

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ  
ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ СОСТАВНОГО РЕЗОНАТОРА

П. Г. Елисеев, М. А. Манько, Г. Т. Микаелян

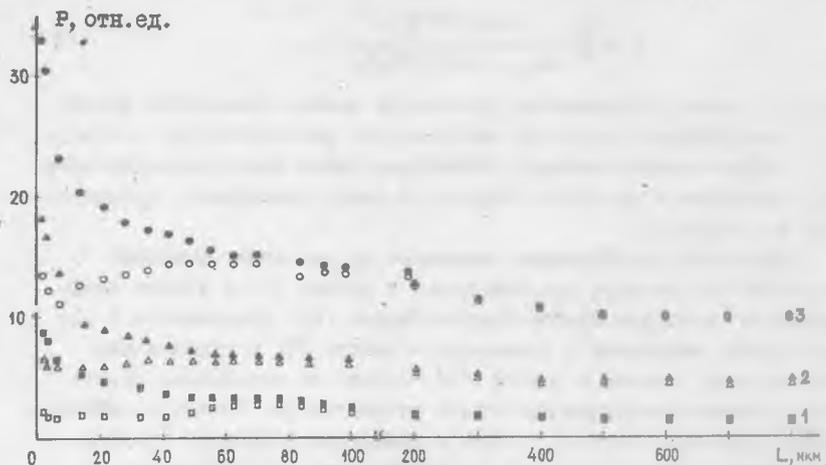
УДК 543.42:621:378.325

Изучена зависимость выходной мощности инжекционного лазера с составным резонатором от длины последнего. Рассчитан эффективный коэффициент отражения такого резонатора и измерены дифференциальный коэффициент усиления и коэффициент потерь инжекционных лазеров на основе двойных гетероструктур в системе арсенид галлия - арсенид галлия, алюминия. Обсуждена схема связи инжекционного лазера с одномодовым световодом, устраняющая нестабильности вводимой в световод мощности.

Составные резонаторы для инжекционных лазеров успешно применялись для управления параметрами излучения этих лазеров /1,2/. В настоящем сообщении метод составного резонатора используется для определения внутренних параметров активной области инжекционных лазеров: дифференциального коэффициента усиления  $\beta$  и коэффициента потерь  $\alpha$ . Традиционные методики определения этих параметров включали либо изменение коэффициента отражения торцов лазерного диода (нанесение отражающих или просветляющих покрытий), либо наличие серии однотипных лазеров с различными длинами резонаторов, что не дает возможности следить за эволюцией этих параметров для одного образца в процессе долговременных испытаний. Эти трудности удается обойти, используя метод составного резонатора.

Исследования проводились с инжекционными лазерами на основе двойных гетероструктур в системе  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As} - \text{GaAs} - \text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$  (толщина активной области  $d$  варьировалась от 1,5 до 2,5 мкм), работающими в импульсном режиме (длительность импульса 500 нс, частота следования 2 кГц) при комнатной температуре. Длина волны генерации  $\sim 0,89$  мкм. Составной резонатор был образован одним из

торцов лазерного диода и внешним плоским зеркалом с коэффициентом отражения  $R_0 = 0,85$ ; прецизионное изменение длины составного резонатора осуществлялось с помощью микрометрического винта и пьезоэлемента. В ряде экспериментов в качестве внешнего зеркала использовался полированный торец стекловолкна ( $R_0 = 0,04$ ).



Р и с. 1. Максимальные (черные значки) и минимальные (белые значки) значения выходной мощности инжекционного лазера длиной 480 мкм в зависимости от длины составного резонатора  $L$  при токе накачки 14,4 А (1), 13,1 А (2), 12,7 А (3). Пороговый ток 12,3 А, толщина активной области 2 мкм

Установка зеркал составного резонатора производилась по лучу газового лазера. Мощность излучения измерялась фотодиодом ФД7К, помещенным около противоположного торца лазера.

