

写入光偏振态对 Ce:KNSBN 晶体衍射特性的影响

郭庆林¹ 张云英¹ 魏丽静² 张金平¹ 怀素芳¹ 李盼来¹ 傅广生¹

(¹ 河北大学物理科学与技术学院, 河北 保定 071002)
(² 华北电力大学科技学院, 河北 保定 071051)

摘要 采用非同时读出条件下晶体两波耦合实验装置, 以单束光入射 Ce:KNSBN 光折变晶体, 通过改变抽运光偏振方向和晶体 c 轴的夹角 φ , 系统记录了不同 φ 角下的抽运光透射光强 I_p' 随时间的变化情况。实验结果表明, 当 $\varphi \leq 30^\circ$ 时, 基本没有光扇效应; 实验研究了正交偏振光写入下 Ce:KNSBN 晶体的两波耦合动态过程, 并与 e 光写入下两波耦合动态过程进行了比较, 发现正交偏振光写入时光扇噪声得到了明显抑制, 在相同的写入参量条件下光栅的衍射效率明显提高。

关键词 光学材料; Ce:KNSBN 晶体; 正交偏振光; 衍射特性

中图分类号 O438.1

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS20082811.2195

Effect of Writing Beam Polarization State on Diffraction Property of Ce:KNSBN Crystal

Guo Qinglin¹ Zhang Yunying¹ Wei Lijing² Zhang Jinping¹

Huai Sufang Li Panlai¹ Fu Guangsheng¹

(¹ College of Physics Science & Technology, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)
(² College of Science & Technology, North China Electric Power University, Baoding, Hebei 071051, China)

Abstract With single pump beam incident in Ce:KNSBN, the temporal evolution of transmission intensity of pumping beam in Ce:KNSBN crystal is experimentally studied by altering the angle φ between the polarizing orientation of the pump beam and c axis of the crystal. The experiment is carried out on crystal two-wave-coupling experimental setup with non-synchronous readout. The results show that the beam fanning noise is little at $\varphi \leq 30^\circ$. The two-wave coupling is investigated in Ce:KNSBN crystal with orthogonally polarized waves. Compared with the situation of extraordinary polarization, the beam fanning noise is effectively suppressed, and the diffraction efficiency of volume grating is greatly improved.

Key words optical materials; Ce:KNSBN crystal; orthogonally polarized light beam; diffraction property

1 引言

光折变晶体体光栅的衍射效率是光折变晶体在全息记录和光学信息处理中的一个重要物理量^[1~3]。作为高增益的光折变材料, 掺杂钾钠铌酸锶钡 (KNSBN) 晶体中却存在着强烈的光扇效应^[4~5]。用于光存储和光学信息处理时^[6], 光扇作为噪声源将使输出信号的增益减弱^[7], 信噪比降低, 限制了光栅衍射效率的提高。Youwen Liu 等人^[8]用紫外光辐照铌酸锂晶体抑制晶体中的扇噪声。袁

保红等人^[9]通过二波耦合测量了光折变聚合物 PVK:5CB:C₆₀ 中的耦合增益系数, 并利用斩波调制技术实现了二波耦合增益系数的增强。刘宏利等人^[10]在信号光保持 e 光情况下, 通过改变抽运光的偏振方向, 实现了 Ce:KNSBN 光折变类光纤中两波耦合增益的提高。张金平等^[11]在信号光和抽运光与晶体表面法线呈 11° 角对称入射下, 发现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, 两波耦合增益最大。F. Kahmann

收稿日期: 2008-01-18; 收到修改稿日期: 2008-05-07

基金项目: 河北省自然科学基金(F20060010023)资助项目。

作者简介: 郭庆林(1957-), 男, 教授, 主要从事光学信息处理方面的研究。E-mail: qlguo@hbu.edu.cn

等人^[12]利用Ce:SBN晶体的线性二色性实现了正交偏振光的全息纪录,并用o光写入和e光读取测量了晶体的饱和衍射效率,发现其饱和衍射效率明显增强。

本文采用非同时读出条件下晶体两波耦合实验装置,通过改变抽运光偏振方向和晶体c轴的夹角 φ ,研究不同写入光偏振态下单束抽运光透射光强 I'_p 随时间的演化。实验研究正交偏振光写入下Ce:KNSBN晶体的两波耦合动态过程,获得衍射效率随写入参数的变化并与异常光(e光)写入进行比较,发现正交偏振光写入时光扇效应得到了抑制,光栅衍射效率得到了提高。

