

# Fe:KNbO<sub>3</sub> 光折变晶体温度效应研究

王威礼 王德煌 郑英俊

(北京大学物理系, 北京 100871)

**摘 要** 介绍 Fe:KNbO<sub>3</sub> 光折变晶体温度效应(290~380 K)的实验研究, 分别给出了在不同实验配置下的两波耦合和特殊切割晶体的自泵相位共轭的测量结果.

**关键词** KNbO<sub>3</sub>, 光折变, 温度效应.

光折变晶体材料中的两波耦合和自泵相位共轭作为应用基础研究已成为颇有吸引力的课题<sup>[1,2]</sup>, 通过 Fe:KNbO<sub>3</sub> 光折变温度效应的实验测量, 其结果将有利于深入理解其微观物理过程. KNbO<sub>3</sub> 是一种具有较高品质因子的非线性光折变晶体, 在室温附近它是一种氧八面铁电体, 属于斜方晶系, 具有 2 mm 点群对称性, 其不为零的电光张量元分别为(单位是 pm/V)<sup>[3]</sup>

$$\gamma_{13} = 28 \quad \gamma_{23} = 1.3 \quad \gamma_{33} = 64 \quad \gamma_{42} = 380 \quad \gamma_{51} = 105$$

由于各向异性, 不同的实验配置将会呈现出各不相同的光折变现象, 实验测量是利用 Ar<sup>+</sup> 激光器输出的 514.5 nm 基模激光束, 经空间滤波与准直光学系统后得到  $\phi = 1.2$  mm 的光束, 在两波耦合温度效应实验中光强为 880 mW/cm<sup>2</sup>, 经分束片和衰减片可得两束相干光, 其光强比为  $1.2 \times 10^{-4}$ . Fe:KNbO<sub>3</sub> 样品掺杂浓度为  $1.8 \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>, 样品尺寸为  $a \times b \times c = 5.4 \times 4.7 \times 4.8$  mm<sup>3</sup>. 样品连同控温加热装置放在可旋转的平台上, 控温精度为 0.2 °C, 由转盘刻度可读出光折变晶体光轴 C 和折射率光栅矢量  $k_g$  间的夹角  $\beta$  值, 两波耦合的重要参数是二波耦合增益系数  $\Gamma$ , 可表示为<sup>[4]</sup>

$$\Gamma = \frac{2\pi k_B T}{\lambda n e} \frac{\gamma_{eff}}{\cos \theta} \frac{1}{1 + \sigma_d/\sigma_p} \cdot \frac{k_g}{1 + (k_g/k_0)^2} \cdot (e_1 \cdot e_2) \quad (1)$$

式中  $e$  为电子电量,  $k_B$  为波耳兹曼常数,  $T$  为绝对温度,  $e_1$  和  $e_2$  分别为两束相干光偏振方向的单位矢量,  $k_0 = (Ne^2/\epsilon_0 k_B T)^{1/2}$ , 其中  $N$  为掺杂浓度,  $\epsilon_0$  为真空介电常数,  $\epsilon = k_g \cdot \epsilon_{DC} k_g$ , 式中  $\epsilon_{DC}$  为晶体材料的直流介电常数,  $k_g = 2\pi/\Lambda_g$  为光栅矢量,  $\Lambda_g = \lambda/2n \sin \theta$  为光栅的周期长度,  $\lambda$  为自由空间中光束的波长,  $n$  为平均折射率,  $2\theta$  为两光束之间的夹角.  $\sigma_d$  和  $\sigma_p$  分别为晶体材料的暗电导和光电导, 与热激发或光激发深能级的载流子有关, 即分别与  $T^{3/2} \exp(-E_i/k_B T)$  和  $SI$  成比例, 其中  $E_i$  为深能级的能量值,  $S$  为光激发载流子截面,  $I$  为光强<sup>[5]</sup>.  $\gamma_{eff}$  为有效的电光系数. 在不同的入射光偏振和实验配置条件下, 它具有不同的表达式:

(1) 当两束水平偏振光从晶体的  $c$  面入射, 入射面与  $b$  面平行时, 有效电光系数为<sup>[6]</sup>

收稿日期:1992年12月30日; 收到修改稿日期:1993年3月8日

\* 国家自然科学基金资助课题.

$$\gamma_{eff} = \frac{\cos \beta}{2} [n_1^4 \gamma_{13} (\cos 2\theta - \cos 2\beta) + 4n_2^2 n_3^2 \gamma_{51} \sin^2 \beta + n_3^4 \gamma_{23} (\cos 2\theta + \cos 2\beta)] \quad (2)$$

图 1 给出实验条件为  $2\theta = 10.8^\circ$  和  $\beta = 78.5^\circ$  时两波耦合增益系数随温度变化的测量结果. 在这条件下, (2) 式等号右侧第一项和第三项可以忽略, 近似表达为

$$\gamma_{eff} = 2n_2^2 n_3^2 \gamma_{51} \cos \beta \sin^2 \beta \quad (3)$$

因此, 测量得到的两波耦合增益系数, 主要是有电光系数  $\gamma_{51}$  起作用.

