

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.372.832.431

Д. А. Козырев, П. В. Короленко

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ВОЛНОВОДНОГО РЕЖИМА  
ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА

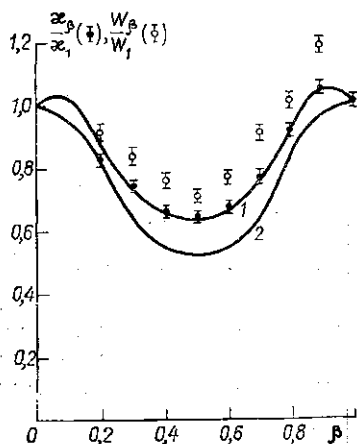
Исследованию газовых волноводных лазеров посвящено большое количество работ (см., например, [1—6]). Однако особенности работы таких лазеров выяснены еще далеко не полностью. Так, слабо изучены процессы перехода от генерации на модах устойчивого резонатора к волноводному режиму генерации. Недостаточно полно исследованы условия возбуждения и уровень потерь генерируемых волноводными лазерами типов колебаний и влияния на них геометрических параметров резонаторов и газоразрядных трубок.

В настоящей работе на примере He—Ne ОКГ с длиной волны  $\lambda = 3,39$  мкм исследуются энергетические и пространственные характеристики мод волноводного лазера в разных условиях их возбуждения.

С целью осуществления сравнительного анализа возбуждаемых в лазере типов колебаний эксперименты проводились на разных газоразрядных трубках, отличающихся длиной и внутренним диаметром, при различном расположении лазерных зеркал. Торцы газоразрядных трубок закрывались окошками под углом Брюстера. Трубки помещались внутри резонатора, образованного сферическими зеркалами с коэффициентами отражения  $r = 92\%$ . Для исследования пространственной структуры излучения часть его выводилась из резонатора внутренней светоделительной пластиной и с помощью вращающегося зеркала сканировалась по малой входной диафрагме инфракрасного приемника. Между светоделительной пластиной и приемником помещалась собирающая линза, посредством которой можно было проектировать на плоскость диафрагмы приемника различные сечения лазерного пучка. Сигнал с приемника подавался на осциллограф. Получаемые на его экране осциллограммы соответствовали распределению интенсивности по поперечному сечению лазерного пучка. Запас по усилению генерируемых типов колебаний определялся с помощью размещенного внутри резонатора калибровочного ослабителя.

Было проведено исследование эффективности обратной связи, обеспечиваемой внешними зеркалами лазера. Эффективность обратной связи в лазере, генерирующем основную моду  $EH_{11}$ , характеризовалась коэффициентом связи  $\kappa_\beta$ , который определял долю мощности излучения, переходившую в волноводную моду после отражения от зеркала резонатора. На рис. 1 приведены характерные для нашего эксперимента кривые, определяющие зависимость коэффициента  $\kappa_\beta$  и выходной мощности  $W_\beta$  от параметра  $\beta = d/R$  ( $d$  — расстояние между зеркалом и

торцом газоразрядного капилляра,  $R$  — радиус кривизны зеркала). Измерение коэффициента  $\kappa_\beta$  проводилось по изменению запаса по усилению в лазере. Все данные нормированы на значения при  $\beta=1$ . Анализ распределения интенсивности в поперечном сечении пучка исследуемого лазера показал, что при строгом совмещении оси трубки с осью резонатора независимо от расстояния между зеркалом и торцом капилляра лазер генерировал волноводную моду  $EH_{11}$ . Осциллограмма, характеризующая распределение поля этой моды, приведена на рис. 2, а.



На рис. 1 графически представлены результаты численного расчета коэффициентов связи, выполненного в работе [6] с помощью дифракционного интеграла для параметров, соответствующих нашему эксперименту. Из сравнения теоретических и экспериментальных данных видно, что экспериментальные значения коэффициента несколько превосходят

Рис. 1. Влияние положения зеркал на величину коэффициента связи  $\kappa_\beta$  и уровень выходной мощности  $W_\beta$ .  $\kappa_\beta/\kappa_1$ : 1 — по формуле (1) и 2 — по Дегнану и Халлу [6]; экспериментальные точки:  $\bullet$  —  $\kappa_\beta/\kappa_1$  и  $\circ$  —  $W_\beta/W_1$

теоретические. Наблюдающееся расхождение может быть связано с наличием в наших газоразрядных трубках торцевого расширяющегося раструба.

