

文章编号: 0253-2239(2004)03-309-4

# 光扇效应对 Ce:KNSBN 记录偏振组态的影响\*

张金平 郭庆林 魏艳红 怀素芳 傅广生  
(河北大学物理科学与技术学院, 保定 071002)

**摘要:** 在非同时读出条件下,采用  $\text{Ar}^+$  514.5 nm 单色激光为光源。以信号光为非寻常偏振光(e 光),通过改变抽运光的偏振态,研究不同写入光偏振组态下 Ce:KNSBN 晶体的两波耦合特性。结果表明:由于光扇效应的影响,信号光和抽运光同为 e 光时并非如预测的那样为最佳记录偏振组态。在信号光和抽运光与晶体表面法线呈  $\theta=11^\circ$  角对称入射下,当抽运光的偏振方向与 e 光偏振方向呈  $30^\circ$  角时,光扇噪声得到明显抑制,两波耦合增益最大。其原因是抽运光的 o 光分量对光扇散射光起到了非相干擦除,使两波有效耦合得到提高。

**关键词:** 信息光学; 光折变晶体; 光扇效应; 两波耦合; 偏振组态

中图分类号: O438 文献标识码: A

## Fanning Effect on Writing Beam Polarization Configuration in Ce:KNSBN Crystal

Zhang Jinping Guo Qinglin Wei Yanhong Huai Sufang Fu Guangsheng  
(College of Physical Science & Technology, Hebei University, Baoding 071002)

(Received 8 October 2002; revised 27 January 2003)

**Abstract:** The  $\text{Ar}^+$  514.5 nm laser beam is used at non-simultaneous writing-reading process. As the signal beam is with extraordinary polarization and the polarized direction of the pump beam has an angle  $\Psi$  with its extraordinarily polarized direction, the two-wave coupling property of a Ce:KNSBN photorefractive crystal is experimentally studied. Because of the effect of the fanning, the polarization configuration that both the signal beam and pump beam are with extraordinary polarization is not as optimized as it is expected. As the angle  $\theta$  between the signal beam and the normal of the crystal face takes  $11^\circ$ , the gain of the signal beam reaches its maximum and the fanning noise is depressed greatly. while  $\Psi = 30^\circ$ , those can be explained that the ordinary component of the pump beam as an incoherent beam erases the fanning and the gain of two-wave mixing is enhanced.

**Key words:** information optics; photorefractive crystal; fanning effect; two-wave coupling; polarization configuration

## 1 引 言

光折变晶体在光全息存储、光学信息处理和光计算等领域具有广阔的应用前景,近年来吸引了许多研究者的注意<sup>[1]</sup>。钾钠铌酸锶钡(KNSBN)晶体是我国率先开发成功的一种新型光折变材料,具有容易生

长、容易极化、响应灵敏度高、存储动态范围大、光折变效应显著等许多优点,而且其物理性能可以通过组份和掺杂元素及其改变浓度加以有效控制,被认为是最具应用前景的光折变存储材料之一<sup>[2]</sup>,因此钾钠铌酸锶钡晶体在光全息记录、光学自抽运相位共轭、光学信息处理等各个领域得到了广泛的研究<sup>[3~9]</sup>。两波耦合是确定光折变晶体基本特性和品质的一种重要方法,也是研究光折变晶体其它特性和应用的基本出发点,目前已有许多关于掺杂钾钠铌酸锶钡晶体两波耦合特性的研究报道<sup>[10~12]</sup>。在这些报道中,晶体

\* 河北省自然科学基金(101059)、河北省教育厅博士基金(200B103)资助课题。

E-mail: qinglinguo@sina.com

收稿日期:2002-10-08; 收到修改稿日期:2003-01-27

光栅的两束记录光都是同偏振方向的,同为 o 偏振光,或同为 e 偏振光。此外, Tomita 等<sup>[13]</sup>还研究了掺铈钾铌酸锶钽(Ce:KNSBN)晶体中正交偏振记录光的两波耦合特性。本文以信号光为非寻常光(e 光),改变抽运光的偏振态,研究了不同写入光偏振状态下 Ce:KNSBN 晶体的两波耦合特性,结果表明由于光扇效应的影响,信号光和抽运光同为 e 光时并不象理论预测的那样为最佳偏振组态,当抽运光的偏振方向与 e 光偏振方向呈 30°角时,光扇噪声得到明显抑制,两波耦合效果最好。