2 实验装置

实验装置如图1所示,晶体为山东大学晶体研究所生产的 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ Ce:KNSBN晶体。入射光(532或632.8 nm)经偏振分光晶体BS分为信号光 I_s 和抽运光 I_p 。 I_s 和 I_p 对称的入射到晶体上,透射光分别用光电探测器 D_1 和 D_2 接收。图中 M_1 、 M_2 、 M_3 为宽带金属膜反射镜,HWP、 HWP_1 、 HWP_2 为半波片, P_1 、 P_2 为偏振片,信号光和抽运光的强度和偏振方向由半波片和偏振片的组合控制。实验中抽运光偏振方向与晶体c轴的夹角为 φ ,信号光偏振方向与抽运光偏振方向垂直。

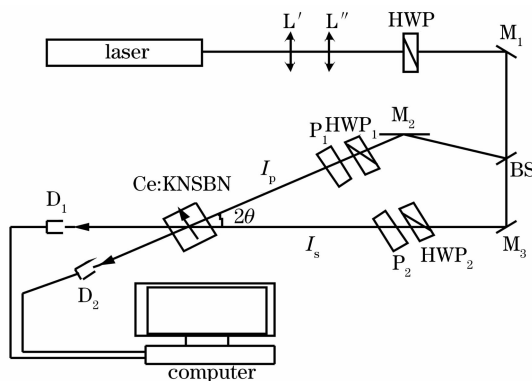


图1 实验装置

Fig.1 Experimental setup

3 结果与讨论

3.1 不同偏振态下抽运光透射光强

Ce:KNSBN晶体对e偏振态的写入光拥有较大的有效电光系数,故在e光入射时会伴随有较大的光扇效应。改变抽运光偏振方向与晶体c轴的夹角 φ ,实验考察了不同偏振入射光的光扇强度,分别以 $\varphi = 0^\circ$ (o光)、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° 、 70° 、 80° 、 90°

(e光)的同波长同强度的单束激光正入射到实验所用的晶体上,监测其透射光强随时间的变化,结果如图2所示。 $\varphi \leq 30^\circ$ 入射时,透射光强基本不随时间变化,几乎没有光扇效应。当 $\varphi > 30^\circ$ 时,透射光被耗散掉的能量也开始增加,随着时间的延长,透射光强逐渐减弱,光扇效应逐渐增强。当 $\varphi = 90^\circ$ 即e光入射时,随着时间的延长大部分透射光能量都被耗散掉了,光扇效应非常明显。

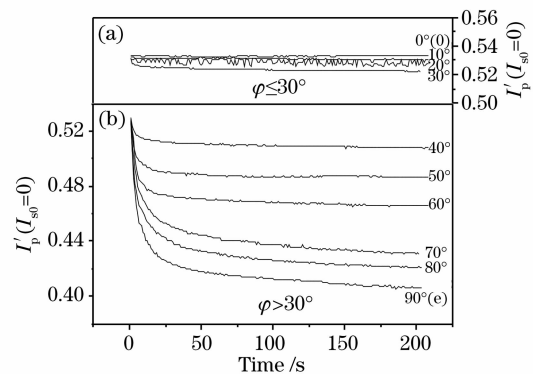


图2 不同偏振光写入时透射光强 $I'_p(I_s = 0)$ 的时间演化

Fig.2 Intensity of the transmitted beam as a function of time under different polarizing orientation of pump beam

3.2 正交偏振光写入下两波耦合动态过程

根据以上研究结果,取 $\varphi = 30^\circ$,研究正交偏振光写入时,Ce:KNSBN晶体两波耦合动态过程,并与e光写入时的情形进行比较。图3(a),(b)分别代表入射光波长 λ 为532 nm和632.8 nm时所得结果。 I'_p 、 I'_s 分别为抽运光和信号光透射光强,并由 $I'_f = (I'_p + I'_s)_{(t=0)} - (I'_p + I'_s)_t$ 计算出光扇强度。可以看出入射光为正交偏振光时,随着时间的延长, I'_s 迅速增大、 I'_p 相应减小,且同时趋于稳定,两条曲线十分对称。光扇强度 I'_f 基本不随时间变化,说明抽运光损失的能量几乎全部转移到了信号光方向,扇形效应较弱;入射光均为为e偏振光时, I'_f 经过一段时间振荡后,光扇强度明显增强,说明抽运光的能量除了向信号光方向进行了转移,还有其它的损耗,即散射损耗。

