

温度对 Ce : Fe : LiNbO₃ 晶体双光束耦合效率的影响

刘劲松 安毓英

(西安电子科技大学技术物理系, 西安 710071)

李铭华 赵业权 徐玉恒

(哈尔滨工业大学化学系, 哈尔滨 150006)

提 要

实验研究了温度对 Ce : Fe : LiNbO₃ 晶体双光束耦合的响应时间以及对信号放大倍数的影响,并用带导模型和耦合波方程对其作了理论分析.半定量地解释实验结果.

关键词 双光束耦合, 温度特性, 氧化物光折变晶体, 掺杂铌酸锂.

1 引 言

提高晶体光折变效应的效率可以是多种途径,温控是其中行之有效的措施^[1~3].在双光束耦合中,人们往往追求大的信号放大倍数 η 和短的响应时间 τ .本文实验研究了 η 和 τ 随温度 T 的变化规律,以期找出以温控为手段来提高铌酸锂双光束耦合效率的方法.文中还作了相应的理论分析,数值分析所得结果半定量地解释实验现象.

2 实 验

实验装置与光路如图 1 所示.将晶体 P 置于加热炉 H 中,由 WMNK-420 型温控仪 C 探测和控制炉温,从室温到 300°C 连续可调,分辨率为 1°C,控制精度为 0.1°C. He-Ne 激光器 S 发出的功率为 8 mW, 波长为 632.8 nm 的基模高斯光束,经格兰棱镜 G 起偏后沿水平方向偏振,与晶体 C 轴平行, M 和 BS 为全反镜和分束镜, L 为聚焦透镜.设 I_{10} 和 I_{20} 分别为入射的泵浦光与信号光, I_1 和 I_2 分别为其从晶体出射后的光强.图 1 中, D_1 和 D_2 为 PIN 光电二极管,用以完成光电转换. R 为双路 X-Y 记录仪. Y_1 记录由 G 分出的光强 I_e ,用以监测 S 的起伏. Y_2 记录 I_2 .将 R 置于时间档,以

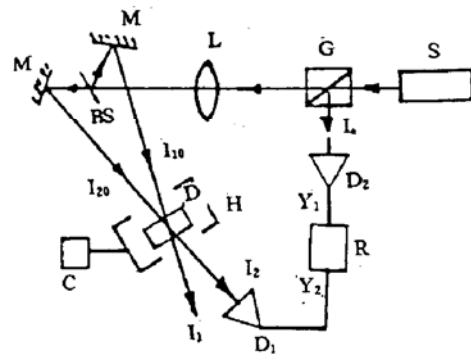


Fig. 1 A schematic diagram of experimental setup

0.1 cm/s 的走纸速度进行测量. 晶体 P 为 Ce : Fe : LiNbO₃, 它有着比其它掺杂的铈酸锂单晶高得多的光折变效率^[4], 其横向尺寸为 $8 \times 8 \text{ mm}^2$, 透光方向厚度 $d = 2.3 \text{ mm}$. I_{10} 和 I_{20} 的夹角为 40° , 泵浦信号比 $m = I_{10}/I_{20} = 4$. I_{10} 和 I_{20} 在 P 上重合的面积约为 10 mm^2 , 总功率为 6 mW . 故总光强为 $I = I_{10} + I_{20} = 600 \text{ W/m}^2$.

η 通常定义为 $\eta = I_2(I_{10} \neq 0)/I_2(I_{10} = 0)$, τ 为 I_2 随 t 变化的关系曲线中从过程开始到 I_2 达到最大值所需要的时间. 作为例子, 图 2 给出了 I_2-t 在 27°C 时的实验记录.

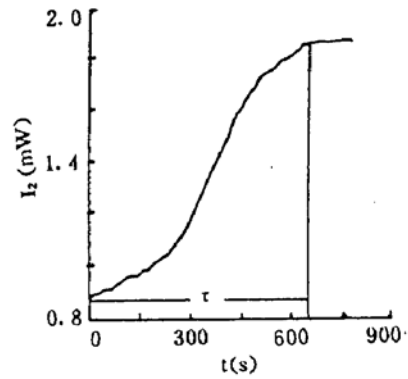


Fig. 2 Time evolution of transmissive signal light beam

通过监测 I_2 来监测激光器 S 在整个记录过程中起伏的情况. 在 S 的输出光功率基本起伏情况下, 在不同的温度点测量 I_2 随 t 的变化曲线, 从这些曲线中即可得到 η 和 τ 随 T 变化的实验曲线, 如图 3 所示. 实验结果表明, 通过改变晶体可以获得不同的 η 和 τ 值.

