

УДК 621.375.85

## ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ВНЕШНЕГО РЕЗОНАТОРА НА СПЕКТР ЛАЗЕРНОГО ДИОДА С НАПРАВЛЯЮЩИМ ЭФФЕКТОМ УСИЛЕНИЯ

А. К. Чернышов, С. П. Котова

*Исследована зависимость ширины спектра продольных мод лазерного диода с направляющим эффектом усиления от длины внешнего резонатора. Установлено, что существует длина внешнего резонатора, при которой ширина огибающей спектра продольных мод минимальна.*

Широкое применение лазерных диодов (ЛД) с внешним резонатором (ВР) стимулирует их дальнейшее исследование [1, 2]. Несмотря на преимущества лазерных диодов с боковым оптическим ограничением, полосковые лазеры с направляющим эффектом усиления (НЭУ) также находят применение в системах с внешним резонатором [3]. Особенностью лазерных диодов с НЭУ является астигматичный волновой фронт излучения [4]. В этом случае уровень оптической обратной связи или эффективный коэффициент отражения лазерной грани зависят от длины ВР [5]. С другой стороны, ширина огибающей спектра продольных мод зависит от коэффициента отражения грани ЛД [6]. Поэтому поведение спектра лазера с НЭУ может иметь особенности при изменении длины ВР. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния длины внешнего резонатора на ширину огибающей спектра продольных мод лазерного диода с направляющим эффектом усиления.

Эксперименты выполнены на серийных лазерных диодах ИЛПН-108 ( $I_{th} = 105$  мА;  $\lambda \simeq 0,85$  мкм; длина резонатора 200 мкм) с удаленным защитным стеклом. Размеры перетяжек пучка оценены из распределения интенсивности в дальнем поле и составили  $\omega_{ox} = 3$  мкм,  $\omega_{oy} = 0,7$  мкм. Астигматическое расстояние ( $\Delta z = 70 \pm 10$  мкм) измерено по методике работы [7]. Для экспериментов отбирались лазеры с распределением интенсивности в дальнем поле близким к гауссову и с хорошей локализацией перетяжки в плоскости  $p-n$  перехода вдоль оси резонатора [7].

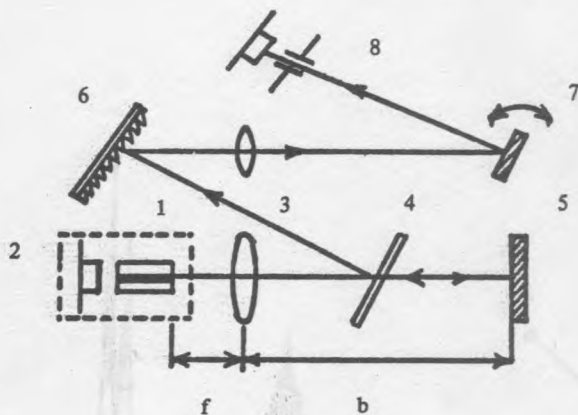


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазерный диод; 2 – фотоприемник; 3 – коллимирующий микрообъектив; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 – внешний отражатель; 6 – дифракционная решетка; 7 – гальваносканер; 8 – фотодиод со щелевой диафрагмой.

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки. Излучение лазера 1 коллимировалось микрообъективом 3. Его оптимальное положение определялось фокусировкой излучения ЛД на расстоянии 12 метров. Внешний отражатель 5 – плоское алюминиевое зеркало (83%). Оптическая мощность от задней грани ЛД регистрировалась встроенным в сборку лазера фотодиодом 2. Излучение выводилось из внешнего резонатора полупрозрачным зеркалом 4. Измерения спектра выполнены при постоянной выходной мощности 3 мВт от передней грани. Угловая юстировка внешнего зеркала осуществлялась по максимуму выходной оптической мощности ЛД вблизи порога.

На рис. 2а представлена зависимость порогового тока от длины ВР при фокусном расстоянии коллимирующего микрообъектива 4,3 мм. Спектры продольных мод, соответствующие различным длинам ВР, показаны на рис. 2б. Видно, что оптимальной длине внешнего резонатора ( $b_{opt}$ ), при которой достигается минимальный пороговый ток, соответствует спектр с наименьшей шириной огибающей. Длина  $b_{opt}$  может быть рассчитана по формуле [5]:

$$b_{opt} - f = |\Delta z| f^2 / (\Delta z^2 + z_{xo}^2); \quad z_{xo} = \pi \omega_{xo}^2 / \lambda, \quad (1)$$

где  $f$  – фокусное расстояние коллимирующего микрообъектива;  $\Delta z$  – астигматическое расстояние ЛД;  $\omega_{xo}$  – размер перетяжки пучка в плоскости  $p$ - $n$  перехода. При длине ВР, удовлетворяющей (1), обе одномерные перетяжки преобразованного пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях находятся на внешнем зеркале. Фронт пучка

