

自泵浦相位共轭产生机制和稳定性 随入射光波长的变化

余卫龙 余振新

李荣基

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室 广州 510275) (香港中文大学物理系, 香港新界沙田)

提要 当泵浦光波长从 514.5 nm 改变到 488 nm 时, 一种掺 Cu 的 KNSBN 晶体中的自泵浦相位共轭产生机制, 从两个相互作用区的猫型机制转变到受激后向散射加四波混频的一个相互作用区机制。488 nm 的相位共轭光从开始的慢起伏逐渐过渡到准稳状态, 而 514.5 nm 的相位共轭光则一直处于无规的不稳定状态。

关键词 自泵浦相位共轭, 稳定性, 受激后向散射

1 引 言

自泵浦相位共轭已经在多种光折变晶体, 例如 BaTiO₃, KNSBN, SBN 和 KTN 及它们的掺杂晶体中被观察到^[1-9]。关于自泵浦相位共轭产生机制, 目前已有 5 个理论模型, 它们分别是两个相互作用区的猫型机制^[1]、谐振腔振荡机制^[5]、受激后向散射机制^[6]、受激后向散射加四波混频机制^[4]及自弯曲多个作用区机制^[7]。Lian 等人在 Ce·BaTiO₃ 晶体中观察到, 当泵浦光波长从 706 nm 变到 770 nm 时, 自泵浦相位共轭从受激后向散射加四波混频机制转变到猫型机制^[8]。本文报道在一种掺 Cu 的 KNSBN 晶体中, 当泵浦光从 514.5 nm 变到 488 nm 时, 自泵浦相位共轭从典型的两个相互作用区猫型机制转变到受激后向散射加四波混频的一个相互作用区机制, 同时, 相位共轭光的稳定性也产生了明显的变化。下面给出有关实验结果并进行讨论。

2 实验及其结果

实验所用的晶体为掺 Cu 的 KNSBN 晶体, 其掺杂浓度为 0.03 wt-%, 0°切割, 晶体尺寸为 4.5×5×6 (mm), 通光厚度为 4.5 mm。晶体六面抛光, 已极化为单畴。所用激光器是 Coherent 公司生产的 Innova 310 型 Ar⁺ 激光器, 全线输出。我们采用窄带滤光片选出 514.5 nm 光或 488 nm 光。采用三角棱镜对选出的光进行分光, 肉眼未见到非选波长的光存在。激光束用一个焦距为 100 cm 的透镜聚焦, 然后入射到晶体。入射光束为 e 光, 光束直径约为 1.5 mm。光束入射方向与晶体主光轴的正向夹角大于 90°。实验所得图片是用短焦距摄像机在晶体的上方拍摄后用 Video Blaster SE100 解像卡配合计算机绘出的。相位共轭光信号随时间变化的

曲线是用光电二极管配合计算机探测和记录到的。在记录相位共轭光信号的同时,用另一个光电二极管配合计算机对泵浦光的稳定性进行了监视。

实验中,利用可变光衰减器将两种波长的光进行衰减,使入射泵浦光的功率均为 10 mW。激光束都从晶体的一个 a 面中间入射。实验发现,当入射角从 30° 改变到 65° 时,对两种不同波长的激光器来说,其自泵浦相位共轭的产生机制完全不一样。图 1 是入射角固定在 45° 处自泵浦相位共轭形成 90 s 后晶体中光强的分布情况。其它入射角下的情况与图 1 相似。图 1 (a) 和 (b) 分别对应 514.5 nm 光和 488 nm 光。我们看到,图 1 (a) 和 (b) 中都存在一条连接于晶体的一个内角和入射点的明亮光路,但两者是明显不同的。对 514.5 nm 光来说,自泵浦相位共轭是典型的猫型机制^[1],而对 488 nm 光来说,自泵浦相位共轭有点类似于自弯曲多个相互作用区机制^[7]但又有差别,这里连接于晶体的一个入射角和入射点的明亮光路比自弯曲型机制松散,且光路在靠近晶体的一个内角处没有收缩成为一个尖劈,它应该属于受激后向散射加四波混频^[4]的一个相互作用区机制,因为我们看到,488 nm 光在入射点附近分成两大部分,一部分是遵从折射定律而传播的透射光,一部分是偏离透射光路朝晶体的一个内角传播的光,这部分光通过反射光栅产生受激后向散射,晶体内角上的散射光起着受激后向散射种子光的作用。一个相互作用的四波混频就在入射点附近形成,偏离透射光路朝晶体内角传播的散射光及其受激后向散射光就构成一对泵浦光。

