

掺杂铌酸锂晶体位相共轲的温度特性

黄 伟

吴仲康

(北京建筑工程学院物理教研室, 北京 100044) (南开大学物理系, 天津 300071)

摘 要 研究了温度对掺杂铌酸锂晶体位相共轲的影响. 实验表明, 温度是提高位相共轲波前反射率的一种有效途径. 并用全息光栅理论对此作了解释.

关键词 位相共轲, 掺杂铌酸锂晶体, 光折变, 全息光栅.

1 引 言

LiNbO_3 晶体是一种典型的全息存储介质. 特别是铁掺杂以后, 加以适当还原处理, 可以大大提高光折变性能. 近几年, 有关 $\text{Fe} : \text{LiNbO}_3$ 晶体相位共轲已有许多研究^[1~3]. 根据本文作者以往对光折变晶体的研究, 认为温度是提高光折变效应的有效途径^[4,5]. LiNbO_3 晶体的全息光栅形成机制一般为异常光生伏特效应和载流子扩散模型. 掺杂 LiNbO_3 晶体在室温下主要是异常光生伏特效应起作用. 而当温度较高和光栅间距小于等于 $1 \mu\text{m}$ 时, 扩散机制也起相当大的作用^[6]. 因此, 本文对 $\text{Fe} : \text{LiNbO}_3$ 和 $\text{Ce} : \text{LiNbO}_3$ 晶体位相共轲波的温度特性作了详细研究. 实验表明, 利用温度因素可以有效地提高相位共轲波前反射率. 并用全息光栅理论对此进行了解释.

2 实 验

实验装置如图 1 所示. Ar^+ 激光器发出的光束 ($\lambda = 488 \text{ nm}$) 经分束镜 BS_1 、 BS_2 分束, 反射镜 M_1 、 M_2 、 M_3 反射后, 形成两束泵浦光 E_1 、 E_2 和物光束 E_3 从晶体的两侧入射到晶体上. 晶体样品放置在升温炉 L 内, 由 JWT 型温控仪 D 控制. 温度从室温到 300°C 连续可调, 控温精度 $< 0.5^\circ\text{C}$. 光束 E_1 、 E_2 和 E_3 可以自由穿过炉腔而不受影响. 实验中, 把晶体 C 轴放置于四束相交光的平面内, 并使入射光的偏振方向也在此入射面内^[2]. 图 2 是室温下, 测出的相位共轲波时间弛豫曲线.

实验采用 $1^\#$ 、 $2^\# \text{Fe} : \text{LiNbO}_3$ 样品, 分别为 X 切片, Y 切片. 厚度为 0.5 mm , $\phi. 4 \text{ mm}$, 通光截面 $15 \times 20 \text{ mm}^2$ 、 $10 \times 32 \text{ mm}^2$. $3^\# \text{Ce} : \text{LiNbO}_3$ 样品, X 切片, 厚度 0.6 mm , 通光截面 $20 \times 25 \text{ mm}^2$. 以上样品均经过还原处理.

由于掺杂 LiNbO_3 晶体存在热释电效应及温度梯度. 因此, 温度的起伏将导致位相共轲波

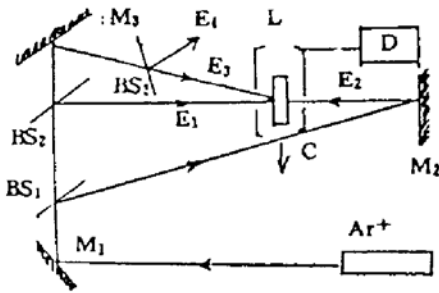


Fig. 1 Experimental setup

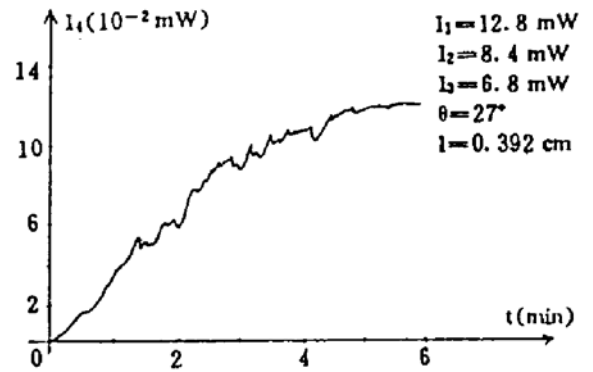


Fig. 2 The phase conjugation wave intensity vs time in 2nd sample

的变化. 为了避免这一点, 在测量某一个温度的位相共轭波强度时, 恒温一段较长的时间.