На рис. 1 приведена зависимость выходной мощности излучения инжекционного лазера с составным резонатором от длины последнего  $L$  при различных уровнях накачки. При  $L < 100$  мкм мощность излучения имеет пульсирующий характер (на рис. 1 сплошными значками показаны максимальные, а полыми — минимальные значения мощности выходного излучения). Такой характер зависимости обусловлен изменением эффективного коэффициента отражения  $R_2$  составного ре-

зонатора, который фактически является интерферометром Фабри-Перо. Этот экспериментальный факт мы использовали для определения  $\beta$  и  $\alpha$  по известным формулам для порогового тока  $I_n$  и дифференциальной эффективности  $\eta$ :

$$\Delta I_n = (1/2\beta L_0) \ln(R_2/R_1), \quad (1)$$

$$\eta = \frac{h\nu}{e} \frac{\ln(1/\sqrt{R_1 R_2})}{\alpha L_0 + \ln(1/\sqrt{R_1 R_2})} \eta_H, \quad (2)$$

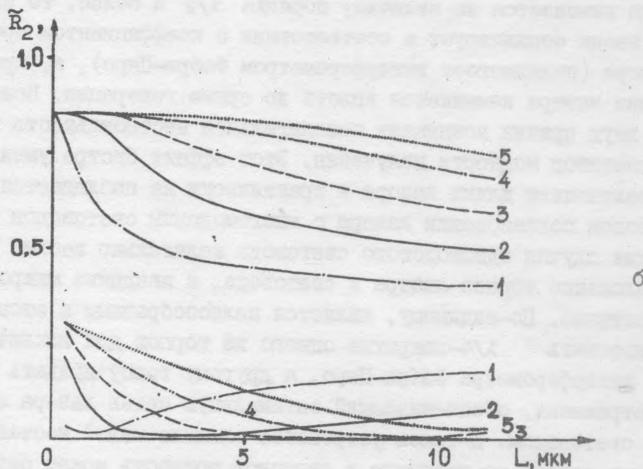
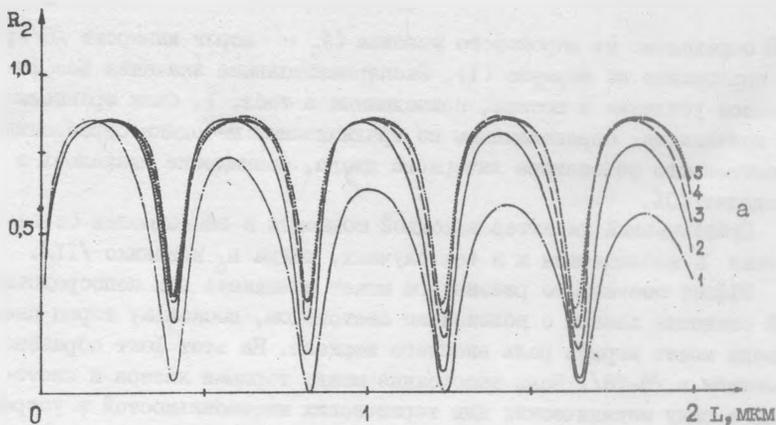
где  $L_0$  - длина собственного резонатора лазера (лазерного диода),  $R_1$  - коэффициент отражения собственного резонатора ( $R_1 = 0,32$ ),  $\eta_H$  - эффективность накачки (отношение числа электронно-дырочных пар, введенных в активную область, к числу электронов, пересекающих p-n переход).

Эффективный коэффициент отражения  $R_2$  для малых значений  $L$  вычислялся по методу, предложенному в работе /3/, с учетом коэффициентов связи для пучков Эрмита-Гаусса /4/. Зависимость  $R_2(L)$  при больших значениях  $L$  приведена в работе /5/ в приближении плоских волн, однако в работе /6/ указано на несогласие подобного расчета с экспериментальными результатами. Расчет в приближении гауссовых пучков с учетом искривления волнового фронта, по-видимому, может объяснить изменение фазы, наблюдавшееся в работе /6/. Результаты нашего расчета приведены на рис. 2. Параметром семейства кривых является эффективная ширина изучаемой области  $w_{\text{оx}}$  /7/; в случае, реализуемом в наших экспериментах, эта величина составляет 1,5 мкм. Из рис. 2 видно, что при  $L = 1-3$  мкм  $R_2 = 0,85$ . Результаты измерения параметров  $\beta$  и  $\alpha$  приведены в табл. I.

