

掺杂铌酸锂双相位共轭镜光学谐振腔的温度特性

刘劲松 梁昌洪 安毓英

(西安电子科技大学技术物理系, 西安, 710071)

李铭华 王家昌 徐玉恒

(哈尔滨工业大学化学系, 哈尔滨, 150006)

吴仲康

(南开大学物理系, 天津, 300071)

摘要: 用带导模型和耦合波方程在强泵浦条件下建立了能反映温度特性的光折变双相位共轭镜光学谐振腔的稳态强度公式, 研究了这种光腔的温度特性。相位共轭镜的温度相对于输出功率来说存在着一个最佳值, 在此温度值下输出光功率最大。不同温度下两个相位共轭镜的最佳泵浦比不同。用 Ce:LiNbO₃ 单晶和 He-Ne 激光构成了光折变双相位共轭镜光学谐振腔。测得的实验值与理论值基本吻合。

关键词: 相位共轭光腔 光折变非线性光学 掺杂铌酸锂 温度特性

Temperature dependence of a resonator with two doped-LiNbO₃ phase-conjugate mirrors

Liu Jinsong, Liang Changhong, An Yuying

(Department of Technical Physics, Xian University of Electronic Science and Technology)

Li Minghua, Wang Jiachang, Xu Yuheng

(Department of Chemistry, Harbin Institute of Technology)

Wu Zhongkang

(Department of Physics, Nankai University)

Abstract: The temperature-dependent intensity formulas about the optical resonator with two phase-conjugate-mirrors (PCM) are built up by using a band transport model and the coupling wave equation under the strong pumping condition in steady state. For PCM, there is a optimum temperature value and the resonator has the maximum output light power when the temperature is equal to the value. There are different optimum pump ratio for PCMs under different temperature. In the experimental system, the optical resonator contains two PCMs made with Ce:LiNbO₃ single crystal and a He-Ne laser. The experimental results are in agreement to theoretical analysis.

Key words: phase-conjugate resonator photorefractive nonlinear optics doped-LiNbO₃ temperature characteristic

一、引言

用两个相位共轭镜 PCM(Phase Conjugate Mirror)组成的相位共轭腔 PCR(Phase Conjugate Resonator)^[1], 由于有两个 PCM, 所以具有许多独特的性质, 如频率跳变特性^[1]和本征模的条件稳定性^[2]等。本文记这样的 PCR 为 DPCR(Double PCR)。当构成 PCM 的介质是光折

变晶体时,介质的温度影响着 DPCR 的工作特性。一方面,调节温度可以作为提高 DPCR 工作效率的手段。另一方面,温度的漂移会改变 DPCR 的工作点,带来热噪声。所以有必要对 DPCR 的温度特性加以研究。本文研究温度对 DPCR 强度特性的影响。在强泵浦条件下简化光折变材料简并四波混频透射光栅相位共轭大信号反射率,结合光腔的稳态振荡特性,建立了光折变双相位共轭镜光学谐振腔的稳态强度公式;用带导模型建立了简并四波混频透射光栅相位共轭大信号反射率的温度特性公式,从理论上研究了 DPCR 的温度特性。具体分析了 DPCR 两端之输出光强随温度的变化特性和不同温度下两个 PCM 的最佳泵浦比等问题。我们用两块 Ce:LiNbO₃ 单晶作为 PCM, He-Ne 激光为泵浦源组成 DPCR, 对所做理论工作进行了验证。实验与理论基本吻合。

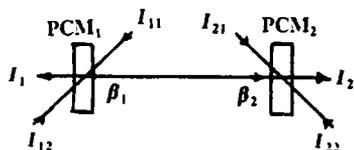


Fig. 1 Schematic diagram of optical resonator with two PCMs

二、理 论

DPCR 如图 1 所示, I_{11} 与 I_{12} , I_{21} 与 I_{22} 分别为 PCM1, PCM2 的前、后向泵浦光; β_1 和 β_2 分别代表入射到 PCM1 和 PCM2 表面上的腔内光强; I_1 和 I_2 分别为从 PCM1 和 PCM2 输出的光强; PCM1 和 PCM2 都工作在简并四波混频透射光栅状态。令 $I_{pi} = I_{i1} + I_{i2}$, $q_i = I_{i2}/I_{i1}$, ($i = 1, 2$); $I_p = I_{p1} + I_{p2}$, $q = I_{p2}/I_{p1}$, I_p 为总泵浦光。设 γ_1 与 γ_2 , d_1 与 d_2 以及 R_1 与 R_2 分别为 PCM1 和 PCM2 的简并四波混频耦合系数、通光厚度以及相位共轭反射率, L 为腔长。