测量时, 保持其它条件不变. 只考虑温度对共轭波强度的影响. 利用 1st Fe : LiNbO₃ 样品和 3rd Ce : LiNbO₃ 样品分别得到了位相共轭波强度随温度的变化曲线如图 3 所示.

由图 3 可见在 405 K 时 Fe : LiNbO₃ 晶体位相共轭波强度比室温增加近 2.5 倍. 在 403 K 时 Ce : LiNbO₃ 晶体比室温提高 4 倍. 由此可见, 温度增强现象是明显的. 可以认为这是由光激发电子的扩散导致的.

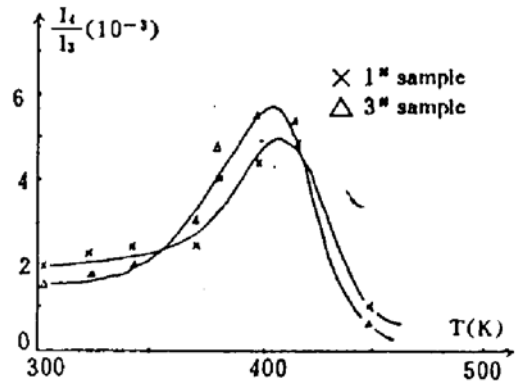


Fig. 3 The phase conjugation wavefront reflectivity vs temperature in 1st and 3rd sample, $I_1 = I_2 = 300$ mW, $I_3 = 240$ mW, $\theta = 6.5^\circ$

3 讨 论

由简并四波混频理论^[7], 掺杂铌酸锂中三束入射光波彼此形成了三个不同的全息光栅. 其中波矢 k_1 和 k_3 形成的光栅对 k_2 波衍射而产生光波 $k_s = k_1 \pm (k_2 - k_3)$, k_2 和 k_3 , k_1 和 k_2 光波形成的光栅分别对 k_1 和 k_3 衍射而形成光波 $k_s = k_1 \pm (k_2 - k_3)$ 和 $k_s = k_3 \pm (k_1 - k_2)$

图 4 给出了在 $k_1 = -k_2$ 的特殊情况下这三组体光栅的衍射情况. 由于晶体 C 轴的取向在入射面内且垂直于光束 E_1, E_3 . 由图 4 可知, 光束 E_1 和 E_2 形成体位相光栅的光栅矢量平行于晶体 C 轴. 光束 E_2 和 E_3 , E_1 和 E_2 形成体位相光栅的光栅矢量近似垂直于晶体的 C 轴, 所以三组体位相光栅的形成机制有所区别. 一般认为(a)为异常光生伏特型, 而(b)、(c)则为载流子扩散型, 据图 3, 温度在 405 K 附近, Fe : LiNbO₃ 位相共轭波的强度比室温时增大 2.5 倍. 温度在 403 K Ce : LiNbO₃ 晶体增大 4 倍. 说明温度增强现象是肯定的, 可以认为这是由于光激发电子的扩散导致的.

一般认为, 引起 Fe : LiNbO₃ 晶体光折变的原因同时有光生伏特效应和热扩散机制. 热扩散机制是指光激发电子由于浓度梯度而进行热扩散从而导致光电子迁移, 形成空间电荷场. 扩散过程中, 若 n 表示自由电子密度. 据扩散速度方程:

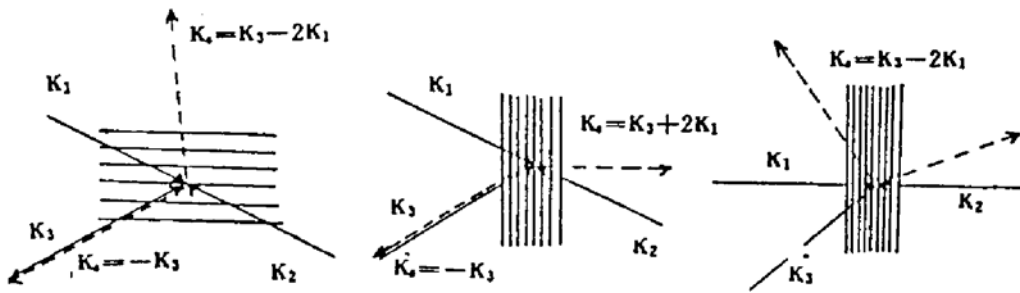


Fig. 4 Three holographic gratings in clegenerate four-wave mixing

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G - \frac{n}{\tau} + \nabla \cdot \mathbf{J}/e, \tag{1}$$

其中 G 是自由载流子光照产生速度, τ 是载流子捕获之前的平均自由寿命. \mathbf{J} 是电流密度, e 是电子电量.

由电磁方程:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \tag{2}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = -\frac{\rho}{\epsilon} \tag{3}$$

ρ 为电荷密度, ϵ 为介电常数.

