

双光束耦合相位共轭振荡器的理论与实验研究*

刘劲松

(西安电子科技大学技术物理系, 710071)

吴仲康

(南开大学物理系, 300071)

徐 玉 恒

(哈尔滨工业大学化学系, 150006)

摘要: 首先提出并构造了一种新型的光折变增益振荡器。在强泵浦条件下建立了它的稳态理论, 实验研究了它的稳态输出特性。

关键词: 光折变非线性光学, 相位共轭, 双光束耦合, 光振荡器

Theoretical and experimental research on two-beam coupling phase conjugate oscillators

Liu Jinsong

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

Wu Zhongkang

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

Xu Yuheng

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

Abstract: A novel optical oscillator with photorefractive gain are presented and constructed for the first time. A theory about the oscillator is built up under strong pumping condition. Its output characteristics in steady state have been researched experimentally.

Key words: photorefractive nonlinear optics, phase conjugate, two-beam coupling, optical oscillator

一、引 言

我们用两块光折变晶体分别作为相位共轭镜和双光束耦合介质, 与一块普通反射镜一起构成了一种结构上类似于外泵浦相位共轭激光器的新型振荡器。相位共轭镜和普通反射镜构

收稿日期: 1990年7月18日。

* 本课题得到霍英东教育基金会和国家自然科学基金会资助。

成光腔，双光束耦合介质作为光增益元件。其特点在于它是全光学型的以及其光增益源于非线性光学效应而不是受激辐射。我们称其为双光束耦合相位共轭振荡器，记为 TBCPCO (Two-Beam Coupling Phase Conjugate Oscillator)。

随着对半导体光折变特性的深入研究，TBCPCO 可望朝着小型化方向发展。由于它和外泵浦相位共轭激光器结构上的相似性，它有被用作光三极管和光逻辑门的潜在可能^[1]。因此这种全光学型的、小型化的激光器，可望在光计算、光信息处理及其它许多领域中得到应用。同时，借助于已有的非线性光学理论，可以系统地建立起 TBCPCO 的理论，这无疑有益于非线性光学和光腔理论的发展。

二、理 论

图 1 为 TBCPCO 的示意图。PCM 为简并四波混频透射光栅相位共轭反射镜， I_1 与 I_2 分

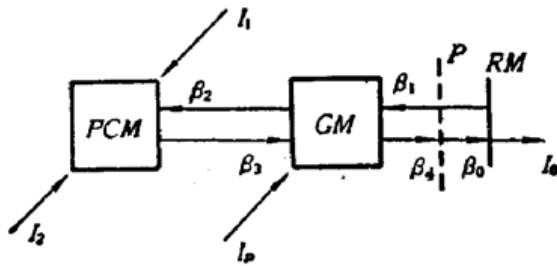


Fig. 1 Geometry and notation used for the analysis of the TBCPCO

别为其前、后向泵浦光。GM 为双光束耦合介质， I_p 为其泵浦光。RM 为普通反射镜。 β_i ($i=0, 1, 2, 3, 4$) 为腔内光强，它们分别代表从参考面 P 出发及在腔内往返一周时各处的光强。 I_0 为输出光强。TBCPCO 还可以有多种形式。图 1 所示形式的特点在于以真镜 RM 一端耦合出的能量为输出能量，这样可使 PCM 补偿相位畸变的能力得以利用。

设 γ_1 与 γ_2 分别为双光束耦合与简并四波混频的复耦合系数， $\Gamma = 2 \operatorname{Re}(\gamma_1)$ ， R 为 PCM 强度反射率， R_0 为 RM 强度反射率， L 为腔长， l 为 PCM 长度， d 为 GM 长度， α 为 GM 的损耗系数。令 $I_b = I_1 + I_2$ ， $q = I_2/I_1$ 。

1. 强度特性 为得到 I_0 较为简洁的表达式且与我们的实验条件一致，我们在 $\min(I_b, I_p) \gg \beta_i$ ($i=0, 1, 2, 3, 4$) 的条件下进行讨论。为同一般文献中的小信号条件相区别，称此条件为强泵浦条件。将 [2] 中 (19)、(20) 式在 $\beta_2 \ll I_b$ 的条件下进行化简，得

$$R = \frac{R_m I_b}{I_b + R_m (1+q) \beta_2} \quad (1)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} R_m &= 4 |T|^2 / |S|^2 \\ S &= [(q-1)T + q + 1] / \sqrt{q} \\ T &= \operatorname{th}(\gamma_2 l / 2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

