

文章编号: 0253-2239(2007)02-0291-4

Ce:KNSBN 晶体光扇效应的人射光强度 阈值特性研究*

李盼来 郭庆林 梁宝来 张金平 怀素芳 傅广生

(河北大学物理科学与技术学院, 保定 071002)

摘要: 采用非同时读出条件下的两波耦合实验装置, 以单束光入射 Ce:KNSBN 光折变晶体, 系统研究了 Ce:KNSBN 晶体中光扇效应随入射光偏振态、入射光强度、光入射角的变化情况。结果表明异常偏振光入射晶体时光扇效应明显, 且存在明显的人射光强度阈值特性, 入射光强度阈值为 38.2 mW/cm^2 ; 相同光入射角下, 稳态光扇强度随入射光强度的增强而明显变大; 对应相同的人射光强度, 稳态光扇强度随光入射角 θ 的增大而增大, 当 θ 为 15° 时到达峰值, 而后随 θ 的增大而逐渐减小。同时对光扇效应的人射光强度阈值特性以及稳态光扇强度随入射光偏振态、入射光强度、光入射角的变化作出了相应的物理解释。

关键词: 光学材料; Ce:KNSBN 晶体; 光扇效应; 阈值特性; 光入射角

中图分类号: O438.1 文献标识码: A

Beam Threshold Characteristics of Beam Fanning Effect in Ce:KNSBN Crystal

Li Panlai Guo Qinglin Liang Baolai Zhang Jinping Huai Sufang Fu Guangsheng

(College of Physics Science & Technology, Hebei University, Baoding 071002)

Abstract: A two-wave coupling experimental system is used to study the beam fanning effect in a Ce:KNSBN crystal under a non-synchronous readout condition. The influence of the incident beam polarization state, intensity and incident angle on the beam fanning effect is studied with single beam incidence. The results show that when the beam has extraordinary polarization, the beam fanning effect is more evident and there exists an obvious intensity threshold of 38.2 mW/cm^2 . For a constant incident angle, the steady beam fanning intensity increases with the incident beam intensity. For a constant incident beam intensity, the steady beam fanning intensity increases with the incident angle to a peak value with 15° incident angle, and then declines with the rise of incident angle. The incident beam intensity threshold characteristic and the influence of the incident beam polarization state, intensity and incident angle on the steady beam fanning intensity are physically explained.

Key words: optical materials; Ce:KNSBN crystal; beam fanning effect; threshold characteristics; incident angle

1 引 言

“光扇”是高增益光折变材料中最常见的一种光感应光散射。一方面, 光扇作为光折变振荡器、作为抽运相位共轭的种源而被利用; 另一方面, 在光折变存储和光学信息处理应用中极为有害, 严重影响着存储系统的各项指标。目前人们已经对掺杂的 LiNbO_3 晶体中的光扇效应进行了一些研究, 如:

Liu 等^[1]认为掺入的 Fe 离子是 LiNbO_3 晶体中扇形散射光增强的重要原因; 而 Zhang 等^[2]通过加入抗光折变杂质离子 Mg 减弱了 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 晶体的光折变效应, 在一定程度上抑制了光扇噪声; Zhang 等^[3]在 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 晶体中加入 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 In^{3+} 等抗光折变杂质离子, 改变了扇形噪声的阈值光强。作为极具应用前景的掺杂 KNSBN 晶体也存在强烈