(2) 当两束水平偏振光从晶体的  $c$  面入射, 入射面与  $a$  面平行时, 有效电光系数为<sup>[7]</sup>

$$\gamma_{eff} = (\cos \beta/2) [n_2^4 \gamma_{23} (\cos 2\theta - \cos 2\beta) + 4n_2^2 n_3^2 \gamma_{42} \sin^2 \beta + n_3^4 \gamma_{33} (\cos 2\theta + \cos 2\beta)] \quad (4)$$

图 2 给出实验条件为  $2\theta = 12.0^\circ$  和  $\beta = 75.2^\circ$  时两波耦合增益系数随温度变化的测量结果.

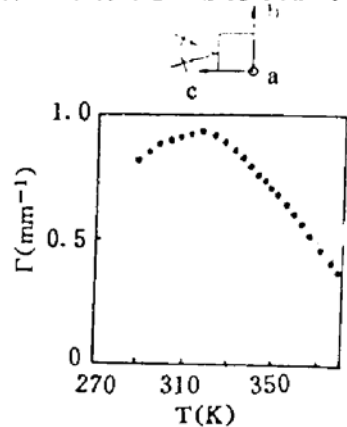
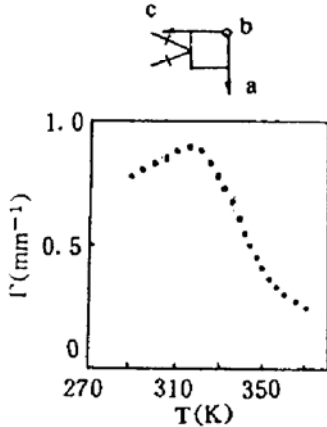


Fig. 1 Measured two-wave coupling gain coefficients as a function of temperature (dominated by electro-optical coefficient  $\gamma_{51}$ )

Fig. 2 Measured two-wave coupling gain coefficients as a function of temperature (dominated by electro-optical coefficient  $\gamma_{42}$ )

同理, 可忽略(4)式等号右侧第一项和第三项后, 近似表示为

$$\gamma_{eff} = 2n_2^2 n_3^2 \gamma_{42} \cos \beta \sin^2 \beta \quad (5)$$

此时测得的两波耦合增益系数可认为是电光系数  $\gamma_{42}$  起主要作用. 从实验结果可以看出, 在室温附近两波耦合增益系数随温度变化呈正比关系, 进一步增加温度, 热激发暗电导增强, 两波耦合增益系数随温度变化呈单调下降趋势, 最终光折变效应和两波耦合放大现象消失.

(3) 当两束垂直偏振光从晶体的  $a$  面入射, 且入射面与  $b$  面平行时,  $\gamma_{eff}$  的表达式为

$$\gamma_{eff} = n_1^4 \gamma_{13} \cos \beta \quad (6)$$

(4) 当两束垂直偏振光从晶体的  $b$  面入射, 且入射面与  $a$  面平行时,  $\gamma_{eff}$  的表达式为:

$$\gamma_{eff} = n_2^4 \gamma_{23} \cos \beta \quad (7)$$

图 4 分别给出电光系数  $\gamma_{13}$  (实验条件  $2\theta = 14.9^\circ$  和  $\beta = 0^\circ$ ) 和  $\gamma_{23}$  (实验条件  $2\theta = 15.1^\circ$  和  $\beta = 0^\circ$ ) 为主要贡献时, 两波耦合增益系数随温度变化的测量结果. 由于电光系数的数值较小, 使两波耦合增益系数的绝对值较小, 尤其对电光系数  $\gamma_{23}$  为主时, 并未观察到随温度变化的峰值. 实验还对 Fe:KNbO<sub>3</sub> 的自泵相位共轭反射率随温度变化进行了测量, 为了充分利用最大电光系数  $\gamma_{42}$ , 晶体的切割如图 4 所示, 棱角  $P$  为  $84^\circ$ , 入射光在晶体中经内表面的全反射形成光学回路, 其夹角  $2\theta = 12^\circ$ , 光栅矢量  $k_g$  与晶体光轴  $c$  的夹角  $\beta = 45^\circ$ , 实验样品掺杂浓度  $N = 1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , 入射光强  $I = 1.3 \text{ W/cm}^2$ . 图 4 给出了自泵相位共轭反射率随温度变化的测量结果.