由于掺杂KNSBN晶体具有较大的色散效应,对线偏振光的吸收是各向异性的,可在晶体中形成偏振光栅。因此根据非相干擦除理论,在前向非相干光入射的情况下,一束光在另一束光形成的噪音栅上衍射,若满足布拉格(Bragg)条件,则可以产生锥光衍射(包括各向同性和各向异性衍射)。各向异性衍射光又与入射光一起写入一组新的光栅,这组光栅与原有的噪音栅存在 180° 的相位差。相互作用

用的结果使得这两组光栅互相擦除,这样散射光中满足布拉格条件的那部分不再被放大,从而形成暗环。调节耦合光的偏振方向来获得两束正交偏振的非相干光,入射光不再是 e 光,而是与 e 光偏振方向有一夹角,可以看作是 e 光分量和 o 光分量在这个方向上的合成。对于 Ce:KNSBN 晶体,由于 o 光之间的耦合系数远小于 e 光之间的耦合系数且 o 光和

e 光的耦合不能形成折射率光栅。因此,这束 o 分量和 e 分量的合成光实质上可以看作一束非相干光。这样两束互相正交的非相干光从晶体的同一个面入射,一束光在另一束光形成的噪音栅上发生衍射。该衍射光又与入射光本身写入一套新的光栅,选择性擦除了前面已经存在的噪音栅,使扇形噪声得到抑制。