1. 强泵浦相位共轭反射率

为建立 DPCR 的强度公式, 必须要找到包含入射光强在内的相位共轭反射率的表达式, 所以不能用小信号公式^[3]。但大信号公式太复杂^[4], 难以建立起 DPCR 较为简洁的强度公式。为此, 且与我们的实验条件相一致, 我们在

$$(I_{i1}, I_{i2})_{\min} \gg \beta_i (i = 1, 2) \quad (1)$$

的条件下进行讨论。为同一般文献的小信号条件相区别, 称此条件为强泵浦条件。将[4]中(19), (20)式在(1)式的条件下进行简化, 得

$$R_i = \frac{R_{mi} I_{pi}}{I_{pi} + B_i \beta_i} \quad (i = 1, 2) \quad (2)$$

式中,

$$\left. \begin{aligned} R_{mi} &= 4 |T_i|^2 q_i / |S_i|^2 \\ B_i &= R_{mi} (1 + q_i) \\ T_i &= \text{th}(g_i/2) \\ g_i &= \gamma_i d_i \\ S_i &= (q_i - 1) T_i + q_i + 1 \end{aligned} \right\} (i = 1, 2) \quad (3)$$

式中, R_{mi} 为小信号条件下 R_i 的表达式^[4]。(2)和(3)式便是强泵浦相位共轭反射率公式。

2. 温度特性

相位共轭反射率的温度特性取决于 PCM 的简并四波混频耦合系数 γ 的温度特性。在不考虑光伏效应、相变过程以及没有外加电场的条件下, γ 与温度 T 的函数关系可由一能级单载流子带导模型推出^[5]

$$\gamma_i = \delta_i \frac{E_{T_i} E_{Q_i}}{(E_{Q_i} + E_{T_i})(1 + \sigma_{d_i}/\sigma_{p_i})} \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

式中,下标 i 代表 PCM i ($i=1,2$) 中各量。 $\sigma_{d_i} = \sigma_{o_i} T_i^{3/2} \exp(-E_{t_i}/K_B T_i)$ 为暗电导, σ_{o_i} 为暗电导常数, T_i 为绝对温度, E_{t_i} 为杂质能级在带隙中的位置, K_B 为 Boltzman 常数; $\sigma_{p_i} = S_i I_i$ 为光电导, S_i 为光电离截面; I_i 为 PCM i 内的总光强。 $E_{T_i} = 4\pi K_B T_i \sin\theta_i / (\lambda e)$ 为扩散电场, $2\theta_i$ 为信号光与前向泵浦光在介质内的夹角, e 为基本电荷电量, λ 为光波长; $E_{Q_i} = e N_{A_i} \lambda / (4\pi \epsilon_0 \epsilon_{o_i} \sin\theta_i)$ 为最大空间电荷场, N_{A_i} 为陷阱密度, ϵ_{o_i} 与 ϵ_i 分别为真空与相对介电常数; $\delta_i = -\pi n_{e_i}^3 \gamma_{\text{eff}i} / \lambda$ 。 n_{e_i} 为晶体的非常光折射率, $\gamma_{\text{eff}i}$ 为有效电光系数。由(2)~(4)式即可给出相位共轭反射率 R_1 和 R_2 随温度变化的规律。

3. 强度公式

略去衍射损耗, 稳定振荡时应有

$$\beta_1 = R_2 \beta_2, \quad \beta_2 = R_1 \beta_1 \quad (5)$$

由此得稳定振荡时的自洽条件为

$$R_1 R_2 = 1 \quad (6)$$

I_i 和 β_i 的关系为^[3]

$$I_i = G_i \beta_i \quad (i = 1, 2) \quad (7)$$

$$G_i = \left| \frac{1 + q_i}{q_i + \exp(-g_i)} \right|^2 \exp(-\alpha_i d_i) \quad (i = 1, 2) \quad (8)$$