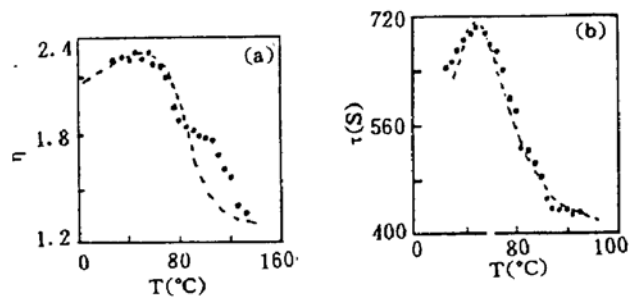


Fig. 3 Experimental curves

(a) $\eta - T$, (b) $\tau - T$

3 理 论

τ 和 η 的表达式为^[5~6]

$$\tau = \frac{2h\nu\lambda\epsilon_0\epsilon\Gamma}{\pi e \Lambda \alpha \eta^* n_e^3 \gamma_{eff} I} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{1 + m}{1 + m \exp(-\Gamma d)} \tag{2}$$

其中增益系数 Γ 与温度 T 的函数关系为^[1,6]

$$\Gamma = \frac{2\pi n_e^3 \gamma_{eff} E_T E_Q}{\lambda (E_T + E_Q) (1 + \sigma_a / \sigma_p)} \tag{3}$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{eff} &= \gamma_{33} \cos\theta \left(1 - \frac{n_0^2 \gamma_{13}}{n_e^3 \gamma_{33}} \tan^2\theta\right), & \sigma_p &= SI, \\ E_T &= 2\pi K_B T / (\Lambda e), & E_Q &= e N_A \Lambda / (2\pi \epsilon_0 \epsilon), \\ \sigma_a &= \sigma_0 T^{3/2} \exp(-E_t / K_B T), & \Lambda &= \lambda / (2 \sin\theta), \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

式中 σ_a 和 σ_p 分别为晶体的暗电导和光电导, σ_0 为暗电导常数, S 为光电离截面, E_t 为杂质能级在带隙中的位置, K_B 为玻尔兹曼 (Boltzman) 常数, T 为绝对温度; γ_{13} 、 γ_{33} 和 n_0 、 n_e 分别为晶体的

电光系数及寻常光、非常光的折射率; N_A 为陷阱密度, λ 为光波波长, $h\nu$ 为光子能量; ϵ_0 与 ϵ 分别为真空与相对介电常数, e 为电子电荷量, η^* 为量子效率, 2θ 为 I_{10} 和 I_{20} 在晶体内的夹角, α 为晶体吸收系数, m 为泵浦信号比.

根据材料的特性和实验条件, 有 $N_A = 10^{23} \text{ m}^{-3}$, $n_e = 2.2$, $n_o = 2.9$, $\gamma_{13} = 8 \times 10^{-12} \text{ m/V}$, $\gamma_{33} = 30.8 \times 10^{-12} \text{ m/V}$, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, $S = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{J}$, $\epsilon = 29$, $I = 600 \text{ W/m}^2$, $m = 4$, $d = 2.3 \text{ mm}$, $\alpha = 1.4 \text{ cm}^{-1}$, $\theta = 20^\circ$. E_t , σ_0 和 η^* 由实验值确定. 从(1)~(4)式中解出这三个量, 将实验值和上述各量代入, 得到 σ_0 和 E_t 的量级分别为 10^2 S^{-1} 和 10^{-19} J . η^* 的大小同温度有很大关系. 取 $\sigma_0 = 100 \text{ S}^{-1}$, $E_t = 1.34 \times 10^{-19} \text{ J}$, 得到 η^* 的大小随 T 的变化规律如图 4 所示.

