

掺杂铈酸锂 He-Ne 相位共轭激光器的 稳态输出特性

刘劲松*

(西安电子科技大学技术
物理系, 西安 710071)

吴仲康**

(南开大学物理系,
天津 300071)

徐玉恒**

(哈尔滨工业大学化学系,
哈尔滨 150006)

提 要

实验研究了以 Ce:Fe:LiNbO₃ 晶体为相位共轭镜的 He-Ne 外泵浦相位共轭激光器的稳态输出特性。并建立了在强泵浦条件下的理论公式。理论与实验曲线在趋势上相一致。

关键词: 光折变非线性光学, 相位共轭, 激光器, 光折变晶体。

一、引 言

相位共轭激光器(Phase Conjugate Laser)具有可校正腔内光学系统引起的相位畸变, 失调灵敏度低等优点^[1]。对外泵浦相位共轭激光器, 其输出光强与相位共轭镜(Phase Conjugate Mirror)的泵浦光强有关。以往对这种特性的研究主要集中在理论方面, 且相位共轭镜为类克尔介质^[2,3]。对光折变介质, 主要集中在相位共轭光腔、环形腔以及自泵浦相位共轭激光器^[4~6], 而很少涉及这种特性的研究。

本文以光折变晶体 Ce:Fe:LiNbO₃ 为相位共轭镜, He-Ne 气体为激活介质, 构成了外泵浦相位共轭激光器^[7], 实现了 LiNbO₃ 在 632.8 nm 波段上的连续自振荡。文中实验研究了该相位共轭激光器的稳态输出特性并根据实验条件和光折变材料的特点建立了理论公式, 得到了同实验值在趋势上相一致的理论结果。

二、实验装置与结果

相位共轭激光器的光路如图 1 所示。S 为单横模 He-Ne 激光器, BS 为分束器, M 为全反镜, D 为 He-Ne 功率计, HN 为单程增益为 0.135 的半外腔 He-Ne 激光管。RM 和 PCM 为相位共轭激光器的两个腔镜。相位共轭镜 PCM 由一块尺寸为 10×10×1.3 mm³ 的 Ce:Fe:LiNbO₃ 单晶构成, 其泵浦光为 I₁ 和 I₂, 以透射光栅的形式工作, 晶体通光面的法线方向与泵浦光的方向平行。RM 到 PCM 的距离为 60~70 cm。光束 I₁ 和 I₂ 的夹角为 10° 左右。相位共轭激光器的输出光强为 I_r。

收稿日期: 1991年2月4日; 收到修改稿日期: 1991年4月8日

* 得到霍英东教育基金会资助; ** 得到国家自然科学基金会的资助。

令 $I_b = I_1 + I_2$ 为总泵浦光强, $q = (I_2/I_1)$ 为前后向泵浦光强之比。在不同 q 值下, 测量了稳态下 $I_r - I_b$ 关系, 如图 2(a) 所示。结果表明 I_r 随 I_b 呈饱和型的变化形式。

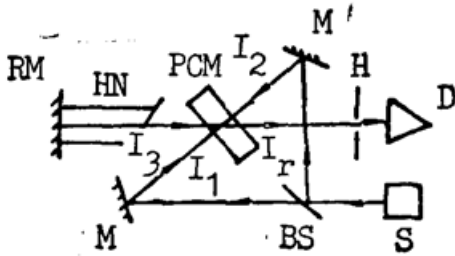


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental PCL set-up.

固定 I_2 不变, 改变 I_1 , 测量了 $I_r - I_1$ 关系, 如图 2(b) 所示。同样, 在固定 I_1 不变的情况下, 测量了 $I_r - I_2$ 关系, 如图 2(c) 所示。同 $I_r - I_b$ 关系相似, $I_r - I_1$ 及 $I_r - I_2$ 关系也是饱和型的。总的说来, I_r 比 I_b 或 I_1, I_2 小三个量级。光致散射效应的存在损失了泵浦光的许多能量。

为了不致进一步增大该相位共轭激光器的振荡阈值, 采用了从相位共轭镜 PCM 一端输出光功率的形式。这当然使相位共轭镜 PCM 校正相位畸变的能力未得到充分利用, 但并不影响对相位共轭激光器稳态输出特性的讨论。