* 河北省自然科学基金(F20060010023)资助课题。

作者简介: 李盼来(1978—), 男河北省人, 河北大学助教, 硕士, 主要从事光学信息处理及发光材料与显示的研究。

E-mail: lipanlai@sohu.com

收稿日期: 2006-04-14; 收到修改稿日期: 2006-07-13

的光扇效应,如 Residori 等^[4]测量了 Cu:KNSBN 晶体不同 c 轴取向时光扇效应的动态过程;张金平等^[5]利用抽运光的 o 光分量对扇形散射光的非相干擦除作用,提高了 Ce:KNSBN 晶体两波耦合有效增益;郭庆林等^[6]研究了 Ce:KNSBN 晶体两波耦合中光扇效应的动态响应过程。综上可知,对 LiNbO₃ 晶体中光扇效应的研究多集中于掺杂离子对光扇效应及阈值光强的影响;而对掺杂 KNSBN 晶体中光扇效应的研究主要在于晶体两波耦合动态过程及参数的分析。但是,关于光入射角与晶体中光扇效应关系的研究还未见报道。本文以 Ce:KNSBN 晶体为研究对象,系统研究了 Ce:KNSBN 晶体中光扇效应随入射光偏振态、入射光强度及光入射角的变化情况,得到了光扇效应的入射光强度阈值及光入射角与强度阈值的关系,并对结果进行了相应的物理解释。

2 实验装置与方法

实验装置如图 1 所示。单束 532 nm 激光(激光二极管抽运的单频固体激光器)入射到 Ce:KNSBN 晶体(5 mm×5 mm×5 mm, c 为晶体光轴)上,半波片 HWP、偏振片 P 用来改变入射光强度和偏振态,光电探测器 D 用来接收透射光强 I' ,而后送入计算机系统进行处理。通过记录透射光强 I 随时间的变化情况,可以研究 Ce:KNSBN 晶体光扇效应的演