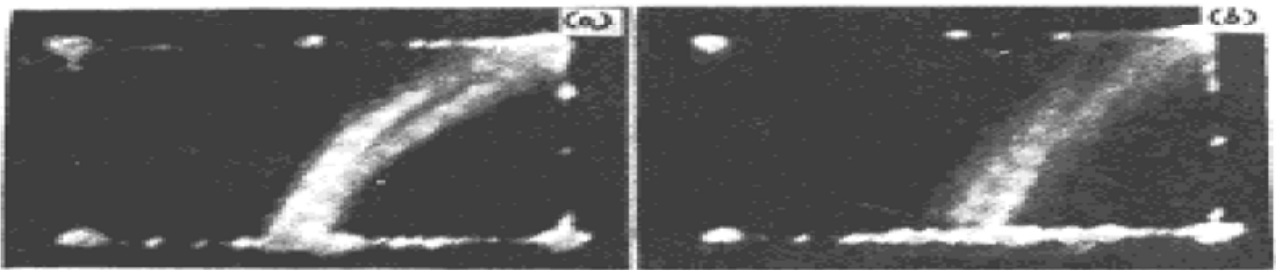


图 1 Cu:KNSBN 晶体中的自泵浦相位共轭机制随泵浦光波长而改变

(a) 用 514.5 nm 光泵浦,自泵浦相位共轭机制是猫型机制;

(b) 用 488 nm 光泵浦,自泵浦相位共轭机制是一个相互作用区机制

Fig. 1 Transformation of mechanism of self-pumped phase conjugation with wavelengths

(a) When pumped with 514.5 nm laser beam, the phase conjugation is a cat's mechanism;

(b) When pumped with 488 nm laser beam, the self-phase conjugation is an interaction region mechanism

实验还发现,对 514.5 nm 光和 488 nm 光来说,除了上述的自泵浦相位共轭产生机制有差异外,它们的相位共轭光的稳定性也有显著的差异。图 2 显示了这种差异。图 2 (a) 和 (b) 分别对应 514.5 nm 光和 488 nm 光。我们看到,在激光入射后,514.5 nm 相位共轭光要在 54 s 后才能观察到,而 488 nm 相位共轭光在 13 s 后即能观察到。此外,488 nm 相位共轭光在形成的初始阶段有较大幅度的慢变起伏,然后渐趋准稳状态。慢变起伏的两个相邻信号极大值的时间间隔大于 20 s。514.5 nm 相位共轭光明显不同,它在形成的初始阶段没有类似于 488 nm 光的慢变起伏,但它在形成以后一直处于无规的起伏状态,两个相邻信号极大值的间隔小于 1.5 s。在相位共轭光达到准稳定状态后,488 nm 相位共轭光信号起伏的相对值约为 6%,这与激光功率起伏的相对值 5% 相近。而 514.5 nm 相位共轭光信号的起伏,相对值达 20%,远大于激光功率的起伏。为了看清相位共轭光的不稳定情况,对图 2 的每一条实验曲线,均取一小段

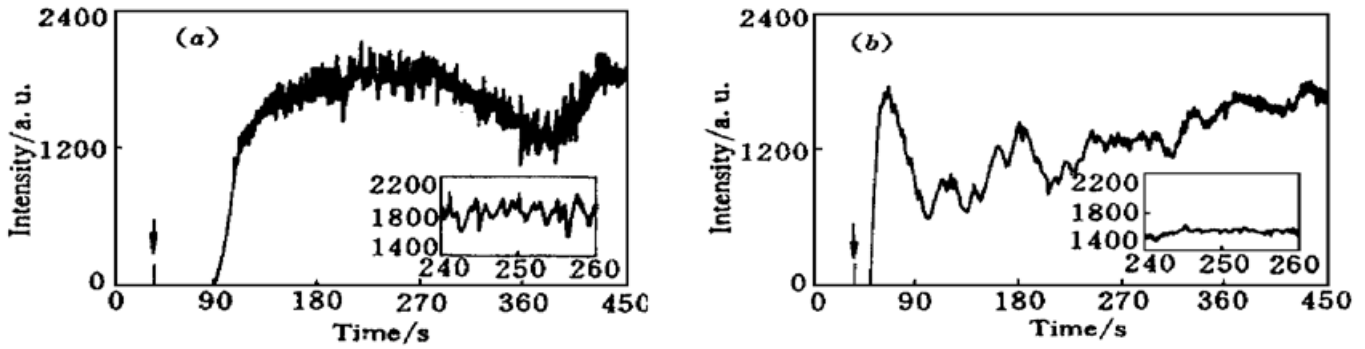


图2 自泵浦相位共轭稳定性随泵浦光波长而改变

(a) 用 514.5 nm 光泵浦; (b) 用 488 nm 光泵浦

Fig. 2 Transformation of stability of self-pumped phase conjugation with wavelengths