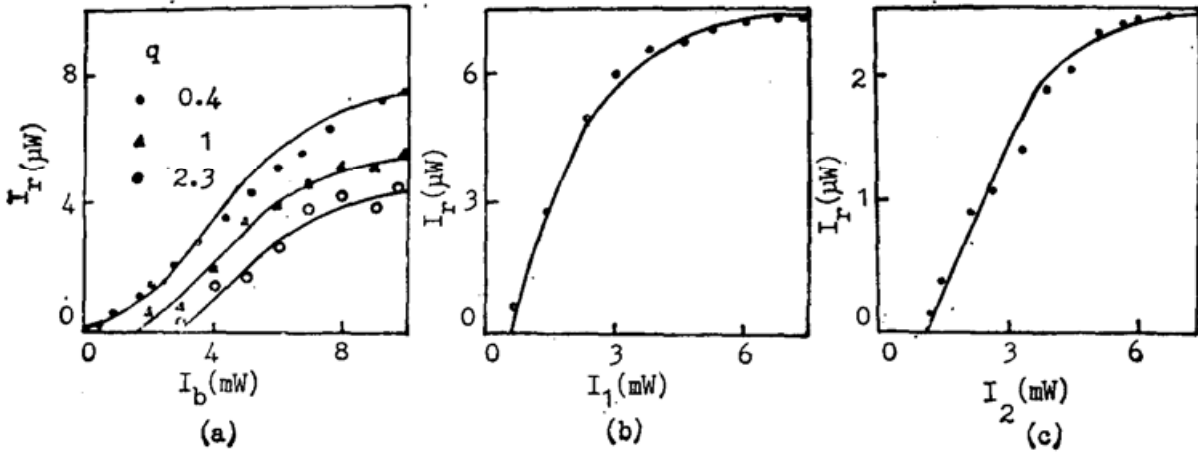


Fig. 2 Experimental curve of the output characteristic of the PCL in steady state. (a) $I_r - I_b$, (b) $I_r - I_1, I_2 = 2 \text{ mW}$, (c) $I_r - I_2, I_1 = 2 \text{ mW}$

三、理 论

相位共轭激光器示意图如图 3 所示。设 I_s 与 α 分别为 He-Ne 气体的饱和参量与损耗系数。 $\beta_i (i=0, 1, 2, 3, 4)$ 是相位共轭激光器腔内从参考面 P 出发及其在腔内往返一周时各处的光强。 I_r 和 I_c 分别为从相位共轭镜 PCM 和反射镜 RM 一端输出光的光强。设 RM 的反射率为 R_0 。且实验满足以下条件 $R_0 \approx 1, g_0 l \ll 1, \beta_i \ll I_s, \beta_i \ll I_b, i=0, 1, 2, 3, 4$ 。这里 g_0 和 l 分别为 He-Ne 气体的小信号增益系数和长度。

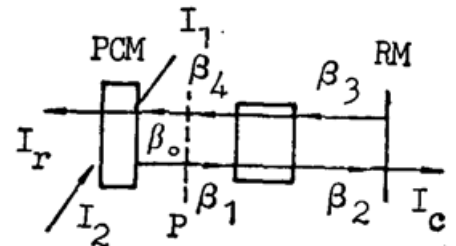


Fig. 3 Geometry and notation used for the analysis of the PCL.

在 $\beta_0 \ll I_b$ 的条件下将文献 [8] 中的 (3.11)、(3.13) 式进行化简*, 得到相位共轭镜 PCM 的反射率 RM 的表达式为

$$R = R_m I_b / (I_b + \beta_0 A), \tag{1}$$

$$R_m = \left| \frac{\text{sh}(\gamma d/2)}{\text{ch}[(\gamma d/2) + (\ln q/2)]} \right|^2, \tag{2}$$

* β 对应文献 [8] 中的 $I_4(0)$ 。

$$A = (1+q)R_m, \quad (3)$$

式中 γ 和 d 分别为 LiNbO₃ 的简并四波混频的复耦合系数和通光方向的长度。 R_m 是小信号时 R 的表达式, 同文献[8]中(2.15)式相一致。为了区别 R 和 R_m , 称 R 为强泵浦条件下简并四波混频光折变相位共轭镜反射率的表达式, 它同文献[8]中(3.11)式即大信号时的表达式亦有很大的差别。强泵浦条件区别于小信号条件的关键在于, 对小信号, (1)式中的 β_0 应忽略, 这将使得有关相位共轭激光器强度特性的公式无法建立。

