

不对称的环形激光器

林福成 李世芳 胡企铨

(中国科学院上海光机所)

提要: 在环形激光器中, 把一个方向传播的波部分反馈回另一个方向传播的波, 可以得到不对称的输出。对最简单的不对称环形激光器进行了计算, 用铜蒸气激光器和染料激光器进行的实验, 表明很容易得到 40:1 的不对称输出。

An asymmetric ring laser

Lin Fucheng, Li Shifang, Hu Qiquan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia sinica, Shanghai)

Abstract: Asymmetric output is obtained when a feedback is introduced in a ring laser to force part of the traveling wave into the other. The coupling between both waves plays an important role in such a device. The output ratio of the traveling wave is obtained experimentally to be 40 for a Cu vapor laser and 60 for a dye laser pumped by argon laser.

在通常的环形激光器中, 如果把一个方向传播的波反馈到另一个方向传播的波, 就可以得到很有趣的不对称输出。图1为最简单的一种不对称环形激光器。增益介质的长度为 L , 靠近增益介质的两个反射镜的反射率为 1; 第三个反射镜反射率为 R , 界面上由于散射引起的两个方向波的耦合系数为 S , 由后面的讨论可知, S 在决定弱输出光的幅度时有重要的作用。第四块镜子 M 的反射率 R_1 , 它把部分顺时针传播的波反馈到逆时针传播的波。仿照 Rigrod^[1] 对驻波型激光器的处理方法, 令增益介质的饱和强度为 I_s , 顺时针的光强为 I_+ , 逆时针的光强为 I_- , 并引入归一化强度

