуры с 300 до 400 К смещает интервал оптимальных значений в область от 15 до  $80 \text{ см}^{-1}$ . Величину коэффициента  $\rho_{\text{leak}}$  можно регулировать толщиной обкладочного слоя (рис. 3).

Расчет мощностных характеристик лазеров проводился в динамическом режиме при неизменной температуре при подаче пилообразного тока (рис. 4) [4]. Видно, что увеличение числа квантовых ям с 4 до 6 дает значительный выигрыш в мощности и снижении внутренних потерь. Сечения поглощения на электронах и дырках считались равными  $7 \cdot 10^{-18}$  и  $1.3 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$  соответственно. Характеристики для 8 и 10 квантовых ям

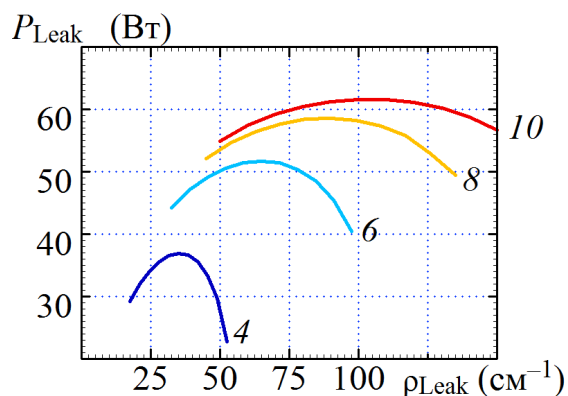


Рис. 2. Зависимость мощности вытекающей моды в структурах с разным количеством квантовых ям при токе 100 А

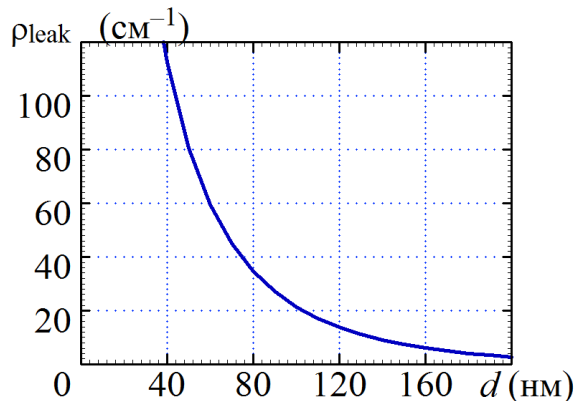


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь вытекающей моды от толщины обкладочного InGaP-слоя

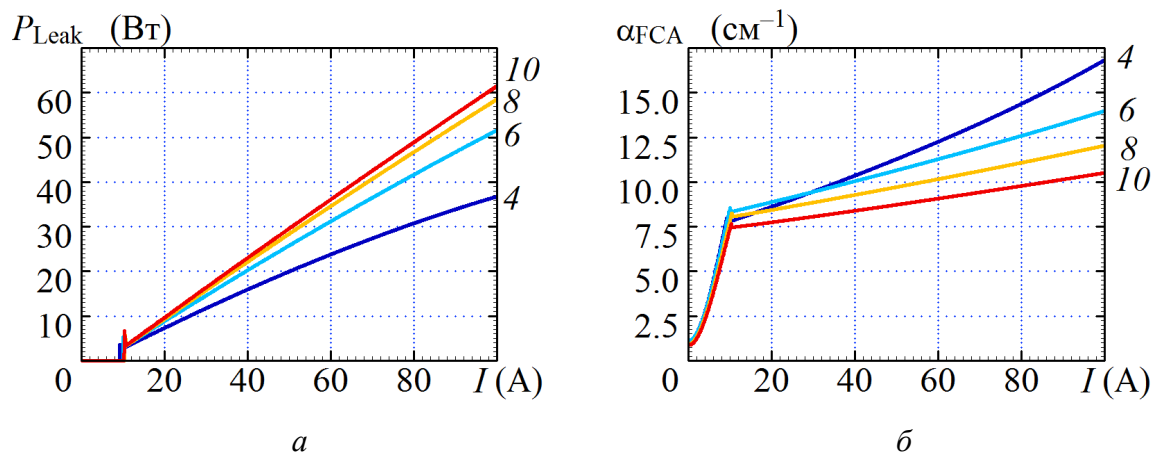


Рис. 4. Ватт-амперные характеристики лазеров с вытекающей модой (а) и токовая зависимость коэффициента поглощения свободными носителями (б) в структурах с разным количеством квантовых ям при оптимальных коэффициентах потерь вытекающей моды

очень близки. Следует отметить, что не учитываемое в представленных выше результатах увеличение температуры активной области за время действия импульса тока накачки, а также неравномерное распределение оптической мощности вдоль резонатора должно увеличивать внутренние потери и снижать выходную мощность.

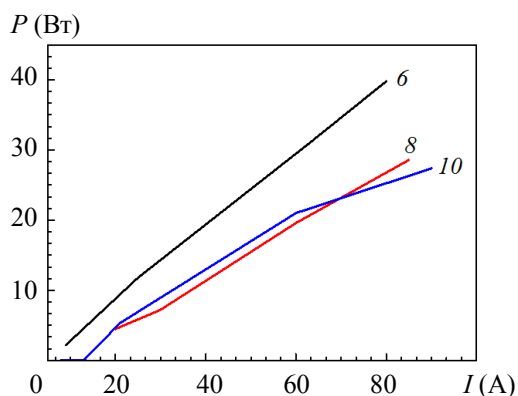


Рис. 5. Экспериментальные ВтАХ лазеров с вытекающей модой с разным числом квантовых ям в активной среде. Накачка одиночными импульсами тока длительностью 5 мкс

Экспериментальные данные показывают уменьшение мощности генерации при увеличении числа квантовых ям больше 6 (рис. 5). Отличие экспериментальных и теоретических результатов в рамках использованной приближенной модели дополнительно к указанным выше причинам также может быть связано с неоптимальными потерями вытекающей моды и ухудшением качества структуры из-за увеличения числа выращиваемых полупроводниковых слоев.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант 14-02-31287 мол\_а.

1. Некоркин С. М., Звонков Б. Н., Колесников М. Н., и др. // Вестник ННГУ. 2012. Т. 1, вып. 1. С. 30–32.
2. Бирюков А. А., Некоркин С. М., Колесников М. Н., и др. // ЖТФ. 2011. Т. 81, вып. №7. С. 149.
3. Ушаков Д. В., Афоненко А. А., Алешкин В. Я. // Квантовая электроника. 2013. Т. 43, № 11. С. 999–1002.
4. Афоненко А. А., Ушаков Д. В. // ФТП. 2014. Т. 48, № 1. С. 88–93.