R_m 为小信号条件下 R 的表达式^[3]。由通常的双光束耦合中的强度公式^[4]并考虑到 $\beta_3 \ll I_p$ ，有

$$\beta_4 = \frac{I_p}{I_p + \beta_3 \exp(\Gamma d)} \beta_3 \exp[(\Gamma - \alpha)d] \quad (3)$$

略去 GM 中的四波混频过程，则还有

$$\beta_1 = R_0 \beta_0, \quad \beta_2 = \beta_1 \exp(-\alpha d), \quad \beta_3 = R \beta_2, \quad I_0 = (1 - R_0) \beta_0 \quad (4)$$

稳定振荡时的自治条件为

$$\beta_4 = \beta_0 \quad (5)$$

令 $g = \exp(\Gamma d)$, 由(1)~(5)式可得

$$I_0 = \frac{I_b I_p G}{I_b g + I_p (1+g)} \quad (6)$$

式中

$$G = [R_m R_0 g \exp(-2\alpha d) - 1] (1 - R_0) \exp(\alpha d) / (R_m R_0) \quad (7)$$

由(6)与(7)式易于得到阈值条件为 $G > 0$, 即

$$R_m g > \exp(2\alpha d) / R_0 \quad (8)$$

可见, 阈值条件要求光束在腔内往返一周后总增益要大于总损耗, 这同一般激光器的相应概念是一致的。由于以上关系是在强泵浦条件下得到的, 所以实际的阈值条件要比(8)式强得多且应和 I_b 、 I_p 有关。由(6)式可知, I_0 随 I_b 及 I_p 都呈饱和型变化。

从上面的分析可看出, 此处提出的强泵浦条件区别于小信号条件的关键在于, 对后者来说, (1)和(3)式中分母里的 β_2 与 β_3 都应忽略。如果这样, 有关 TBCPO 强度特性的公式将难以建立。

2. 频率特性 下面我们在小信号条件下分析频率特性。设 $\Delta\psi$ 为光束在腔内往返一周后的总相移, 则在稳定振荡时应有

$$\Delta\psi = 2K_m L' + \Delta\psi_1 + \Delta\psi_2 = 2\pi m \quad (9)$$

式中 m 为正整数, $K_m = 2\pi\nu_m/v$ 为光波波矢, ν_m 为纵模频率, v 为光速, L' 为光腔的光学长度, $\Delta\psi_1$ 和 $\Delta\psi_2$ 分别为双光束耦合过程与四波混频过程引起的附加相移。在小信号条件下有^[4,5]

$$\begin{aligned} \Delta\psi_1 &= dI_m(\gamma_1) \\ \Delta\psi_2 &= \psi_1 + \psi_2 + I_m \ln \left[\frac{\text{sh}\left(\frac{\gamma_2 l}{2}\right)}{\text{ch}\left(\frac{\gamma_2 l}{2} + \frac{\ln q}{2}\right)} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

式中 ψ_1 与 ψ_2 分别为 PCM 的两个泵浦光在入射面上的相位。由此可推得

$$\nu_m = \frac{v}{4\pi L'} \left\{ 2\pi m - dI_m(\gamma_1) - \psi_1 - \psi_2 - I_m \ln \left[\frac{\text{sh}\left(\frac{\gamma_2 l}{2}\right)}{\text{ch}\left(\frac{\gamma_2 l}{2} + \frac{\ln q}{2}\right)} \right] \right\} \quad (11)$$

可见, ν_m 不仅取决于腔长, 同时取决于 PCM 与 GM 的材料和尺寸。但纵模间距 $\Delta\nu_m = v/2L'$ 仅和腔的光学长度有关。当小信号条件得不到满足时, ν_m 还应与 I_p 及 I_b 有关。