Проведенный теоретический анализ распространения излучения в волноводном резонаторе показал, что зависимость коэффициента  $\kappa_\beta$  от параметра  $\beta$  достаточно хорошо описывается приближенным выражением

$$\kappa_\beta = \frac{3,92}{2 + \frac{Q}{1+S} + \frac{1+S}{Q} \left\{ 1 + \frac{23}{\alpha^2} \left[ \frac{0,044Q}{1+S} + \beta \right]^2 \right\}}, \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{ka^2}{R} \left( a - \text{радиус трубки, } k = \frac{2\pi}{\lambda} \right); \quad Q = 1 + \frac{23\beta^2}{\alpha^2};$$

$$S = \frac{0,044}{\alpha^2} [23\beta(1-2\beta) - 2\alpha^2]^2.$$

Это выражение получено с помощью соотношений [7], описывающих отражение  $TEM_{00}$  — пучка от сферического зеркала с бесконечной апертурой, в предположении, что поле дифракции моды  $EH_{11}$  на торце капилляра хорошо описывается волной  $TEM_{00}$ , минимальное сечение которой находится на торце капилляра и характеризуется радиусом пучка  $\omega_0 = 0,6435$  [2, 6]. Кривая, построенная с помощью выражения (1), также приведена на рис. 1.

Для изображенной на рис. 1 экспериментальной кривой область  $\beta = 0,2-0,5$  соответствовала устойчивой конфигурации резонатора, об-

разованного лазерными зеркалами. При этом максимальный радиус пучка  $w$  внутри капилляра, соответствующий моде  $TEM_{00}$  этого резонатора, для указанного интервала значений  $\beta$  превосходил радиус трубки  $a$  ( $\frac{w}{a} \approx 1,2 - 1,6$ ). Эксперименты, проведенные с использо-

ванием различных газоразрядных трубок при различном положении зеркал лазера, показали, что независимо от того, устойчива или неустойчива конфигурация резонатора, дифракционные потери генерируемых типов колебаний в случае  $w \gtrsim a$  хорошо описываются с помощью коэффициентов связи  $\kappa_{\beta}$ . Это свидетельствует о реализации в таких условиях волноводного режима генерации.

Характерной особенностью лазера, работающего в волноводном режиме, является усложнение модового состава генерации при разъюстировке лазерных зеркал. В качестве примера на рис. 2 (б, в) приведены осциллограммы, характеризующие распределение интенсивности по сечению выходного пучка при разъюстировке зеркал. Такой характер распределения поля обусловлен возбуждением суперпозиции волноводных мод.

Следует отметить, что подобные суперпозиции волноводных мод наблюдались и при разъюстировке зеркал лазера, генерирующего в съюстированном состоянии устойчивые типы колебаний. На рис. 3 изображена экспериментальная зависимость запаса по усилению  $A$  в лазере от величины параллельного смещения оси его резонатора. Экспериментальные данные получены с использованием газоразрядной трубки с большим диаметром при замене одного из сфери-