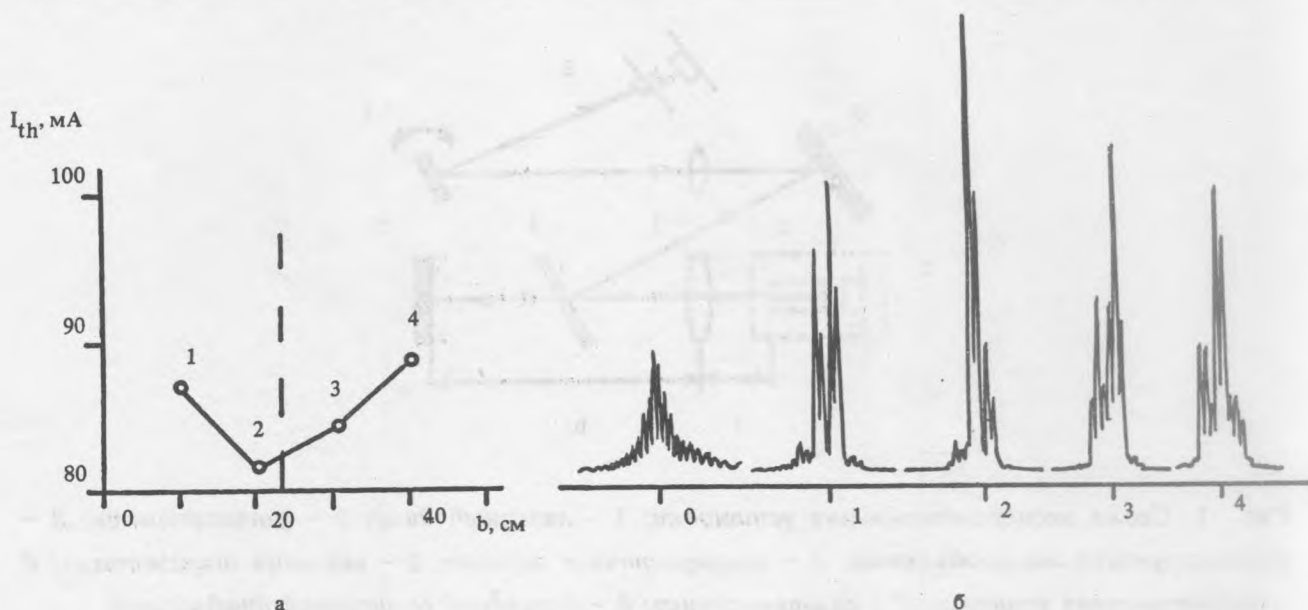


Рис. 2. а) Зависимость порогового тока от длины внешнего резонатора при  $f = 4,3$  мкм. б) Спектры продольных мод ЛД при длинах ВР, обозначенных цифрами на рис. 2а. Спектр, обозначенный цифрой 0, соответствует работе ЛД без внешнего резонатора.

на внешнем зеркале плоский, и обычное зеркало ведет себя как ОВФ-зеркало. Эффективность ввода света, возвращающегося из ВР в моду ЛД, при этом максимальна [5]. При указанных выше параметрах  $b_{opt} = 23$  см, что согласуется с данными рис. 2а. Для подтверждения обнаруженного соответствия выполнены измерения с коллимирующим объективом, имеющим фокусное расстояние 8 мм. В этом случае, согласно (1), минимальные пороговый ток и ширина огибающей спектра должны наблюдаться при  $b_{opt} = 80$  см. Экспериментальные результаты на рис. 3 согласуются с этим предположением. Отметим, что при произвольной длине ВР, поворотом внешнего зеркала вокруг горизонтальных и вертикальных осей можно добиться спектра, сопоставимого по ширине огибающей с оптимальным. Однако, наибольшая выходная мощность при наименьшей ширине огибающей спектра получалась только для длин внешнего резонатора вблизи  $b_{opt}$ . Аналогичное поведение спектра наблюдалось еще у двух лазерных диодов того же типа.