稳态下激光器的输运方程为^[1]

$$\pm \frac{1}{\beta_{\pm}} \frac{d\beta_{\pm}}{dz} = \frac{g_0}{\{1 + [(\beta_+ + \beta_-)/I_s]\}} - \alpha, \quad (4)$$

式中 β_{\pm} 为腔内沿 $\pm z$ 方向传播的光强, z 为沿轴向的空间坐标, 从左到右为其正向, 当 $g_0 l \ll 1$ 时, β_{\pm} 随 z 的变化很小, 故取近似 $\beta_+ + \beta_- \approx \beta_1 + \beta_4$, 然后对(4)式积分得

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 &= \beta_1 \exp\left\{\frac{g_0 l}{1 + [(\beta_1 + \beta_4)/I_s]} - \alpha l\right\}, \\ \beta_4 &= \beta_3 \exp\left\{\frac{g_0 l}{1 + [(\beta_1 + \beta_4)/I_s]} - \alpha l\right\}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

由文献[8]中(2.14 d)式, 得 I_r 和 β_0 在小信号下的关系为

$$\left. \begin{aligned} I_r &= G\beta_0, \\ G &= \left| \frac{1+q}{q + \exp(-\gamma d)} \right|^2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

利用(5)式、(6)式和 $\beta_3 = R_0\beta_2$, $\beta_1 = R\beta_0$, $I_c = (1-R_0)\beta_2$ 以及稳定振荡时的自洽条件 $\beta_0 = \beta_4$, 在 $g_0 l \ll 1$ 以及 $\beta_i \ll I_s$ ($i=0, 1, 2, 3, 4$) 的条件下, 可推得

$$\left. \begin{aligned} I_r &= g_1 G I_b / (A + g_2 I_b), \quad I_c = g_1 g_3 I_b / [A(1+g_1) + g_2 I_b], \\ g_1 &= R_0 R_m \exp[2l(g_0 - \alpha)] - 1, \quad g_3 = (1-R_0) R_m \exp[(g_0 - \alpha)l], \\ g_2 &= 2g_0 l R_0 R_m (1 + R_m) \exp[l(g_0 - 2\alpha)] / I_s, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

由(7)式易得相位共轭激光器的阈值条件为

$$R_m \exp(2g_0 l) > \exp(2\alpha l) / R_0. \quad (8)$$

这同一般激光器的阈值条件是相似的。不同之处在于 R_m 可以大于 1, 它所反映的是相位共

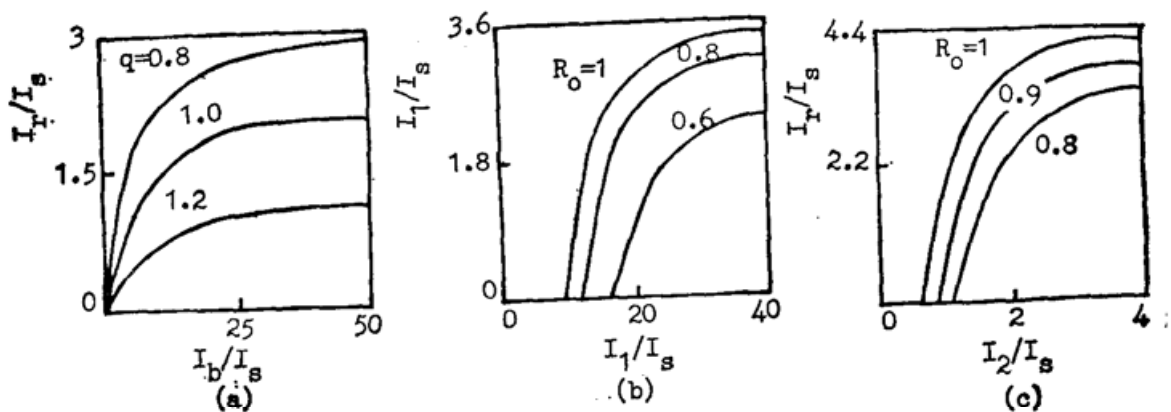


Fig. 4 Theoretical curves of the output characteristic of the PCL in steady state.