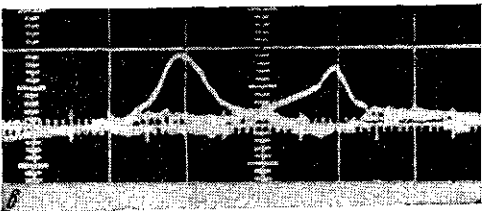
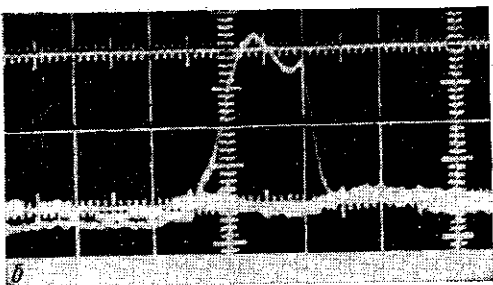
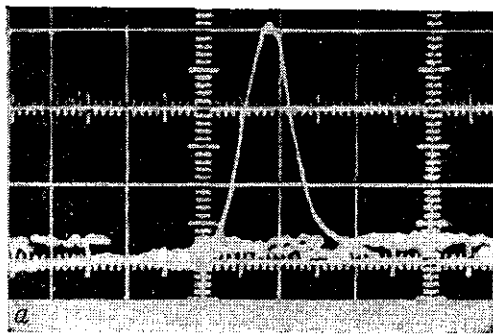
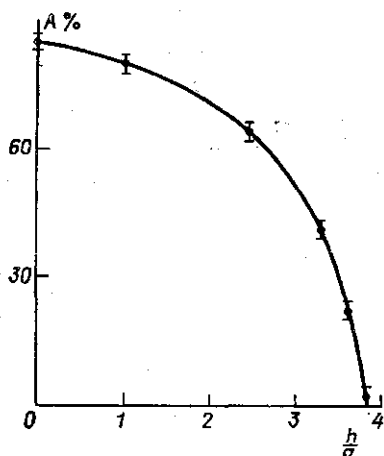


Рис. 2. Осциллограммы распределения интенсивности в лазерном пучке: а — система соосна, б, в — система разъюстирована

ческих зеркал резонатора на плоское (параллельное смещение оси резонатора достигалось наклоном сферического зеркала). При совпадении осей трубки и резонатора лазер генерировал основной тип колеба-

ний  $TEM_{00}$ , дифракционные потери которого были пренебрежимо малы. Смещение оси резонатора приводило к усложнению пространственной структуры лазерного пучка. Из приведенного на рис. 3 графика видно,



что генерация имела место с весьма значительным запасом по усилению, когда смещение оси даже превосходило радиус трубки. Столь сильная разъюстировка резонатора, при которой практически невозможно возбуждение устойчивых типов колебаний, свидетельствует о переходе лазера в волноводный режим генерации.

Таким образом, результаты проведенного исследования показывают, что в лазерах с малым диаметром газоразрядной трубки переход от генерации на модах устойчивого резонатора к волно-

Рис. 3. Зависимость запаса по усилению  $A$  от величины смещения  $h$  оси резонатора

водному режиму генерации может быть обусловлен как увеличением радиуса собственной моды, так и разъюстировкой системы. При этом в отличие от генерации на модах устойчивого резонатора нарушение соосности приводит к усложнению пространственной структуры лазерного пучка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith P. W. „Appl. Phys. Lett.“, 1971, 19, 132.
2. Degnan J. J. „J. Appl. Phys.“, 1976, 11, 1.
3. Гончуков С. А. и др. «Квантовая электроника», 1975, 2, 406.
4. Касельский В. А., Остапенко Е. П., Рябов А. И., Степанов В. А. «Квантовая электроника», 1976, 3, 1821.
5. Гончуков С. А., Корнилов С. Т., Проценко Е. Д. «Квантовая электроника», 1976, 3, 18.
6. Degnan J. J., Hall P. R. „IEEE J. Quant. Electr.“, 1973, 9, 901.
7. Kogelnik H., Li T. „Proc. IEEE“, 1966, 54, 1312.

Кафедра  
оптики и спектроскопии

Поступила в редакцию  
02.12.77

УДК 621.318.1 : 538.22.082.78

О. С. Галкина, Л. В. Лазарева,  
Т. М. Швец, А. С. Шитова

#### МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ЖЕЛЕЗА

Проведено исследование концентрационных зависимостей магнитных характеристик высокодисперсного железа. Исходные образцы представляют собой порошки, состоящие из отдельных частиц, анизотропных по форме, разделенных на монокристаллические «блоки» с размерами, близкими к однодоменным. Порошки изготовлены в Институте коллоидной химии АН УССР электролизом в двухслойной ван-