## 2 实验和讨论

实验装置如图 1(a)所示,由 Ar<sup>+</sup>激光器输出的 514.5 nm 单色激光经偏振分束器分为两束作为信号光  $I_S$  和抽运光  $I_P$ ,  $I_S$  和  $I_P$  与晶体表面法线呈  $\theta=11^\circ$  角对称入射,其强度和偏振态由半波片 HWP<sub>1</sub>、HWP<sub>2</sub> 和偏振片 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 调节,信号光光强  $I_S=40 \mu\text{W}$ ,抽运光光强  $I_P=2 \text{ mW}$ ,实验中保持  $I_S$  为 e 偏振光,使  $I_P$  的偏振方向与 e 光偏振方向呈一角度  $\Psi$ ,如图 1(b)所示。在晶体另一侧以光电探测器 D 接收信号光  $I_S$  的透射光  $I'_S$ ,通过测量加载抽

运光前后信号光透射强度的变化,可以得出有效增益  $G$ 。实验中所用晶体为山东大学晶体所生产  $0^\circ$  切割  $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  的 Ce:KNSBN(0.05% 的铈质量掺杂)光折变晶体。

两波耦合有效增益  $G$  定义为加载和不加载抽运光时信号光透射强度之比,即  $G=I'_S(I_P \neq 0)/I'_S(I_P=0)$ 。图 2 是对两波耦合有效增益  $G$  随  $\Psi$  变化规律的测量结果,可以看到在  $\Psi=0^\circ$ (即写入光  $I_S$  和  $I_P$  同为 e 偏振光)时,两波耦合有效增益  $G=15.7$ ;在  $0^\circ < \Psi < 30^\circ$  时,  $G$  随  $\Psi$  的增大而增大;在  $\Psi=30^\circ$  时,  $G$  取得最大值  $G=23.5$ ,比  $\Psi=0^\circ$  时约大 1.5 倍;在  $\Psi > 30^\circ$  时,  $G$  随  $\Psi$  的增大而减小。因此,写入光  $I_S$  和  $I_P$  同为 e 偏振光时两波耦合有效增益不是最大,说明对于两波耦合光信号放大而言写入光同为 e 偏振光并不是最佳偏振组态。还可以看到在  $\Psi=90^\circ$  时,即  $I_S$  为 e 偏振光而  $I_P$  为 o 偏振光时,两波耦合有效增益  $G=1$ ,说明加载抽运光对信号光的透射光强无影响。因为这种组态下,  $I_S$  和  $I_P$  偏振方向正交,从而互不相干,  $I_S$  和  $I_P$  之间没有耦合,不能在晶体中形成光栅,当然也就没有信号光的放大<sup>[11]</sup>。