化。实验中通过旋转晶体来改变激光的入射角 θ 。

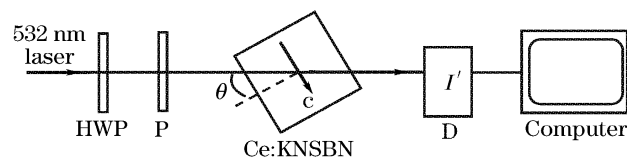


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

3 实验结果与讨论

3.1 光扇效应的入射光强度阈值特性

研究了入射光偏振态对晶体中光扇效应的影响,入射光强度为 57.3 mW/cm²,结果如图 2 所示。

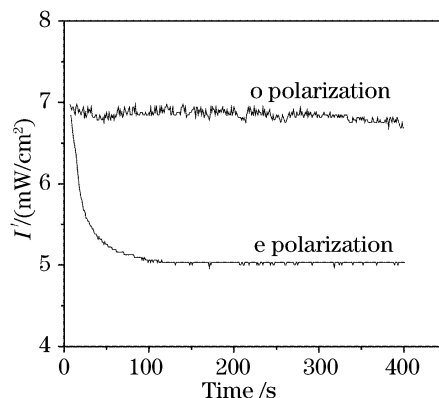


图 2 透射光强 I 随时间的演化情况

Fig. 2 Transmitted optical intensity I as a function of time

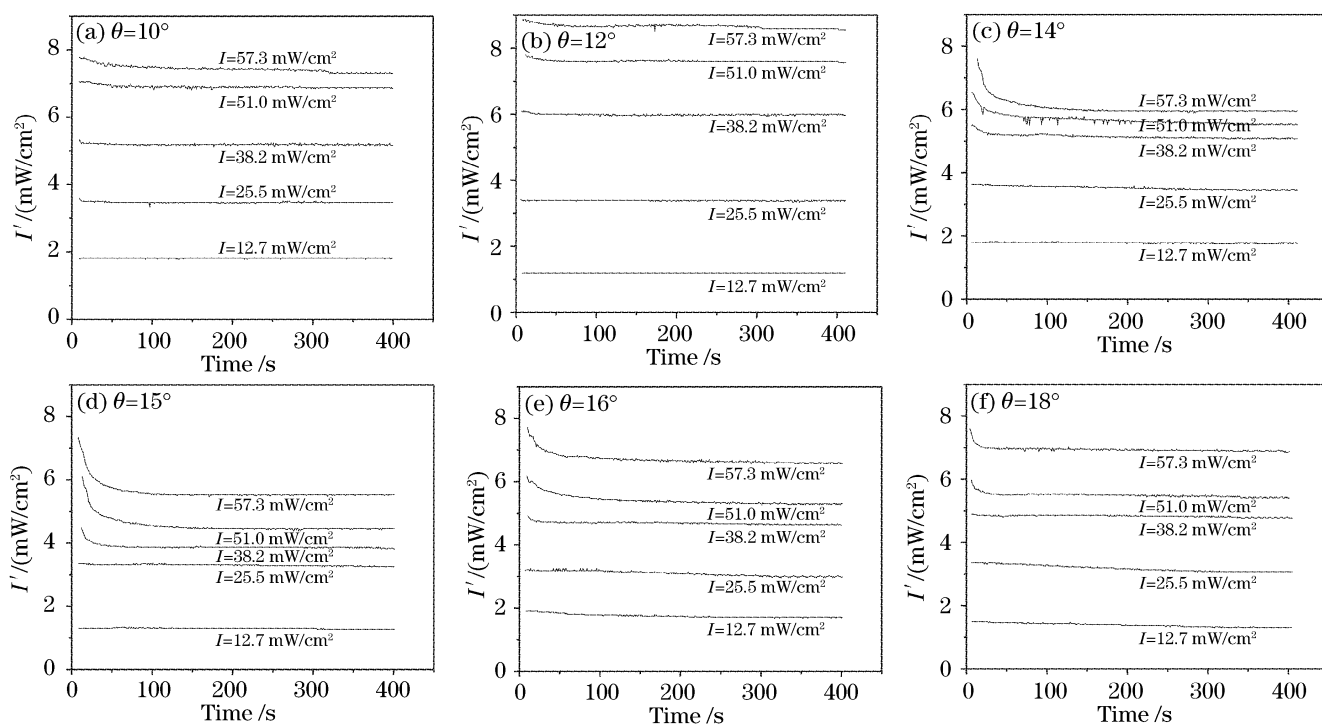


图 3 透射光强随时间的变化

Fig. 3 Variation of I' with time

由图可以看出 Ce:KNSBN 晶体中的光扇效应强烈依赖于入射光偏振态,只有当入射光为异常偏振光(e 光)时,才表现出强烈的光扇效应。

选取异常偏振光为入射光,研究了光入射角 θ 分别为 10° 、 12° 、 14° 、 15° 、 16° 、 18° 的情况下,入射光强度 I 分别为 12.7 mW/cm^2 、 25.5 mW/cm^2 、 38.2 mW/cm^2 、 51.0 mW/cm^2 、 57.3 mW/cm^2 时,入射光经晶体后透射光强 I' 随时间的演化曲线,结果如图 3 所示。由图可以看出,对于各个光入射角,当入射光强度较小时,如 $I = 12.7 \text{ mW/cm}^2$ 和 $I = 25.5 \text{ mW/cm}^2$,在实验测量时间范围内 I' 基本不变,表明光扇效应很弱,对入射光的能量损耗很小;当入射光强度增大,如 $I = 38.2 \text{ mW/cm}^2$ 时, I' 随时间开始明显下降,而且随入射光强度的进一步增大, I' 下降的幅度也逐渐增大。同时可以看出,对应不同的光入射角, I' 下降的幅度明显不同。

定义光扇强度为 $I_f(t) = I'(t=0) - I'(t)$,当 $I'(t)$ 到达稳态时,可得各光入射角下稳态光扇强度 $I_{f\text{sat}}$ 随入射光强度 I 的变化规律^[7],结果如图 4 所示。由图可以看出,稳态光扇强度随入射光强度的增大而增大。但入射光强度较小时, $I_{f\text{sat}}$ 随入射光强度增大的趋势并不明显;只有当入射光强度大于 38.2 mW/cm^2 时,稳态光扇强度才开始随入射光强度的增强而明显变大。这说明 Ce:KNSBN 晶体中的光扇效应存在明显的入射光强度阈值特征。