本文给出了 Fe:KNbO<sub>3</sub> 两波耦合和自泵相位共轭随温度变化的实验结果, 室温附近在部

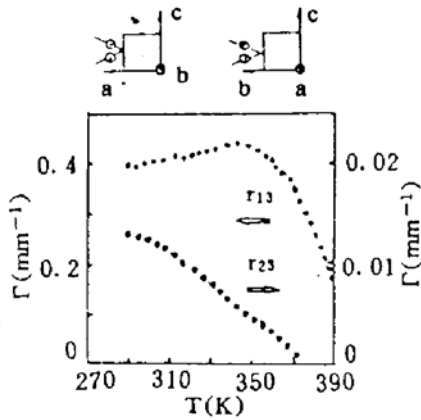


Fig. 3 Measured two-wave coupling gain coefficients as a function of temperature (dominated by electro-optical coefficient  $\gamma_{13}$  and  $\gamma_{23}$ )

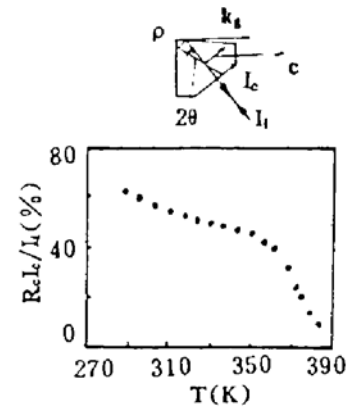


Fig. 4 Measured self-pumped phase conjugation reflectivity as a function of temperature

分实验配置条件下观察到光激发载流子扩散运动导致光折变随温度变化的增强效果<sup>[8]</sup>, 在较高温度时, 由于热激发载流子的暗电导均致使增益系数或反射率的明显下降。

北京人工晶体研究所提供了 Fe:KNbO<sub>3</sub> 光折变晶体样品, 作者在此表示深切的谢意。

### 参 考 文 献

- [1] A. Kruminis, P. Gunter, Diffraction efficiency and energy transfer during hologram formation in reduced KNbO<sub>3</sub>. *Appl. Phys.*, 1979, **19**(2): 153~163
- [2] M. Cronin-Golomb, C. D. Brandle, Ring self-pumped phase conjugation using total internal reflection in photorefractive strontium barium niobate. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(9): 462~464
- [3] P. Gunter, Holography, Coherent light amplification and optical phase conjugation with photorefractive materials. *Phys. Rep.*, 1982, **93**(4): 201~299
- [4] J. Feinberg, D. Heiman, A. R. Tanuay, Photorefractive effect and light-induced charge migration in barium titanate. *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**(3): 1297~1305
- [5] L. Cheng, A. Partovi, Temperature and intensity dependence of photorefractive effect in GaAs. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(21): 1456~1458
- [6] Y. Fainman, E. Klancnik, S. H. Lee, Optimal coherent image amplification by two-wave coupling in photorefractive BaTiO<sub>3</sub>. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(2): 228~234
- [7] 王威礼, 郑英俊, KNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体的最佳二波耦合. *发光学报*, 1991, **12**(1): 12~18
- [8] N. V. Kulhtarev, V. B. Markov, S. G. Odulov *et al.*, Holographic storage in electro-optic crystal I, Beam coupling and light amplification. *Ferroelectrics*, 1979, **22**(3/4): 949~960

## Temperature Dependence of Photorefractive Effects in Fe:KNbO<sub>3</sub>

Wang Weili      Wang Dehung      Zheng Yingjun

(Department of Physics, Peking University, Beijing 100871)

(Received 30 December 1992; revised 8 March 1993)

**Abstract** This paper presents the experimental investigation of temperature dependences (290~380 K) of photorefractive effects in Fe:KNbO<sub>3</sub>. Results of two-wave coupling under different experimental configuration and self-pumped phase conjugation in special cut crystal are demonstrated.

**Key words** KNbO<sub>3</sub>, photorefractive, temperature effect.