当两束光照射到晶体上时, 自由载流子密度为:

$$n = n_0 (1 + m \cos Kz) \tag{4}$$

式中 $m = 2 \sqrt{I_1 I_2} / (I_1 + I_2)$ 调制度. $K = 2\pi/\Lambda_g$, $\Lambda_g = \lambda/2 \sin(\theta/2)$, 为干涉条纹的空间间距.

利用

$$\mathbf{J} = e \mu n \mathbf{E} + eD \nabla n \tag{5}$$

μ , D 分别为自由载流子的迁移率和扩散常数.

联立(1)~(5)式即可求解方程得到扩散模型的空间电场 E

$$E = [m/f(z)] E_m \{1 - \exp[f(z)t/t_0]\} \cos(Kz - \varphi) \tag{6}$$

其中 $f(z) = 1 + m \cos Kz$, t_0 是介电弛豫时间, 由下式给出:

$$t_0 = \epsilon/e \mu n_0 \tag{7}$$

E_m 为扩散有效电场^[6]:

$$E_m = K \frac{kT}{e} = \frac{2\pi kT}{e \Lambda_g} \tag{8}$$

k 为玻耳兹曼常数, T 为开氏温度

在光路中, 图 4(b), (c)的光栅空间间距为

$$\Lambda_g = \frac{\lambda}{2 \sin \theta/2} \doteq 488 \text{ nm} / 2 \sin(\pi/2) \doteq 0.244 \mu\text{m} \tag{9}$$

据此, 可以认为: 室温下引起光折变的机制主要是由于光生伏特效应, 这样只有体位相光栅(a)在起作用. 而由(6)、(8)、(9)式可知随着温度的升高, 扩散场逐渐增大, 当升温到 400 K

以上时由于光激发电子的热扩散而形成的光栅(b)、(c)在四波混频中起了明显的作用. 从而导致了记录光栅衍射效率的增大. 即共轭波强度增强. 对比两种掺杂晶体的温度特性曲线, 发现 Ce : LiNbO₃ 晶体比 Fe : LiNbO₃ 晶体受温度影响更强. 这是由于它比掺铁晶体具有大得多的光折变效率所致^[8]. 然而温度升高到 450 K 时, 由于存在明显的退光折变现象, 所以引起位相共轭波强度的明显降低.

总之, 利用温度对掺杂铌酸铯晶体位相共轭的影响, 可以有效地提高位相共轭波波前反射率. 同时利用四波混频全息理论, 进一步解释了这种现象.

实验所用晶体均由哈尔滨工业大学徐玉恒先生提供, 对此深表谢意.

参 考 文 献

- [1] V. Kondilenko, S. Odoulov, M. Soskin, Degenerate forward four-wave mixing in LiNbO₃ : Fe. *Ferroelectrics Lett.* 1983, **46**(1) : 19~26
- [2] 张洪钧, 戴建华, 王鹏业等, Fe : LiNbO₃ 晶体简并四波混频在光学图象处理中的应用. *物理学报*, 1984, **33**(11) : 1593~1598
- [3] 康辉, 杨昌喜, 母国光等, 利用掺杂铌酸锂作位相共轭镜的全光学联想记忆系统. *中国激光*, 1993, **18**(3) : 225~227
- [4] M. A. Powell, C. R. Petts, Temperature enhancement of the photo-refractive sensitivity BSO and BGO. *Opt. Lett.* , 1986, **11**(1) : 36~38
- [5] P. H. Beckwith, W. R. Christian, Two-wave mixing and phase conjugate at 830 nm in BaTiO₃. *Opt. Lett.* , 1989, **14**(12) : 642~644
- [6] H. M. 史密斯, 全息记录材料. 马春荣、郑桂泉、王诚华译, 北京, 科学出版社, 1984, 132
- [7] Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics*, New York, 1984 : 242
- [8] 刘劲松, 吴仲康, 徐玉恒, 掺杂铌酸锂氮氛位相共轭激光器. *红外研究*, 1990, **9**(1) : 63~66

Temperature Effect of Phase Conjugation Wave in Doped Lithium Niobate

Huang Wei

(Physics Teaching Group, Beijing Architectural and Civil Engineering Institute Beijing 100044)

Wu Zhongkang

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 12 December 1993; revised 20 February 1994)

Abstract The temperature effect of phase conjugation wave was investigated experimentally in doped lithium niobate. It is found that the conjugation wave has significant temperature enhancing phenomenon and which is explained by using the mechanism of Amodei' s electron diffusion.

Key words Phase conjugation, doped lithium niobate, photorefraction, holographic grating.