$g_0 l = 0.15, d = 5 \text{ mm}, \alpha l = 0.003$, let $\gamma = \gamma_0 \exp(i\theta)$, $\gamma_0 = 5 \text{ cm}^{-1}, \theta = 10^\circ$

(a) $(I_r/I_s) \sim (I_b/I_s)$, $R_0 = 0.9$,

(b) $(I_r/I_s) \sim (I_1/I_s)$, $I_2/I_s = 10$,

(c) $(I_r/I_s) \sim (I_2/I_s)$, $I_1/I_s = 30$

镜 PCM 为相位共轭激光器的一个增益元件这一事实。

由(7)式可看出, I_r 和 I_o 随 I_b 呈饱和型的变化形式, 当 I_1 或 I_2 改变时, $q = I_2/I_1$ 也要改变, 故 I_r 随 I_1 或 I_2 的变化形式较随 I_b 的变化形式更复杂一些。图 4 给出了 I_r/I_o 随 I_b/I_s , I_1/I_s 及 I_2/I_s 的变化关系。与图 2 实验曲线相比, 其趋势是一致的。

理论与实验的差别主要表现在输出光强的理论值远大于实验值, 作者认为理论未将光致散射效应考虑进去。该效应使得入射到相位共轭镜上的泵浦光之很大一部分损失掉了, 有效的泵浦光远比图 2 中标出的泵浦光小得多, 而理论曲线中给出的是有效泵浦光, 这便造成了理论与实验的差别。在 I_r-I_b 关系中, 理论值与实验曲线给出的阈值特性也有差别。这是由于理论未考虑相位共轭镜的光吸收。腔内光束从相位共轭镜一端输出时, 即得到了 I_1 的放大, 同时存在着相位共轭镜的光吸收。 I_b 一定时, q 越大则 I_1 减小, 吸收起的作用越明显, 故相位共轭激光器的阈值越高, 实验结果反映了这一点。

四、结 论

(1) 实验表明, 连续外泵浦相位共轭激光器的输出光强可被相位共轭镜 PCM 泵浦光强有效地加以控制, 这样所得到的输入输出特性可望用于实现某些光逻辑器件^[3]。

(2) 在强泵浦条件下所建立的光折变晶体外泵浦相位共轭激光器的稳态理论能对实验结果作出较满意的解释。这一理论的特点是形式简洁, 所得公式物理意义明确。

(3) Ce:Fe:LiNbO₃ 虽有很高的光折变效率, 但其光致散射效应强烈, 这极大地降低了这种相位共轭激光器的能效。因此, 如何有效地减弱光致散射是这种相位共轭激光器得以发展和应用的关键。

参 考 文 献

- [1] J. Anyeung *et al.*; *IEEE J. Quan. Electron.*, 1979, **15**, No. 10 (Oct), 1180~1188
- [2] A. Hardy *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1983, **73**, No. 5 (May), 594~599.
- [3] 刘劲松;《红外研究》, 1987, **6A**, No. 3 (Jun), 197~202.
- [4] J. O. White *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **40**, No. 6 (Mar), 450~452.
- [5] Sze-Keung Kwong *et al.*; *IEEE J. Quan. Electron.*, 1986, **22**, No. 8 (Aug), 1508~1523.
- [6] Mark Gronin-Golomb *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, No. 3 (Aug), 219~220.
- [7] 刘劲松等;《红外研究》, 1990, **9A**, No. 1 (Feb), 63~66.
- [8] Mark Cronin-Golomb *et al.*; *IEEE J. Quan. Electron.*, 1984, **20**, No. 1 (Jun), 12~30.

Output property of a doped lithium niobate He-Ne phase conjugate laser in steady state

LIU JINSONG

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071)

WU ZHONGKANG

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

XU YUHENG

(Department of Chemistry, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

(Received 4 February 1991; revised 8 April 1991)

Abstract

The output property of a He-Ne phase conjugate laser with Ce:Fe:LiNbO₃ as its phase conjugate mirror has been studied experimentally in steady state. A theory about the laser has been built up under strong pumping condition. The experimental results were in accord with the theoretical ones approximately.

Key words: photorefractive nonlinear optics, phase conjugation, laser, photorefractive crystal.