三、实 验

图2是实验光路图。GM和PCM都是Ce:Fe:LiNbO₃单晶, 尺寸都为10×10×1.3mm³, 通光方向尺寸为1.3mm。He-Ne激光器提供一束35mW单横模的632.8nm激光。M为全反镜, BS为分束器, D为分辨率为1μW的He-Ne功率计。

在信号光为10μW/cm², 泵浦光为10mW/cm²(等泵浦)的条件下测得PCM的反射率为R=1.5。(7)式中的R_m可近似取为此值, 即R_m≈1.5。用通常的双光束耦合实验可方便

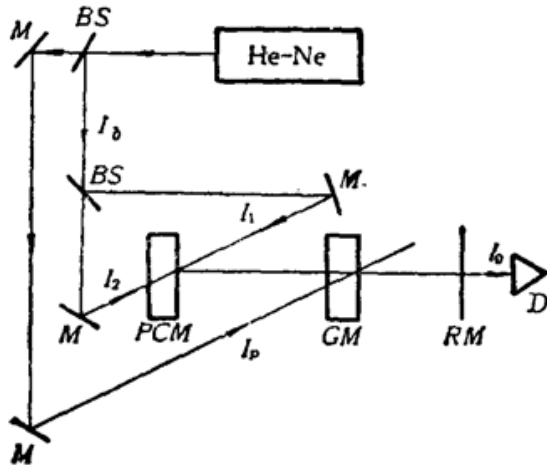


Fig. 2 Experimental set-up of TBCPCO

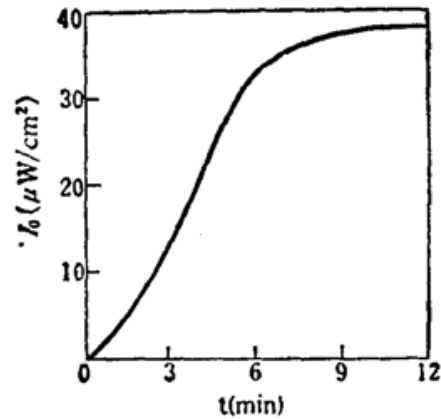


Fig. 3 Time evolution of the output intensity of TBCPCO

地测出 GM 的光放大倍数为 $g = \exp(\Gamma d) = 3$ ($\Gamma = 8.45 \text{ cm}^{-1}$), 同时测得 GM 的损耗系数为 $\alpha = 3.76 \text{ cm}^{-1}$ 。 $R_0 = 60\%$ 。

图 3 为这种振荡器起振过程的实验记录。由于 LiNbO_3 晶体的响应速度慢, 致使起振时间长达数分钟, 此处 $I_p = I_b = 25 \text{ mW/cm}^2$, $q = 1$ 。

当系统达到稳态后, 以 I_p 为参变量, 测量了 I_0 随 I_b 的变化规律。然后以 I_b 为参变量, 测量了 I_0 随 I_p 的变化规律。所得结果如图 4 所示, 其中理论曲线由 (6) 式给出。实验和理论值在 I_b 和 I_p 较大时吻合得较好, 这是由于 (6) 式仅在强泵浦条件下成立的缘故。总的说来, I_0 比 I_b 或 I_p 小两到三个量级。提高 I_0 的关键在于使用高效率的光折变介质。对于 LiNbO_3 来说, 光致散射效应是导致其稳态效率不高的主要原因, 泵浦光强越强, 这种效应越强烈。