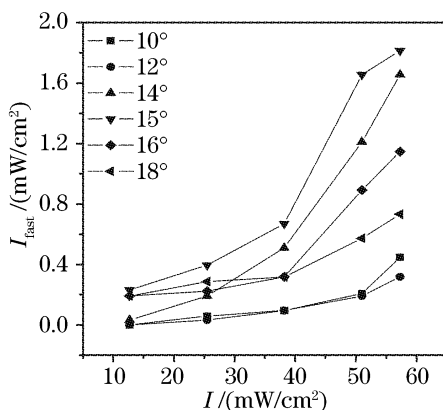


图 4 稳态光扇强度随入射光强的变化情况

Fig. 4 Steady beam fanning intensity versus incident beam intensity

3.2 光入射角对晶体中光扇效应的影响

图 5 给出了稳态光扇强度 $I_{f\text{sat}}$ 随光入射角 θ 的变化情况。由图可以看出,不同入射光强度下稳态光扇强度 $I_{f\text{sat}}$ 随 θ 有相同的变化趋势,即稳态光扇强度 $I_{f\text{sat}}$ 先随光入射角 θ 的增大而增大,当 θ 为 15° 时到达峰值,而后随 θ 的增大而逐渐减小。但是,对应

相同的光入射角时,稳态光扇强度不同,其会随着入射光强度的增大而增大。如 θ 为 15° ,入射光强度由 12.7 mW/cm^2 增大到 57.3 mW/cm^2 时,稳态光扇强度由 0.23 mW/cm^2 增大到 1.81 mW/cm^2 。

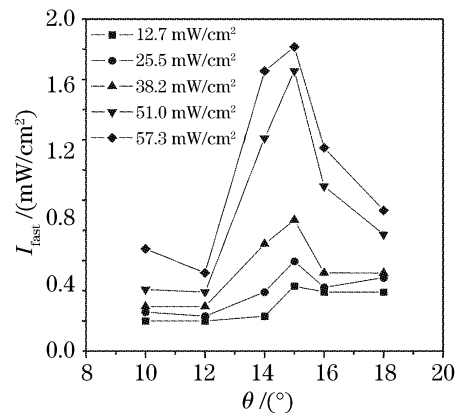


图 5 稳态光扇强度随光入射角的变化情况

Fig. 5 Steady beam fanning intensity versus beam incident angle

综上所述,首先,Ce:KNSBN 晶体中的光扇效应明显依赖于入射光偏振态和光入射角,入射光为 e 光且光入射角为 15° 时稳态光扇强度最大。分析认为,由于光扇是入射光与晶体中近前向散射光之间的光耦合所形成的具有一定空间分布的、被放大的散射光,因此其实质是 Ce:KNSBN 晶体中入射光与散射光的多组两波耦合,先前的研究结果证明当入射光为 e 光且光入射角为 15° 时 Ce:KNSBN 晶体两波耦合有效增益系数最大^[8],故此条件下的稳态光扇强度也最大;需要指出的是改变光入射角会影响激光束在晶体内的有效传播光程。但计算结果表明,当光入射角分别为 10° 和 15° 时,二者的有效光程差小于总有效光程的 1%,因此可以忽略因激光束在晶体内实际传播有效光程差别带来的影响。其次,Ce:KNSBN 晶体中的光扇效应存在明显的入射光强度阈值,且入射光强度阈值并不依赖于光入射角,这可以从光扇的实质找到合理解释。光扇是 Ce:KNSBN 晶体中入射光与散射光的多组两波耦合,光扇的建立是晶体中散射光与入射光形成噪声光栅的一个自洽过程。由于 Ce:KNSBN 是扩散型电荷迁移的光折变晶体,所以散射光自动满足布拉格相位匹配条件而得到自衍射放大,但是噪声光栅的形成依赖于入射光的强度和晶体中杂质、空位和缺陷的浓度,当入射光强度较小时,光生载流子很少。这些载流子甚至不足以填充光照区附近的受主中心,故不会形成载流子的浓度梯度周期分布,也就不会形成折射率光栅;只有当入射光强度足够大,光