Наблюдаемая зависимость ширины огибающей спектра ЛД с НЭУ от длины ВР не согласуется с известным представлением о том, что короткий внешний резонатор более эффективно селекционирует продольные моды ЛД, чем длинный. Полученные результаты можно объяснить, если предположить, что действие ВР сводится к изменению коэффи-

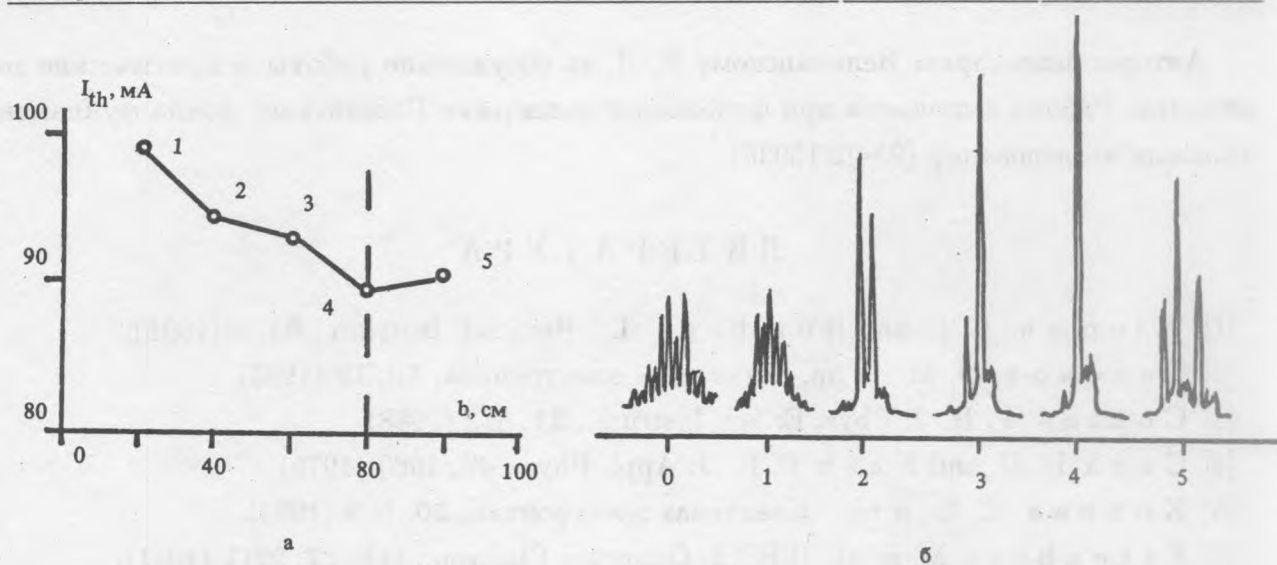


Рис. 3. а) Зависимость порогового тока от длины внешнего резонатора при  $f = 8$  м.м. б) Спектры продольных мод ЛД при соответствующих длинах ВР.

циента отражения грани ЛД. Тогда ЛД с ВР представляет собой обычный лазерный диод с измененным отражением передней грани. При небольшом коэффициенте отражения внешнего зеркала эффективный коэффициент отражения грани (по амплитуде)  $r'_2$  имеет вид:

$$r'_2 = r_2 + (1 - r_2^2) \kappa r_3,$$

где  $r_2$  – коэффициент отражения передней грани ЛД;  $r_3$  – коэффициент отражения внешнего зеркала (с учетом потерь в коллимирующем объективе);  $\kappa$  – эффективность ввода отраженного обратно света в моду ЛД. Как отмечалось [5],  $\kappa = 1$  при длине внешнего резонатора  $b = b_{opt}$  и  $\kappa < 1$  при  $b \neq b_{opt}$ . Очевидно, что повышение эффективного коэффициента отражения грани при  $b = b_{opt}$  понижает порог генерации (рис. 2а и 3а). Поскольку количество спонтанного света связано с населенностью верхнего уровня, то понижение пороговой инверсии уменьшает число спонтанных фотонов, вводимых в лазерные моды. Это в свою очередь может уменьшить ширину огибающей спектра продольных мод [8].

Таким образом, в работе показано, что зависимость ширины огибающей спектра продольных мод лазерного диода с направляющим эффектом усиления от длины внешнего резонатора носит немонотонный характер. Получено выражение для длины ВР, при которой ширина огибающей спектра минимальна.

Авторы благодарны Величанскому В. Л. за обсуждение работы и критические замечания. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-02-15038).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wieman C. E. and Hollberg L. Rev. Sci. Instrum., **62**, 1 (1991).
- [2] Беленов Э. М. и др. Квантовая электроника, **10**, 12 (1983).
- [3] Coates P. B. J. Phys. E: Sci. Instrum., **21**, 812 (1988).
- [4] Cook D. D. and Nash F. R. J. Appl. Phys., **46**, 1660 (1975).
- [5] Котова С. П. и др. Квантовая электроника, **20**, N 5 (1993).
- [6] Ettenberg M. et al. IEEE J. Quantum Electron., **QE-17**, 2211 (1981).
- [7] Velichanskii V. L. et al. J. Sov. Laser Research, **12**, 341 (1991).
- [8] Cassidy D. T. J. Appl. Phys., **57**, 987 (1985).

Поступила в редакцию 28 мая 1993 г.