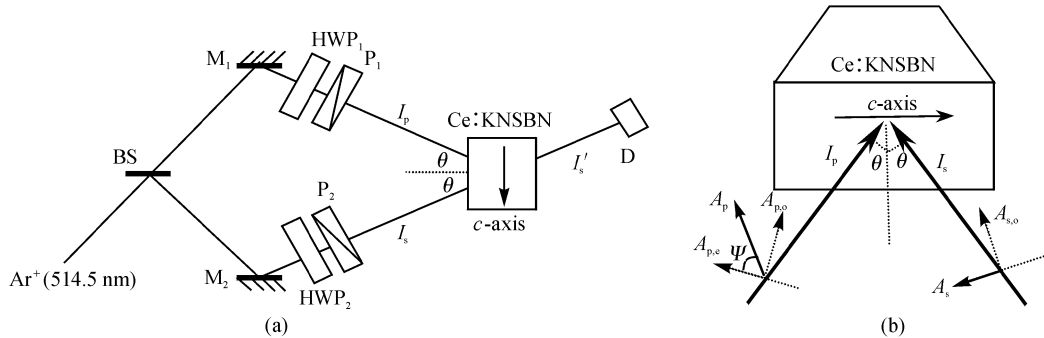


Fig. 1 Experimental setup

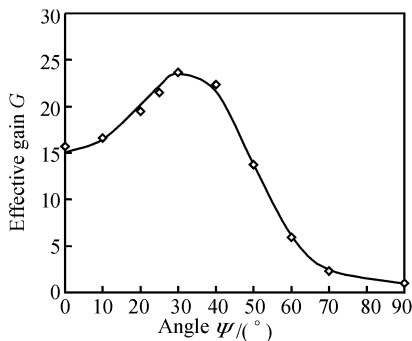


Fig. 2 The effective gain  $G$  as a function of the angle  $\Psi$

光折变晶体中的两波耦合通常由耦合波方程来描述:

$$\begin{cases} \frac{dI_S}{dz} = \Gamma \frac{I_S I_P}{I_0} - \alpha I_S, \\ \frac{dI_P}{dz} = -\Gamma \frac{I_S I_P}{I_0} - \alpha I_P, \end{cases} \quad (1)$$

其中  $z$  为晶体内的坐标,  $\alpha$  为吸收系数,  $\Gamma$  为两波耦合增益系数<sup>①</sup>其表达式为

$$\Gamma = \frac{2\pi R r_{\text{eff}}}{\lambda n} \tilde{E}, \quad (2)$$

式中  $\lambda$  是光波在真空中的波长,  $n$  是折射率,  $R$  是电

① 在实验中通常采用上面定义的两波耦合有效增益  $G$ , 耦合波方程中用增益系数  $\Gamma$ , 在稳态下,  $G = \frac{1+\beta}{\beta + \exp(-\Gamma d)}$ ,  $\beta = \frac{I_S}{I_P}$ ,  $d$  是晶体厚度。

子-空穴对抗因子,  $\tilde{\epsilon}$  是饱和空间电荷场的虚部,  $r_{\text{eff}}$  是有效电光系数。假定(2)式中其它的量不变, 可以近似得到  $\Gamma$  正比于  $r_{\text{eff}}$ 。对于钾钠铌酸锶钡晶体, 其有效电光系数  $r_{\text{eff}}$  为<sup>[1]</sup>

$$r_{\text{eff}} = e_P \cdot [\mathbf{g} \cdot (\mathbf{r} \cdot \mathbf{k}) \cdot \boldsymbol{\epsilon}] \cdot \mathbf{e}_S / n_o^3 n_\lambda, \quad (3)$$

其中  $\mathbf{e}_S$  和  $\mathbf{e}_P$  分别为信号光和抽运光的单位偏振矢量,  $\mathbf{g}$  为二阶光学介电张量,  $\mathbf{r}$  为三阶电光张量,  $\mathbf{k}$  为单位光栅波矢。  $n_\lambda$  取决于入射光偏振态, 是 o 光的折射率  $n_o$  或 e 光的折射率  $n_e$ 。在图 1(b) 所示入射条件下, 有效电光系数为

$$r_{\text{eff}} = \frac{1}{n_o^3 n_\lambda} [n_e^4 \gamma_{33} \cos^2 \theta - n_o^4 \gamma_{13} \sin^2 \theta] \cos \Psi, \quad (4)$$

其中  $\theta$  是信号光和抽运光入射方向与晶体入射表面法线方向的夹角,  $\Psi$  是抽运光的偏振方向与入射平面夹角, 如图 1(b) 所示。根据实验参量 ( $n_o = 2.35$ ,  $n_e = 2.27$ ,  $\gamma_{13} = 30 \text{ pm/V}$ ,  $\gamma_{33} = 200 \text{ pm/V}$ ,  $\theta = 11^\circ$ ) 计算  $r_{\text{eff}}$  随  $\Psi$  的变化规律, 其计算结果如图 3 所示。