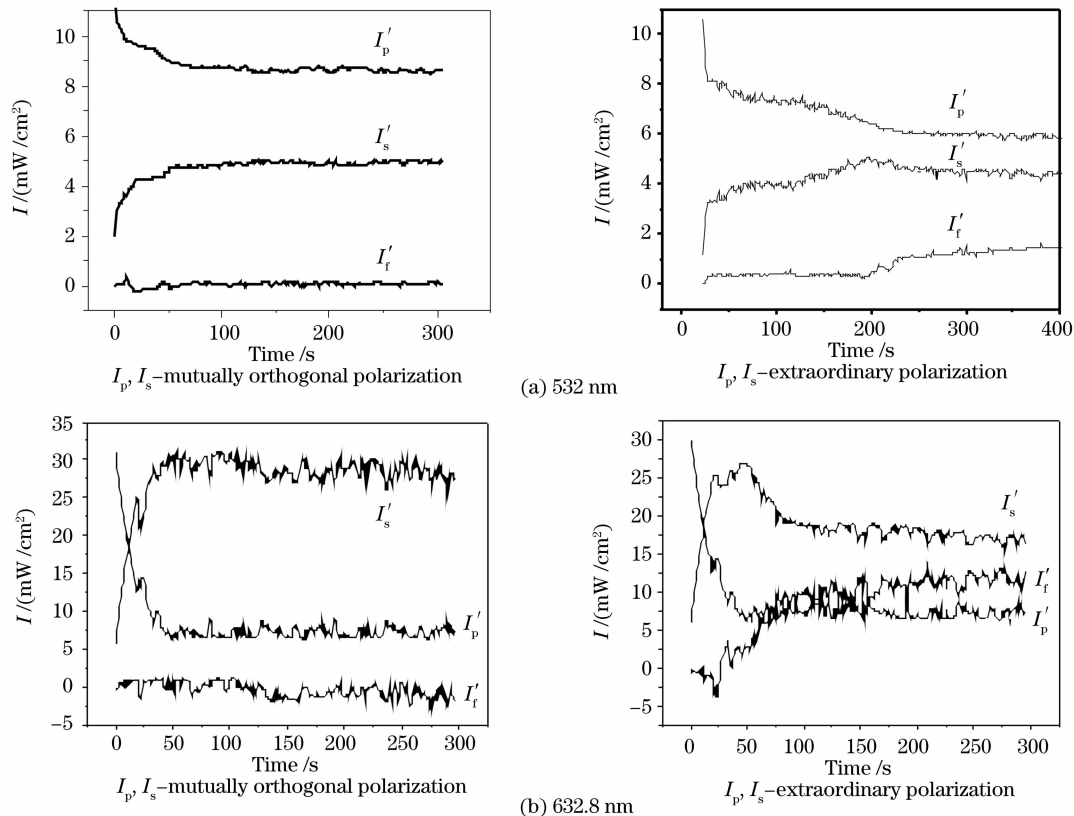


图3 透射光强时间曲线

Fig. 3 Temporal evolution of the transmitted beam intensity

上述研究结果表明,当写入光夹角、写入光光强比和写入光总光强一定时,e 偏振光写入和正交偏振光写入时,晶体两波耦合动态演化过程存在明显不同。e 偏振光写入时,Ce:KNSBN 晶体中扇形效应明显,入射光能量被扇形散射光消耗,使得信号光强度下降;正交偏振光写入时,由于基本没有扇形效应,抽运光的能量几乎完全转移到了信号光方向,因此利用正交偏振光写入可以有效提高晶体的衍射效率。

3.3 正交偏振和 e 光写入时衍射效率

使抽运光 I_p 偏振方向与入射面夹角为 30° , 信号光 I_s 偏振方向与抽运光偏振方向正交, 光强比 $m_0 = I_s/I_p = 0.33$, 入射光波长 $\lambda = 532 \text{ nm}$ 。测量晶体光栅衍射效率随 I_s 与 I_p 夹角 2θ 的变化, 结果如图 4(a) 中 A 所示。可以看到开始时衍射效率随角度的增大而增大, 在 $2\theta = 32^\circ$ 时衍射效率达到最大,

最大值为 30.1% , 此后衍射效率随角度的增大而减小。然后使入射光 I_s 和 I_p 同为 e 偏振光, 光强比仍为 $m_0 = I_s/I_p = 0.33$, 测量结果如图 4(a) 中 B 所示, 衍射效率同样在 $2\theta = 32^\circ$ 时达到最大, 但是最大值仅为 22.5% 。

选取写入光夹角 $2\theta = 30^\circ$, 入射光波长 $\lambda = 532 \text{ nm}$, 在 $m_0 = I_s/I_p = 0.02 \sim 5$ 范围内研究 I_s 和 I_p 同为 e 偏振光或正交偏振光时, 衍射效率 η 随 m_0 的变化情况, 结果如图 4(b) 所示。C、D 分别为 I_s 、 I_p 为 e 偏振光和正交偏振光时所得结果。可以看出, 相同的 m_0 下, 正交偏振光写入时, η 值较大, 且 η 最大值对应的 m_0 值较小。

由以上结果可知, 由于光扇效应得到了有效抑制, 正交偏振光写入时的衍射效率较 e 光写入时有了明显提高。

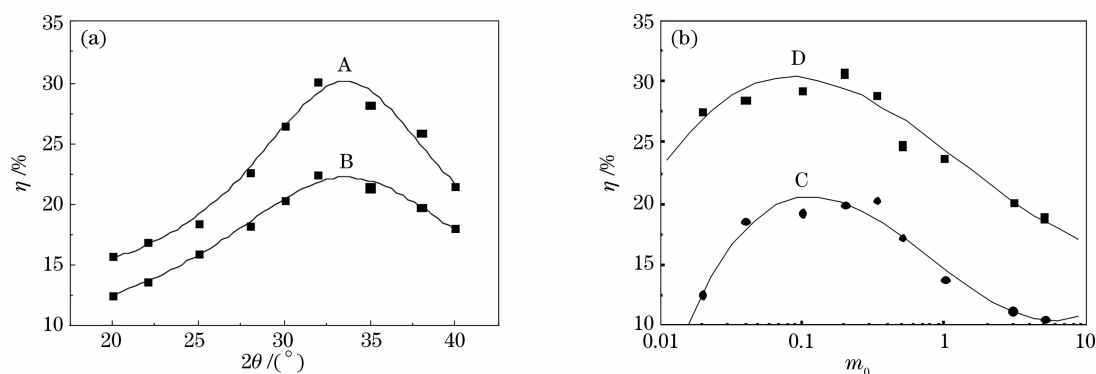


图 4 衍射效率随写入光夹角(a);写入光光强比(b)的变化情况

Fig. 4 Diffraction efficiency η as a function of the angle 2θ (a); the writing beams intensity ratio m_0 (b)