Таблица I

$L$ , мкм	$R_2$	$\eta$	$I_n$ , кА·см <sup>-2</sup>	$\beta$ , см·А <sup>-1</sup> ·I <sub>x</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\tilde{\alpha}$ , см <sup>-1</sup>	$\alpha$ , см <sup>-1</sup>
I	0,85	7,8	5,58	6,2	I6,5	I0
I5	0,70	8,3	6,11			
∞	0,32	9,0	7,7	5,8	I4	II

Здесь  $\tilde{\alpha} = \alpha + j_0\beta$ , где  $\alpha$  определено из измерения дифференциальной эффективности по ватт-амперной характеристике по формуле (2),



Р и с. 2. а) Рассчитанные значения эффективного коэффициента отражения  $R_2$  составного резонатора, образованного торпом лазерного диода и внешним зеркалом в зависимости от его длины  $L$ . Параметр семейства кривых - эффективная ширина излучающей области  $w_{ox} = 0,3$  мкм (1), 0,6 мкм (2), 0,9 мкм (3), 1,2 мкм (4), 1,5 мкм (5)  
 б) Огибающие максимальных (верхние кривые) и минимальных (нижние кривые) значений  $R_2$  в зависимости от  $L$

а  $\bar{\alpha}$  определено из порогового условия ( $j_0$  - порог инверсии /8/);  $\beta$  определено по формуле (I). Экспериментальные значения коэффициентов усиления и потерь, приведенные в табл. I, были сравнены со значениями, определенными по традиционной методике серебрения собственного резонатора лазерного диода. Совпадение оказалось в пределах 10%.

Пульсирующий характер выходной мощности в зависимости от величины  $L$  наблюдается и в тех случаях, когда  $P_0$  невелико /II/.

Эффект составного резонатора может возникать при непосредственной стыковке лазера с волоконным световодом, поскольку торец световода может играть роль внешнего зеркала. На этот факт обращено внимание в /9-13/. Если расстояние между торцами лазера и световода в силу механических или термических нестабильностей в устройстве ввода изменяется на величину порядка  $\lambda/2$  и более, то эффективность ввода осциллирует в соответствии с коэффициентом пропускания зазора (являющегося интерферометром Фабри-Перо), а, кроме того, режим лазера изменяется вплоть до срыва генерации. Вследствие этих двух причин возникает нежелательная нестабильность вводимой в световод мощности излучения. Этот эффект быстро уменьшается с увеличением длины зазора и практически не наблюдается при микролинзовом согласовании лазера с многомодовым световодом /10/. Однако для случая одномодового световода желательным весьма близкое расположение торцев лазера и световода, а введение микролинзы неэффективно. По-видимому, является целесообразным в этом случае использовать  $\lambda/4$ -покрытие одного из торцов для исключения внешнего интерферометра Фабри-Перо, а другому торцу придать коэффициент отражения, обеспечивающий оптимальную связь лазера с волоконным световодом. В таком устройстве влияние малой нестабильности длины зазора на вводимую в световод мощность может быть практически полностью устранено.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность А. П. Богатову за полезные обсуждения и помощь в работе.

Поступила в редакцию  
6 февраля 1979 г.

## Л и т е р а т у р а

1. П. Г. Елисеев, И. Исмаилов, М. А. Манько, В. П. Страхов, Письма в ЖЭТФ, 9, 594 (1969).
2. А. П. Богатов, П. Г. Елисеев, М. А. Манько, А. В. Хайдаров, Чан Минь Тхай, Лазеры с перестраиваемой частотой, изд. АН УССР, Киев, 1973 г., стр. 173.
3. П. Г. Елисеев, Докторская диссертация, ФИАН, Москва, 1975 г.
4. Г. Когельник, Квазиоптика, Мир, М., 1975 г., стр. 210.
5. C. Voumard, R. Salathe, H. Weber, Appl. Phys., 12, 369 (1977).
6. J. Nishizawa, H. Fukuda, M. Morishita, IEEE Journ. Quant. Electron., QE-13, 604 (1977).
7. П. Г. Елисеев, в сб. Квантовая электроника № 3, 120 (1971).
8. О. В. Богданкевич, С. А. Дарзбек, П. Г. Елисеев, Полупроводниковые лазеры, Наука, М., 1976 г.
9. E. Weidel, Opt. and Quant. Electr., 8, 301 (1976).
10. П. Г. Елисеев, В. Н. Лавров, И. Н. Скопин, Препринт ФИАН № 177, 1978 г.
11. D. Kato, Opt. Commun., 26, 335 (1978).
12. I. Ikushima, M. Maeda, IEEE Quant. Electr., QE-14, 331 (1978).
13. W. J. Burke, M. Ettenberg, H. Kressel, Appl. Opt., 17, 2233 (1978).