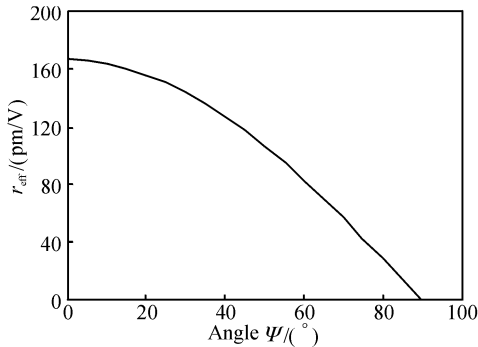


Fig. 3 The effective electro-optic coefficient  $r_{\text{eff}}$  as a function of the angle  $\Psi$

可以发现,  $r_{\text{eff}}$  随  $\Psi$  的增大单调递减。在  $\Psi = 0^\circ$  时, 即写入光  $I_S$  和  $I_P$  同为 e 偏振光时, 有效电光系数  $r_{\text{eff}}$  最大; 而在  $\Psi = 90^\circ$  时, 有效电光系数  $r_{\text{eff}}$  最小。由此推测在实验中信号光和抽运光同为 e 光即  $\Psi = 0^\circ$  时是最佳记录偏振组态, 两波耦合有效增益  $G$  应

该取得最大值, 当  $0^\circ < \Psi < 90^\circ$  时,  $G$  随  $\Psi$  的增大单调递减。可是图 2 中  $G$  随  $\Psi$  的变化关系的实验测量结果与理论预测结果并不符合,  $G$  并不随  $\Psi$  的增加而单调递减。我们认为理论预测结果和实验测量数据出现上述偏差的主要原因在于两波耦合理论公式(1)中未考虑光扇效应的影响。因为 Ce:KNSBN 晶体对 e 偏振态的写入光拥有较大的有效电光系数, 所以在 e 光入射时会伴随有较大的光扇效应。我们实验考察了不同偏振入射光的光扇强度, 分别以 e 偏振和 o 偏振的同波长同强度的单束激光正入射到实验所用的晶体上, 监测其透射光强的时间变化, 结果如图 4 所示, 可以看到无论 o 光入射还是 e 光入射在  $t=0$  时刻透射光强度基本相同, 但是 o 光入射时, 透射光光强基本不随时间变化, 而 e 光入射时, 由于光扇效应的影响, 随着时间的延长透射光能量的 80%~90% 都被耗散掉了, 因此 e 光入射时光扇效应是钾钠铌酸锶钡晶体两波耦合中不可忽略的影响因素。

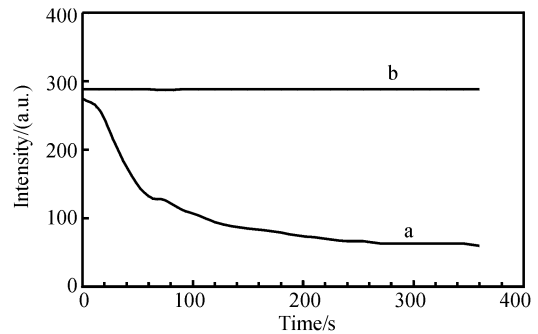


Fig. 4 The intensity of the transmission beam as a function of time. (a) Extraordinarily polarized beam, (b) ordinarily polarized beam

在图 1(a) 实验装置中以 CCD 相机取代图 1 中的光电探测器 D, 分别观察  $\Psi = 0^\circ$  和  $\Psi = 30^\circ$  时两波耦合过程中的光扇噪声, 结果如图 5 所示 (图中亮斑为信号光的透射光)。

