

光折变二波耦合增益振荡

宁继平 姚建铨

(天津大学精仪系, 天津 300072)

吴仲康

(南开大学物理系, 天津 300071)

Optical gain oscillation by photorefractive two-wave mixing

NING Jiping, YAO Jianquan

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

WU Zhongkang

(Physical Department, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract Two-wave coupling in photorefractive media leads to intensity-dependent phase shift as well as energy transfer between the two waves without phase interdisturbance with this mechanism, the theoretical and experimental study on the optical gain oscillation has been done by using an optical ring cavity containing photorefractive media. The experimental results agree with the theoretical analysis.

Key words photorefractive crystal, two-wave mixing, gain oscillation

1 引言

光折变二波耦合增益振荡在光学长度—频率转换器、实时波前反转^[1]、激光腔中的畸变修正^[2]、光计算及相关存储器^[3]等中有广泛的应用。就其振荡器的类型可分为自泵浦相位共轭振荡器和两波耦合的环形振荡器。采用的非线性介质除了半导体、原子系统、量子阱、液晶、有机和高分子材料等外,光折变材料是一种被广泛应用的非线性光学材料。

本文基于光折变二波耦合模型,利用光折变介质的光学环形腔从理论和实验上来研究光增益振荡。

2 光折变二波耦合增益振荡的原理

图1是一个典型的环形腔,其中 M_1, M_2 为全反镜, BS 为分束器兼输出镜,在腔内的光折变晶体被两光束 E_1 和 E_2 照射,其中 E_2 表示整个环形腔内的光振幅, E_1 为泵浦光振幅。

假设光束1和2都是平面波,晶体光折变效应为纯扩散机制的情况^[4],运用标准量方程和缓变场近似,由耦合波方程^[5]得到

$$\begin{aligned} I_1(z) &= \frac{I_0(0)\exp(-az)}{1 + [I_2(0)/I_1(0)]\exp(\Gamma z)} \\ I_2(z) &= \frac{I_0(0)\exp(-az)}{1 + [I_1(0)/I_2(0)]\exp(-\Gamma z)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \psi_1(z) &= \psi_1(0) - \Gamma z + \frac{\Gamma}{\alpha} \ln \left[\frac{I_0(0)}{I_2(0) + I_1(0)\exp(\Gamma z)} \right] \\ \psi_2(z) &= \psi_2(0) - \Gamma z + \frac{\Gamma}{\alpha} \ln \left[\frac{I_0(0)}{I_1(0) + I_2(0)\exp(\Gamma z)} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $I_0(0) = I_1(0) + I_2(0)$ 为两光束在 $z = 0$ 处的总光强, $I_1(0)$ 和 $I_2(0)$ 分别为光束 1 和 2 在 $z = 0$ 处光强. $I_1(z)$ 和 $I_2(z)$ 分别为晶体中 z 点处两光束的光强. $\psi_1(0), \psi_2(0)$ 和 $\psi_1(z), \psi_2(z)$ 分别为两光束在 $z = 0$ 和 z 点处的相位, α 为晶体对光的吸收系数.

$$\Gamma = 2\text{Re}(\gamma_m) \quad \Gamma' = \text{Im}(\gamma_m) \quad (3)$$

式中 γ_m 为两光束的耦合系数, Γ 表示 $\pi/2$ 相移的光栅分量所感应的光束 2 在单位长度上的增益. 方程(1) 表示当 $\Gamma > \alpha$ 时光束 2 从光束 1 中获得的光学增益. 而方程(2) 描述了两光束通过晶体时产生的依赖于光强的相移, 这种相移和能量传输建立在图 1 所示的光折变两波耦合增益振荡的基础上.

当光束 1 和光束 2 在晶体中形成相位光栅后, 使光束 2 的输入光 $I_2' = 0$, 这时在腔内振荡的光束 2 从光束 1 中得到能量形成稳定振荡. 光束 2 在环形腔内振荡的必要条件是

$$\Gamma l > (\Gamma l)_m = \alpha l - \ln R \quad (4)$$

其中, l 为晶体的长度, R 为环形腔的组合反射率. 根据式(4) 可以计算出阈值腔的反射率 R 与 Γ 的关系曲线如图 2 所示. 根据晶体的增益系数从图 2 中选择反射率 R . 当腔内振荡的光达到稳态时, 输出的光强为

$$I_t = (1 - R)I_2(l) = \left(\frac{1}{R} - 1 \right) I_1(0) \left[\frac{1 - \exp(-\Gamma l)}{1 - R\exp(-\alpha l)} - 1 \right] \quad (5)$$

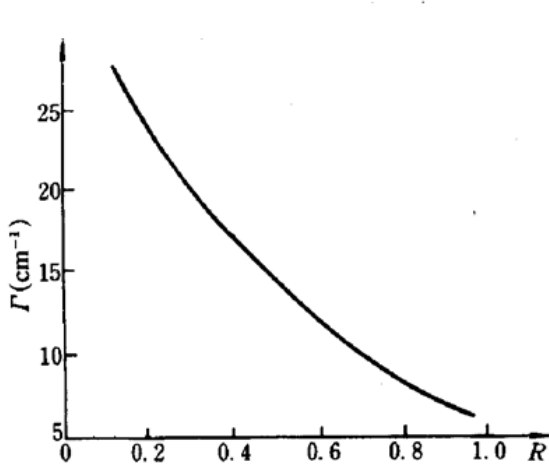


Fig. 2 The plot of the gain factor versus the cavity reflectivity in ring oscillator