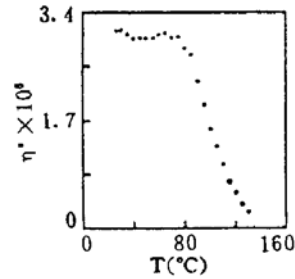


Fig. 4 Measured quantum efficiency η^* versus the crystal temperature

将 η^* 的值取为 $\eta^* = 3 \times 10^{-6}$, 由(1)~(3)式得到 $\eta-T$ 以及 $\tau-T$ 理论曲线如图 5 所示. 对比图 3 和图 5 可知, 理论半定量地反映实验结果.

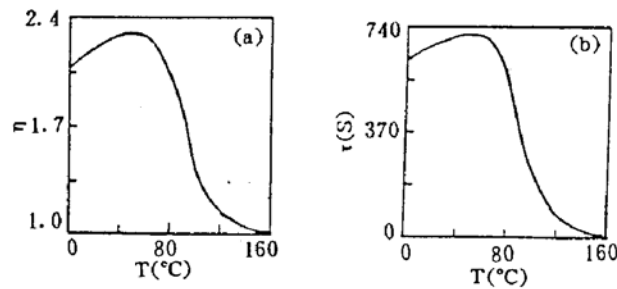


Fig. 5 Theoretical curves

(a) $n - T$, (b) $\tau - T$

4 结 论

通过改变晶温可有效地提高 $\text{Ce} : \text{Fe} : \text{LiNbO}_3$ 双光束耦合的效率. 该方法同样适用于 BaTiO_3 、 GaAs 等晶体^[1~3], 但由于 LiNbO_3 的单畴温度范围比 BaTiO_3 的大得多, 故这种方法对 LiNbO_3 来说更有实际意义.

存在着一个温度点, 此时 $\text{Ce} : \text{Fe} : \text{LiNbO}_3$ 的信号放大倍数最高, 同时响应时间也最长. 这是由于两者都随增益系数单调变化所致. 当以追求高的信号放大倍数为主时, 应在此温度点工作, 而以追求短的响应时间为主时, 可考虑在较高温度下工作.

用已有的理论可以很好地反映信号放大倍数的实验规律. 但对响应时间, 虽在总的趋势上理论与实验相一致而高温处则在数值上有较大差异. 作者认为, 造成这种差别的重要原因是波考虑量子效率随温度的剧烈变化, 这一点将另文详述.

参 考 文 献

- [1] Cheng Lijen, Afshin Partovi, Temperature and intensity dependence of photorefractive effect in GaAs. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(21):1456~1458
- [2] M. A. Powell, C. R. Petts, Temperature enhancement of the photorefractive sensitivity of BSO and BGO. *Opt. Lett.*, 1986, **11**(1):36~38
- [3] Paul H. Beckwith, William R. Christian, Two-wave mixing and phase conjugate at 830 nm in BaTiO₃. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(12):642~644
- [4] Liu Jinsong, Wu Zhongkang, Xu Yuheng, Doped lithium niobate He-Ne phase conjugate laser. *Chinese J. Infrared & Millimeter waves*, 1990, **9**(1):69~71
- [5] Pochi Yeh, Two-wave mixing in nonlinear media. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1989, **QE-25**(3):484~519
- [6] N. V. Kukhtarev, V. B. Markov, S. G. Odulov *et al.*, Holographic storage in electrooptic crystal. *Ferroelectrics*, 1979, **22**():949~960

**Temperature effect of on the two-beam coupling efficiency
in Ce : Fe : LiNbO₃ crystal**

LIU Jinsong AN Yuying

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xian 710071)

LI Minghau ZHAO Yequan XU Yuheng

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

(Received 29 June 1992; revised 16 November 1992)

Abstract

The effect of temperature on the response time and the coefficient of signal amplification of two-beam coupling in Ce : Fe : LiNbO₃ crystal was investigated experimentally and analyzed theoretically by using the band-transport model and beam coupling equations. The experimental phenomena can be explained semiquantitatively by using the theory.

Key words two-beam coupling, temperature characteristic, photorefractive oxide crystal, doped-LiNbO₃.