4 结 论

采用非同时读出条件下晶体两波耦合实验装置,通过记录各 φ 角下单束透射抽运光强 I'_p 的时间演化情况发现,当 $\varphi \leq 30^\circ$ 时,基本不存在光扇效应。同时发现,正交偏振光写入下,晶体两波耦合动态过程基本不受光扇效应的影响,从而可以提高晶体的衍射效率。实验研究发现在相同的写入光强度、光强比和光夹角下,正交偏振光写入时 Ce:KNSBN 晶体的衍射效率较 e 偏振光写入时有很大提高。

参 考 文 献

- 1 L. Arizmendi, J. F. López-Barberá, M. Carrascosa. Twelve-fold increase of diffraction efficiency of thermally fixed holograms in $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ [J]. *Appl. Phys.*, 2005, **97**: 073505-1~073505-4
- 2 Zhou Yu, Liu Liren, Yan Aimin *et al.*. Analyses and enhancement of diffraction efficiency in 90° holographic recording geometry [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(3): 395~399 (in Chinese)
周煜, 刘立人, 严爱民等. 90° 全息记录衍射效率分析与提高 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(3): 395~399
- 3 Li Panlai, Guo Qinglin, Liang Baolai *et al.*. Beam threshold characteristics of beam fanning effect in Ce:KNSBN crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 291~294 (in Chinese)
李盼来, 郭庆林, 梁宝来等. Ce:KNSBN 晶体光扇效应的入射光强度阈值特性研究 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 291~294
- 4 Guo Qinglin, Liu Feng, Liang Baolai *et al.*. The fanning effect on the dynamics of two wave coupling in Ce:KNSBN photorefractive crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(4): 527~530 (in Chinese)
郭庆林, 刘峰, 梁宝来等. Ce:KNSBN 晶体两波耦合中的光扇效应 [J]. *光学学报*, 2004, **24**(4): 527~530
- 5 M. Goukov, M. Imlau, T. Granzowa *et al.*. Beam fanning reversal in the ferroelectric relaxor $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ at high external electric fields [J]. *Appl. Phys.*, 2003, **94**(8): 4763~4771
- 6 Chai Zhifang, Liu De-an, Luan Zhu *et al.*. Characteristics of hologram readout in $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}:\text{Ru}$ crystal [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(12): 1655~1660 (in Chinese)
柴志方, 刘德安, 栾竹等. 双掺杂 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}:\text{Ru}$ 晶体的全息读出特性 [J]. *中国激光*, 2006, **33**(12): 1655~1660
- 7 Zhao Liang, Sun Junqiang. Gain characteristics of dual-pump optical parametric amplifiers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **34**(8): 1086~1091 (in Chinese)
赵亮, 孙军强. 双抽运光参量放大的增益特性 [J]. *中国激光*, 2006, **34**(8): 1086~1091
- 8 Youwen Liu, Ramasamy, Jayavel *et al.*. Suppression of beam fanning in near-stoichiometric lithium niobate crystal by ultraviolet light irradiation [J]. *Appl. Phys.*, 2002, **92**(9): 5578~5580
- 9 Yuan Baohong, Chen Zhongxian, Jiang Yongyuan *et al.*. Gain enhancement by chopping technology in a photorefractive composite [J]. *Acta Physica Sinica*, 2002, **51**(7): 1512~1516 (in Chinese)
袁保红, 陈钟贤, 姜永远等. 光折变聚合物中斩波调制对二波耦合增益系数的增强效应 [J]. *物理学报*, 2002, **51**(7): 1512~1516
- 10 Liu Hongli, Wang Zhaoqi, Yang Xinjun *et al.*. Enhancement of two-wave coupling with optimum polarization of the pump beams in Ce:KNSBN crystals [J]. *Optoelectronics • Laser*, 2002, **13**(11): 1135~1137 (in Chinese)
刘宏利, 王肇圻, 杨新军等. 用最佳偏振角泵浦光提高晶体中两波耦合增益 [J]. *光电子 • 激光*, 2002, **13**(11): 1135~1137
- 11 Zhang Jinping, Guo Qinglin, Wei Yanhong *et al.*. Fanning effect on writing beam polarization configuration in Ce:KNSBN crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **3**(24): 309~312 (in Chinese)
张金平, 郭庆林, 魏艳红等. 光扇效应对 Ce:KNSBN 记录偏振组态的影响 [J]. *光学学报*, 2004, **3**(24): 309~312
- 12 F. Kahmann, J. Höhne, R. Pankrath. Hologram recording with mutually orthogonal polarized waves in $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{Ce}$ [J]. *Phys. Review. B*, 1994, **50**: 2474~2478