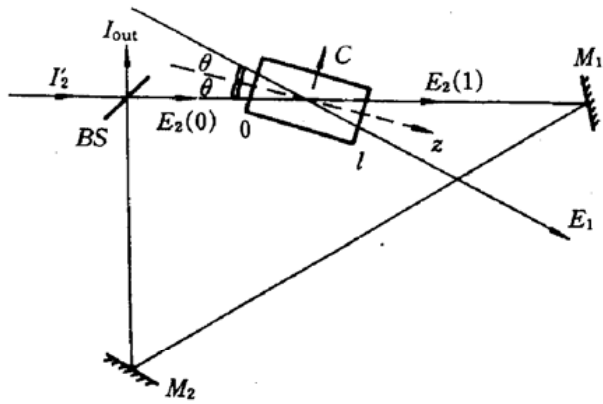


Fig. 1 A schematic diagram of photorefractivity pumped unidirectional ring oscillator

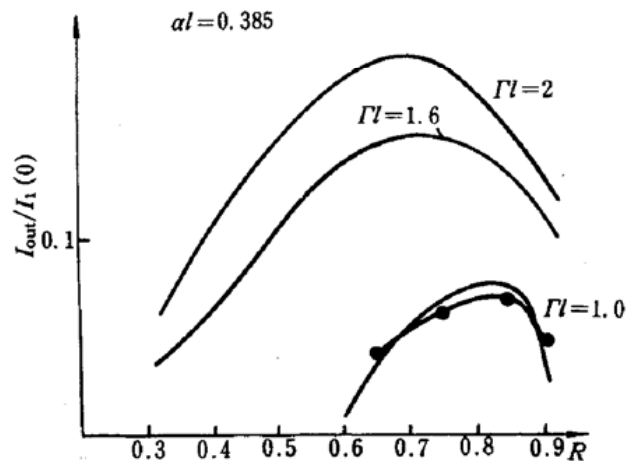


Fig. 3 The plot of the output light intensity versus the cavity reflectivity in ring oscillator. Solid line is theoretical, — experimental

由式(5)可以计算出振荡器输出的光强与反射率 R 的关系曲线如图 3 所示. 图 3 表示了泵浦光一定, 选取不同 Γl 值时输出的光强 I_t 与 R 的关系曲线. 对于每一个确定的 Γl , 输出光强存在一

最大值, Γl 越大, 该输出光强的最大值也越大, 且最佳的 R 值越小, 例如当 Γl 分别为 2, 1.6, 1.0 时, 其最佳的 R 值分别为 0.7, 0.75, 0.8。显然当晶体及泵浦光强一定时, 根据曲线选取最佳的 R , 使输出光强达到最大。

3 实验结果

实验装置如图 1 所示。光折变晶体为 LN: Fe 晶体, LN: Fe 晶体的光致折射率及光耦合效率比较高, 实验结果表明, LN: Fe 的衍射效率最高可达 52%, 它能长时间地记忆信息, 其缺点是响应速度慢。在实验中采用同一 He-Ne 激光器输出的激光, 由分束器分成光束 1 和光束 2, 进行光增益振荡的实验研究。当两光束同时通过晶体时, 在晶体中形成相位光栅, 等光栅处于稳态后, 撤去 I_2' , 环形腔经过短时间的瞬态不稳定输出后很快达到稳定。实验中选取的泵浦光为 $I_1(0) = 57.5 \text{ mW/cm}^2$, $R = 0.65, 0.75, 0.85, 0.9$, 输出光 I_i 分别为 3, 3.4, 4, 3.3 (mW/cm^2), 利用(5)式计算出 $\Gamma l = 1.03$, 上述实验结果与图 3 理论计算的曲线基本吻合, 这说明实验与理论分析一致。

实验中发现振荡器输出光强的大小与初始输入的光束 2 的光强 I_2' 的大小无关。实验中改变 I_2' 的值, I_2' 分别为 45, 23, 14.75, 6.25 (mW/cm^2), 但最终输出总是稳定在一固定值^[5]。

总之, 利用两波的耦合作用, 不但能进行光波的放大, 而且能产生稳定的光增益振荡。

参 考 文 献

- 1 J. Feinberg *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **51**, 1297(1980)
- 2 M. Cronin-Golomb *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 219(1982)
- 3 D. Z. Anderson, *Opt. Lett.*, **11**, 56(1986)
- 4 关义春 *et al.*, *光学学报*, **11**(2), 146(1991)
- 5 S. K. Kwong *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-22**, 1508(1986)

(收稿日期: 1992 年 5 月 25 日; 收到修改稿日期: 1992 年 8 月 26 日)