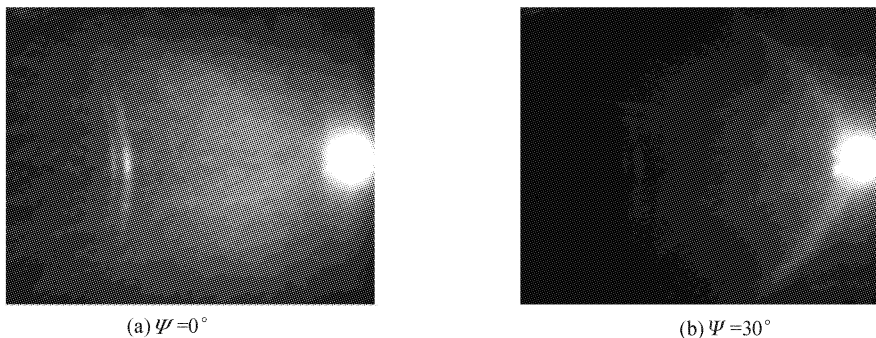


Fig. 5 The fanning noise while  $\Psi = 0^\circ$  and  $\Psi = 30^\circ$

可以看到在  $\Psi=0^\circ$  时光扇噪声很强, 而  $\Psi=30^\circ$  时光扇噪声明显减弱。原因在于当  $\Psi=30^\circ$  时抽运光的 o 光分量与光扇散射光是互不相干的, 抽运光的 o 光分量对光扇散射光起擦除作用, 抑制了光扇噪声的产生, 提高了抽运光与信号光的有效耦合, 使得增益  $G$  的显著增强。因此对两波耦合而言  $\Psi=30^\circ$  是比  $\Psi=0^\circ$  更好的记录组态。

**结论** 本文以信号光为非寻常光(e 光), 改变抽运光的偏振态, 研究了不同写入光偏振组态下 Ce:KNSBN 晶体的两波耦合特性。发现由于光扇效应的影响, 信号光和抽运光同为 e 光时并非如预期一样是最佳记录偏振组态。相反当抽运光的偏振方向与其 e 偏振方向呈  $30^\circ$  角时, 光扇噪声得到明显抑制, 两波耦合效果最好。

#### 参 考 文 献

- 1 Liu Simin, Gu Ru, Ling Zhenfang. *Nonlinear Optics of Photorefractive Effect* (光折变非线性光学). Beijing: China Standard Press, 1992 (in Chinese)
- 2 Chen H C, Xu Y H. Growth and some properties of undoped and doped  $(K_{1-x}Na_x)_{0.4}(Sr_{1-y}Ba_y)_{0.8}Nb_2O_6$  single crystals with tungsten-bronze structure. *J. Cryst. Growth.*, 1989, (96):357~362
- 3 Xu J, Wu Y, Liu S *et al.*. High-performance self-pumped phase conjugator with a multichannel in KNSBN:Cu crystal. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(16):1255~1257
- 4 She Weilong, Li Qinghang, Yu Zhenxin *et al.*. Phase conjugation in Mn:KNSBN crystal with high reflectivity under weak incident beams. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1991, **11**(6):492~498 (in Chinese)
- 5 Zheng Guangzhao. Image enhancement by using a photorefractive crystal Cu:KNSBN. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(2):177~181 (in Chinese)
- 6 Li Y, Liu S, Yang M *et al.*. Superior real-time holographic storage and properties in doped potassium sodium strontium barium niobate crystal. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(4):212~214
- 7 Liang Baolai, Wang Zaoqi, Guan Jiahong *et al.*. Diffraction property of photorefractive volume grating in Ce:KNSBN crystal. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(7):1021~1025 (in Chinese)
- 8 Guo Qinglin, Fu Guangsheng, Liang Baolai *et al.*. Discrimination enhancement of optical correlation pattern recognition via Ce:KNSBN photorefractive crystal. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(6):641~644 (in Chinese)
- 9 Liang B, Wang Z, Guan J *et al.*. Cartwright four-wave-mixing and edge-enhanced optical correlation in a Ce:KNSBN crystal. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(15):1086~1088
- 10 Wang H Y, Tian M Z, Lin J L *et al.*. Study of two-wave coupling in Cu:KNSBN using red light. *Opt. Commun.*, 1995, **115**(5~6):563~567
- 11 Zhu Derui, Wang Ren, Tan Jianhua *et al.*. A study on gain coefficient of two wave coupling in doped KNSBN crystals. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 1992, **41**(9):1440~1447 (in Chinese)
- 12 Ramazza P L, Zhao M J. Experimental study of two-wave mixing amplification in Cu-doped KNSBN. *Opt. Commun.*, 1993, **102**(1,2):93~99
- 13 Tomita Y, Matsushima S. Photorefractive beam coupling between orthogonally polarized light beams by linear dichroism in Cu-doped potassium sodium strontium barium niobate. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1999, **16**(1):111~116