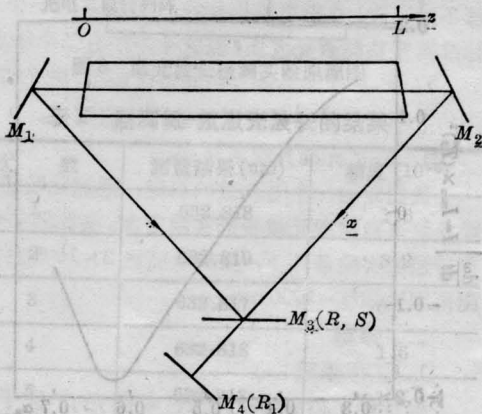


图1 最简单的不对称环型激光器

收稿日期: 1985年10月24日。

$$x = I_+/I_0, y = I_-/I_0 \quad (1)$$

增益介质中的增益系数 g 为

$$g = \frac{1}{x} \frac{dx}{dz} = -\frac{1}{y} \frac{dy}{dz} \quad (2)$$

所以增益介质中的光强有关系式

$$xy = x_0 y_0 = x_L y_L = C \quad (3)$$

式中 $x_0 = x(z=0)$, $x_L = x(z=L)$, $y_0 = y(z=0)$, $y_L = y(z=L)$, C 为常数。

现考虑在增益介质外面的光强变化。图 2 给出了 x 和 y 环行一周的情况。由于 M_3 和 M 的联合作用, 我们有

$$x_0 = x_L R + y_0 S, \quad (4)$$

$$y_L = y_0 R + x_L [R_1(1-R)^2 + S] \quad (5)$$

式(5)中已假定 M_3 的散射和吸收很小, 透过率近似为 $(1-R)$ 。由(3)、(4)和(5)式容易求出以 x_L 为变量的表达式

$$x_0 = (R + \sqrt{R_2 S}) x_L \quad (6)$$

$$y_0 = \sqrt{R_2/S} x_L \quad (7)$$

$$y_L = (R_2 + R\sqrt{R_2/S}) x_L \quad (8)$$

$$C = (R_2 + R\sqrt{R_2/S}) x_L^2 \quad (9)$$

式中 $R_2 = R_1(1-R)^2 + S$ 。

为了要进一步求出 x_L 的表达式, 需要知道(2)的具体形式。为简单起见, 假定增益介质是均匀加宽的, 小信号增益为 g_0 , 则有

$$g = g_0 / (1+x+y) \quad (10)$$

由(2)、(3)和(10)容易得到

$$x_L = (g_0 L + \ln p) (1-p) (1 + \sqrt{R_2/S}), \quad (11)$$

式中

$$p = R + \sqrt{R_2 S} \quad (12)$$

图 3 给出了 $G = g_0 L = 50$, $R = 0.5$ 时, x_L 和

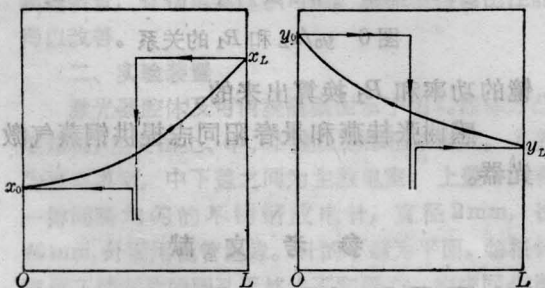
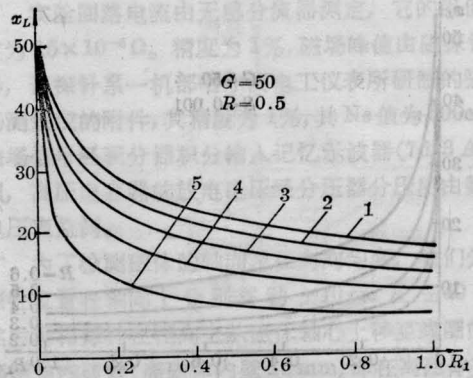
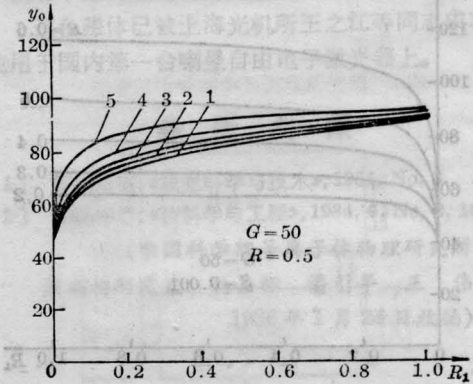


图 2 环行一周归一化光强的变化



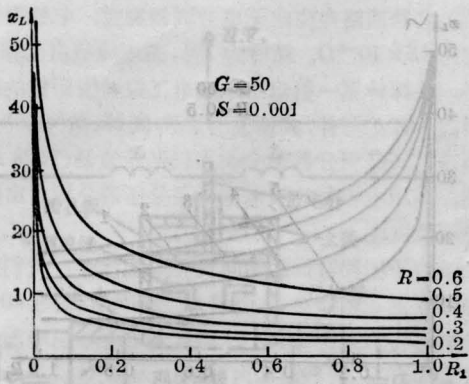
(a) 曲线 1— $S=0.09$; 2— $S=0.07$; 3— $S=0.05$; 4— $S=0.03$; 5— $S=0.01$



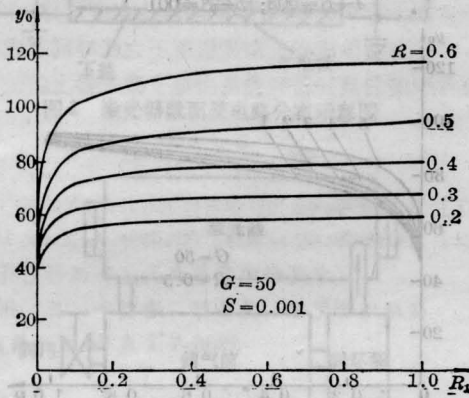
(b) 曲线 1— $S=0.09$; 2— $S=0.07$; 3— $S=0.05$; 4— $S=0.03$; 5— $S=0.01$