生载流子足够多,这些载流子才可以迅速填充光照区附近的受主中心,并通过不断的激发、迁移、俘获过程扩散到暗光区才能形成噪声光栅。因此噪声光栅的形成存在入射光强阈值特性,只有当入射光强高于阈值光强时,才能形成噪声光栅,且入射光强的阈值只依赖于晶体本身的杂质、空位和缺陷的浓度。此外,入射光与散射光耦合的同时也会与其反射光耦合,造成反射光放大,一定程度上也减弱了入射光的强度,即是入射光强度下降的另一个原因^[9]。

4 结 论

以单束光入射 Ce:KNSBN 光折变晶体,研究了光扇效应与光入射角、入射光偏振态及入射光强度的关系。得到异常偏振光入射晶体时光扇效应明显,且存在明显的入射光强度阈值特性,入射光强度阈值为 38.2 mW/cm^2 ;相同光入射角下,由于入射光强度的增大时光生载流子增多,故稳态光扇强度 I_{fsat} 会随入射光强度的增强而明显变大;对应相同的入射光强度,稳态光扇强度 I_{fsat} 随光入射角 θ 的增大而增大,当 θ 为 15° 时到达峰值,而后随 θ 的增大而逐渐减小。以上结果表明,利用 Ce:KNSBN 晶体进行光学信息处理时,若选取合适的光入射角且使入射光强度低于阈值强度,就能减小光扇噪声的影响,从而获得较高的衍射效率和信噪比。

参 考 文 献

- 1 Liu Simin, Guo Ru, Xu Jingjun. *Nonlinear Optics of Photorefractive Effect and Its Application* [M]. Beijing: Science Press, 2004. 265~279 (in Chinese)
刘思敏,郭儒,许京军. 光折变非线性光学及其应用[J]. 北京: 科学出版社, 2004. 265~279
- 2 Zhang Guangyin, Xu Jingjun, Sun Qian *et al.*. Study of resistance against photorefractive light-induced scattering in LiNbO₃:Fe,Mg crystals[J]. *Proc. SPIE*, 1995, **2529**: 14~17
- 3 Guoquan Zhang, Guangyin Zhang, Simin Liu *et al.*. The threshold effect of incident light intensity for the photorefractive light-induced scattering in LiNbO₃:Fe,M (M=Mg²⁺, Zn²⁺, In³⁺) crystals[J]. *Appl. Phys.*, 1998, **83**(8): 4392~4396
- 4 S. Residori, P. L. Ramazza, Mingjun Zhao. Dynamics of beam fanning in Cu-doped KNSBN [J]. *Opt. Commun.*, 1993, **102**(1,2): 100~104
- 5 Zhang Jinping, Guo Qinglin, Wei Yanhong *et al.*. Fanning effect on writing beam polarization configuration in Ce:KNSBN crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(3): 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, **24**(3): 309~312
- 6 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
- 7 Mordechai Segev, Yoav Ophir, Baruch Fischer. Nonlinear multi two-wave mixing the fanning process and its bleaching in photorefractive media[J]. *Opt. Commun.*, 1990, **77**(2,3): 265~268
- 8 Liang Baolai, Wang Zhaoqi, Guan Jiahong *et al.*. Diffraction property of photorefractive volume grating in Ce:KNSBN crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(7): 1021~1025 (in Chinese)
梁宝来,王肇圻,官玖洪等. Ce:KNSBN 光折变晶体光栅衍射特性研究[J]. 光学学报, 2000, **20**(7): 1021~1025
- 9 Jingjun Xu, Yuanqing Wu, Simin Liu *et al.*. High-performance self-pumped phase conjugator with a multichannel in KNSBN:Cu crystal[J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(16): 1255~1257