$\exp(-\alpha_i d_i)$ 的引入是为了反映 PCM 的吸收损耗, α_1 和 α_2 分别是 PCM1 和 PCM2 的损耗系数。在强泵浦条件下, 由(5)式即可给出 β_1 和 β_2 的表达式。再由(6)和(7)式, 得

$$I_1 = \xi G_1 / [qB_1 + B_2 R_{m1}] \quad (9)$$

$$I_2 = \xi G_2 / [B_2 + qB_1 R_{m2}] \quad (10)$$

式中,

$$\xi = (R_{m1} R_{m2} - 1) q I_p / (1 + q) \quad (11)$$

以上分析表明, 强泵浦条件区别于小信号条件的关键在于, 对后者来说, (2)式中分子里的 β_i 应忽略。如果这样, 上述有关公式将难以建立。由(2)~(11)式即可求出 DPCR 两端之输出光强随相位共轭镜温度变化的规律。图 2 给出了 I_1 和 I_2 随 T_1 变化的理论曲线。计算参数和下面的实验条件相一致: $T_2 = 20^\circ\text{C}$, $E_{t_1} = E_{t_2} = 1.4 \times 10^{-19}\text{J}$, $\sigma_{o_1} = \sigma_{o_2} = 100\text{s}^{-1}$, $n_{e_1} = n_{e_2} = 2.2$, $S_1 = S_2 = 10^{-5}\text{m}^2/\text{J}$, $\gamma_{\text{eff}1} = \gamma_{\text{eff}2} = 24 \times 10^{-12}\text{m/V}$, $N_{A_1} = N_{A_2} = 10^{23}\text{m}^{-3}$, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 29$, $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$, $q_1 = q_2 = 0.4$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 3.8\text{cm}^{-1}$, $q = 1$, $I_p = 5000\text{W}/\text{m}^2$, $d_1 = d_2 = 0.6\text{cm}$, $\lambda =$

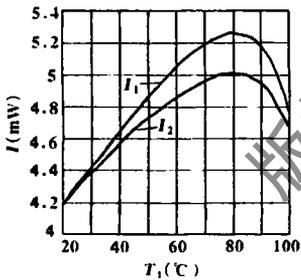


Fig. 2 Theoretical curves of the output light power of the resonator as a function of the temperature of PCM

632.8nm。

4. 最佳泵浦比

分析(9)~(11)式表明, I_1 和 I_2 相对于 q 存在一个极大值, 即 q 存在着最佳值。既使 I_1 和 I_2 达到最大值的 q 分别为 q_{m1} 和 q_{m2} , 则通过分别对 I_1, I_2 关于 q 求导, 在 $\sigma_{d_i}/\sigma_{p_i} \ll 1$ ($i =$

1, 2)的条件下, 不难得到

$$q_{m1} = [R_{m2}(1 + q_2)/(1 + q_1)]^{1/2} \tag{12}$$

$$q_{m2} = [(1 + q_2)/R_{m1}(1 + q_1)]^{1/2} \tag{13}$$

值得注意的是, q_{m1} 和 g_2 有关, q_{m2} 和 g_1 有关, 而 g_1 与 g_2 和温度有关。所以在不同的温度 q 将有不同的最佳值。由(12)和(13)式, $q_{m1} = q_{m2}$ 仅在 $R_{m1}R_{m2} = 1$ 时才能成立, 由(11)式可知此时 I_1 和 I_2 都为零。所以, 不可能得到使 I_1 与 I_2 同时达到最大的 q 值。图3给了在不同的PCM2温度下 I_1 随 q 变化的理论曲线。其中, $T_1 = 20^\circ\text{C}$, 曲线(a) $T_2 = 80^\circ\text{C}$, 曲线(b) $T_2 = 20^\circ\text{C}$, 其余参数与图2相同。

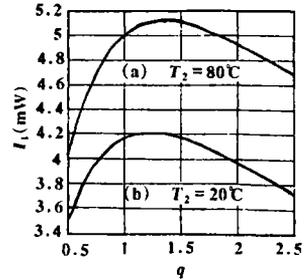


Fig. 3 Theoretical curves of the output light power of the resonator as a function of pump ratio of two PCM's under different temperature

三、实 验

实验设备和光路如图4所示, 其中M1~M6为全反镜, BS1~BS3为分束器, D1, D2为分辨率为 $1\mu\text{W}$ 的 He-Ne 功率计。通过更换不同透过率的 BS1 可以改变 q 的大小。S 为 He-Ne 激光器, 40mW, 632.8nm, 基横模工作。两块同炉生长的, 表面尺寸都为 $8\text{mm} \times 8\text{mm}$, 通光方向厚度为 6mm, 损耗系数为 3.8cm^{-1} 的 Ce:LiNbO₃ 单晶作为 PCM1 和 PCM2。将其分别固定在热炉 H1 和 H2 中, 用以改变晶体的温度。