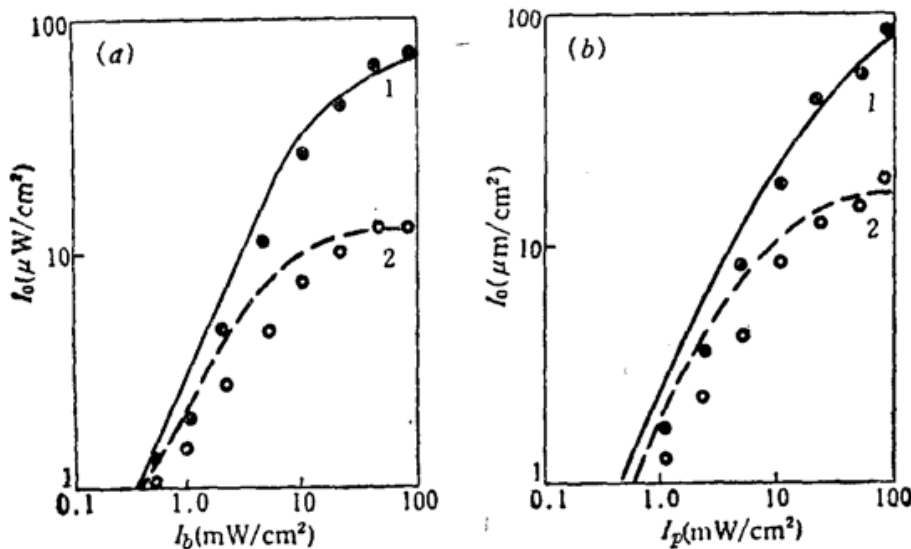


Fig. 4 Output characteristic of TBCPCO in steady state. $R_m = 1.5$, $g = 3$, $ad = 0.49$, $q = 1$, $R_0 = 0.6$

(a) I_0 changes with I_b . (1) $I_p = 30 \text{ mW/cm}^2$, —theoretical curve, ●-experimental point; (2) $I_p = 5 \text{ mW/cm}^2$, —theoretical curve, ○-experimental point. (b) I_0 changes with I_p . (1) $I_b = 30 \text{ mW/cm}^2$, —theoretical curve, ●-experimental point; (2) $I_b = 5 \text{ mW/cm}^2$, - - -theoretical curve, ○-experimental point,

四、结 论

1. 我们提出并构造了一种新型的光振荡器,它以相位共轭镜和双光束耦合介质分别为反馈与光增益元件。观测了它的自振荡过程,在稳态下实验研究了它的输入输出特性。

2. 建立了 TBCPO 的稳态理论。在强泵浦条件下给出了其输入输出特性的理论公式。在小信号条件下给出了其纵模频率公式。输入输出特性的理论值在泵浦光较大时同实验值吻合得较好。

3. 用 LiNbO_3 构成的 TBCPO 具有能效低、响应慢的弱点。改进的关键在于使用效率高、响应快的光折变介质。如果再将易于小型化考虑进去, $\text{Cr:GaAs}^{[6]}$ 等半导体材料是最合适的介质。理论方面,建立其瞬态理论和大信号稳态理论都是值得进行的工作。

本文的实验工作是在南开大学物理系晶体物理实验室完成的。

参 考 文 献

- 1 刘劲松, 红外研究, **6**(3), 197(1987)
- 2 Mark Cronin-Golomb *et al.*, *Opt. Lett.*, **7**(7), 313(1982)
- 3 Mark Cronin-Golomb *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-20**(1), 12(1984)
- 4 Pochi Yeh, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-25**(3), 484(1989)
- 5 Mark Cronin-Golomb *et al.*, *Opt. Lett.*, **10**(7), 353(1985)
- 6 H. Rajbenbach *et al.*, *Opt. Lett.*, **14**(1), 78(1989)

全国激光生物学激光医学学术交流讨论会在黄山市召开

1991年5月5日至9日,国家自然科学基金委员会生命科学部、信息科学部和中科院激光光谱开放实验室联合在安徽省黄山市召开第二次激光生物学和激光医学学术交流讨论会,50个单位115名科学家出席了会议。中心议题是激光生物学和激光医学的基础研究。

科学家们交流了激光生物学和激光医学研究成果,讨论了这两个领域的发展动向、存在的问题以及应当重点开展的研究课题。建议在激光医学方面重点支持发展:体腔内激光医疗基础研究;激光医疗、诊断新技术;激光与人体组织相互作用机理及参数;激光医疗仪器设计研究、医用光纤;激光生物、医学照射剂量标准。激光生物学方面重点支持发展:激光生物光学特性和激光生物光谱;激光育种机制;激光生物工程(例如细胞融合、外源基因导入、染色体工程)。

激光生物学和激光医学的研究涉及到医学、物理学、生物学、化学、农学和光学等学科,与会科学家建议这些学科的科学家不断扩大发展合作研究,并希望能够定期召开这样的讨论会,让不同学科的科学家有更多的机会集合到一起,共同讨论,相互交流学术观点。

(王玉堂 纪 钟)