图 3 $G = g_0 L = 50$, $R = 0.5$ 时 x_L 和 y_0 随 R_1 的变化关系

y_0 随 R_1 的变化关系。散射耦合参数 S 取为 0.001、0.003、0.005、0.007 和 0.009。从图中可以看出, 当 R_1 很小(单向反馈很小)时, $x_L \approx y_0$; 随着反馈 R_1 的增加, x_L 和 y_0 差别越来越大。最大的 y_0 接近于 $R_1=0$ 时的两倍, 即 x 支的能量几乎都转移到 y 支去, 这时 y_0 随 S 的变化并不敏感。反之, 当 $R_1 \approx 1$ 时, x_L 比原来小很多, 并且随 S 的变化十分敏感。容易证明, 当 $S=0$ 时, 只要有一点单向反馈 R_1 存在 x_L 就等于零。图 4 给出 x_L 和 y_0 和 R_1 的关系, 这时 S 取为 0.001, 但 M_3 的反射率 R 取不同的值。可以看出 R 对 x_L 和 y_0 的影响都是很大的。图 5 给出 x_L 和 y_0 在没有单向反馈 ($R_1=0$) 和完全反馈 ($R_1=1$) 的变化情况。可以看出, 当 R 很大



(a)

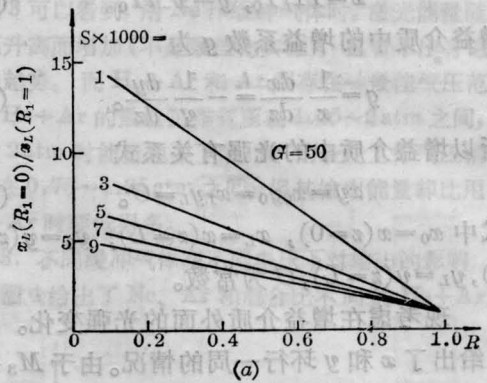


(b)

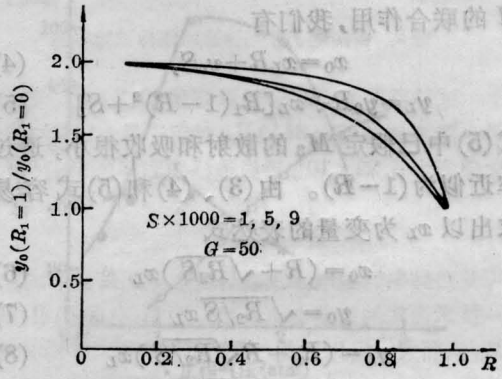
图4 x_L 和 y_0 与 R_1 的关系
 $G=50, S=0.001, R$ 值不同

时, M_4 的作用变得很小, 所以 R_1 的存在与否对 x_L 和 y_0 的影响不大。当 R 很小时, x_L 的变化很大, 且对 S 的关系很敏感; y_0 增加到原来的两倍, 但对 S 不敏感。图6给出 y_0/x_L 与各参数的关系。由图看出, 两个方向输出的功率比, 强烈地依赖于散射耦合参数 S 。

实验上, 我们用铜蒸气激光器和 Ar^+ 激光泵浦的染料激光器进行初步的验证。在 $CuCl$ 放电管的平均放电电流为 200 mA 的条件下, 环形腔长度为 2.5 m, $R_1 \approx 1$, 得到 $y_0/x_L = 38$ 。气体激光器的线宽是非均匀加宽, 在定量关系上将表现为要修改(10)式, 但定性关系是相似的。在一台 801 型环形染料激光器上取走单向器, 再加入单向反馈镜, 得到 $y_0/x_L = 60$, 其中 x_L 的测量是由透过 M_4



(a)



(b)

图5 x_L 和 y_0 在两种极端情况
 $(R_1=0$ 和 $R_1=1)$ 下的变化

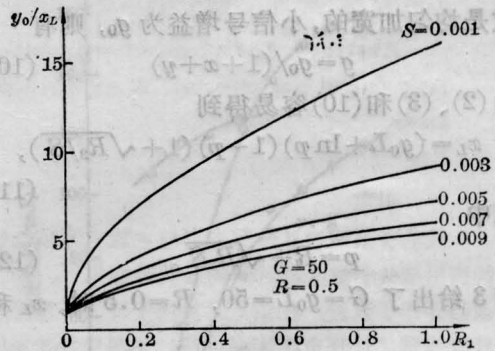


图6 y_0/x_L 和 R_1 的关系

镜的功率和 R_1 换算出来的。

感谢张桂燕和景春阳同志提供铜蒸气激光器。

参 考 文 献

- [1] W. W. Rigrod; *J. Appl. Phys.*, 1965, 36, No. 8, 2487.