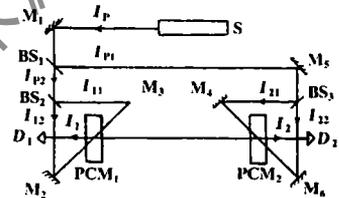


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental setup

在 $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ\text{C}$, $q_1 = q_2 = 0.4$, $I_p = 5000\text{W}/\text{m}^2$, $q = 1$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$ 的条件下, 测量了 I_1, I_2 随 T_1 的变化规律。所得结果如图5中曲线(a)和(b)所示。对比图3可知, 实验和理论吻合得较好。

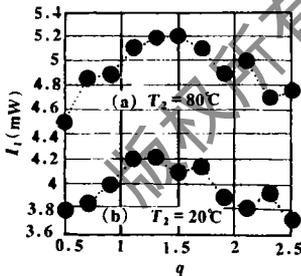


Fig. 5 Experimental curves of the output light power of the resonator as a function of the temperature of PCM

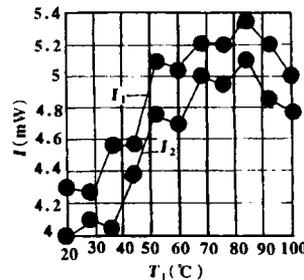


Fig. 6 Experimental curves of the output light power of the resonator as a function of pump ratio of two PCM's under different temperature

图6给出了在不同的PCM2温度下 I_1 随 q 变化规律的测量结果。其中, $T_1 = 20^\circ\text{C}$, (a) $T_2 = 80^\circ\text{C}$, (b) $T_2 = 20^\circ\text{C}$, 其余条件不变。对比图2可知, 实验和理论大体一致。由(12)式求得此时的 q_{m1} 为(a)1.33, (b)1.22, 与实验 1.5 和 1.3 比较接近。

四、结 论

1. 利用强泵浦相位共轭反射率公式,光腔的稳态振荡特性和带导模型可以建立起能反映光折变双相位共轭镜光学谐振腔温度特性的稳态强度公式,并能得到与实验值基本符合的理论结果。

2. 相位共轭镜的温度相对于输出光功率来说存在着一个最佳值,在此温度值下输出光功率最大。

3. 两个相位共轭镜的泵浦功率之比相对于输出光功率来说存在着一个最佳值,不同温度下这一最佳值不同。

4. 用 Ce:LiNbO₃ 单晶和 He-Ne 激光构成了光折变双相位共轭镜光学谐振腔。测得的实验值与理论基本吻合。

参 考 文 献

- 1 Cronin-Golomb M, Fischer B, White J O *et al.* Opt Lett, 1985;10(7):353
- 2 刘劲松. 中国激光, 1988;15(7):437
- 3 Cronin-Golomb M, Fischer B, White J O *et al.* IEEE J Q E 1984;QE-20(3):12
- 4 Cronin-Golomb M, White J O, Fischer B *et al.* Opt Lett, 1982;7(7):313



作者简介:刘劲松,男,1959年11月出生。副教授,工学博士。多年来一直从事激光技术与非线性光学的教学与科研工作。

收稿日期:1995-02-13

· 简 讯 ·

《激光技术》即将载入《ULRICH'S 国际期刊指南》

1996年11月在美国新泽西州出版的《ULRICH'S 国际期刊指南》,将刊载《激光技术》的简介条目。最近,本刊编辑部收到美国发来的《激光技术》简要介绍文字核查资料,系《ULRICH'S 国际期刊指南》将要刊载的内容。该《指南》是供全世界图书馆员、出版商、订阅者作为购买指南的出版物,它适用于在线运转、缩微和 CD-ROM,全球的电脑用户、缩微用户和 CD-ROM 用户均可快捷获得该《指南》所载的全部期刊的信息。

本刊通讯员 供稿

· 产品简讯 ·

后向反射激光传感器

美国明尼阿波利斯城的 Banner Engineering Corp. 公司提供的后向反射传感器,采用可见光二极管激光器,灵敏范围长达 225ft(英尺)。Omin-Beam Q45 光电子传感器设计用于传送设备或其它生产线上应用。偏振型传感器有 130ft(英尺)的范围,适用于眩光弥漫的环境。

於祖兰,曹三松 供稿