(a) Pumped with 514.5 nm laser beam; (b) Pumped with 488 nm laser beam

放大画出。对应于图 2, 两种光的入射角均为 45° , 这与图 1 相应。我们还在这个入射角下测量了两种光的相位共轭反射率, 结果 514.5 nm 的为 48%, 488 nm 的为 25%, 两者相差将近一半。

3 讨 论

因为 488 nm 光波长较短, 它在晶体中缺陷和杂质上的初始散射比 514.5 nm 光的强, 因而光扇开也比 514.5 nm 光的强。这一点, 我们已在实验中清楚地看到。图 1 也显示了这一点, 488 nm 光在入射点附近就强烈地扇开, 使得它在晶体中形成的连接于晶体的一个内角和入射点的光路比 514.5 nm 的粗大。较强的光扇开效应与自泵浦相位共轭建立过程的竞争, 会使相位共轭光变得不稳定^[2]。我们相信, 图 2 (b) 中 488 nm 相位共轭光在建立的初始阶段的较大幅度的慢变起伏就主要是起源于这种竞争。当自泵浦相位共轭基本建立后, 光折变波导^[9]也基本形成。在光扇开没有强到足以破坏光折变波导的情况下, 大部分的扇开光被收集到光折变波导中去, 形成较强的受激后向散射。这时, 488 nm 相位共轭光的起伏就主要是由激光功率的起伏引起的。图 1 (b) 显示 488 nm 光的反射光栅二波耦合增益系数比文献[4]和[6]的小, 因为这里的明亮光路没有象文献[4]和[6]那样地迅速收缩, 明亮光路可达到晶体的一个内角。所以, 488 nm 相位共轭光主要是受激后向散射光在入射点附近的一个相互作用区的透射光栅上衍射形成的。我们已测得晶体对 488 nm 光的吸收系数为 1.28 cm^{-1} , 比对 514.5 nm 光的吸收系数 0.47 cm^{-1} 大得多。因此, 488 nm 的受激后向散射光就要比 514.5 nm 光的内反射光弱很多, 其相位共轭反射率也就要相应地比 514.5 nm 光的低。这一点与文献[8]所报道的不同。在那里, 波长短的, 相位共轭反射率反而增大。这是因为, 在文献[8]的实验中, 波长短的光, 其自泵浦相位共轭虽然也是受激后向散射加四波混频型的, 但如上所述, 其反射光栅二波耦合增益系数比 488 nm 光的大得多, 散射光在入射点附近就迅速收缩, 散射光和受激后向散射光经历的光路很短, 光吸收对相位共轭反射率的限制已退居次要地位。如前所述, 514.5 nm 光的光扇开效应比 488 nm 光弱, 所以在自泵浦相位共轭建立的初始阶段, 光扇开的不利影响相对减弱, 故不会出现类似于 488 nm 相位共轭光在形成的初始阶段那样的较大幅度起伏, 但是, 514.5 nm 光自泵浦相位共轭是典型的猫型机制。文献[10]的数值计算表明, 对适当大的耦合

系数和耦合长度乘 $r_{il}(i = 1, 2, 3, 4)$, 这种类型的自泵浦相位共轭将出现不规则的不稳定状态。这种不稳定性是由两个相互作用区的竞争引起的。我们相信, 这里观察到的 514.5 nm 光的不稳定性起源于这种竞争。488 nm 光自泵浦相位共轭因为只有一个相互作用区, 所以就不会产生类似的不稳定性。

参 考 文 献

- 1 J. Feinberg. Self-pumped, continuous-wave phase conjugator using internal reflection. *Opt. Lett.*, 1982, **7**(10) : 486~ 488
- 2 Y. Zheng, A. Sasaki, X. Gao *et al.*. Origin and elimination of dynamic instability in a self-pumped phase-conjugate mirror. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(3) : 267~ 269
- 3 M. J. Miller, E. J. Sharp, G. L. Wood *et al.*. Time response of a cerium-doped $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ self-pumped phase-conjugate mirror. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(5) : 340~ 342
- 4 Y. Lian, H. Gao, P. Ye. Self-pumped phase conjugation with a new mechanism in $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3 \cdot \text{Fe}$ crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **63**(13) : 1745~ 1747
- 5 P. Yeh. Two-wave mixing in nonlinear media. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1989, **25**(3) : 484~ 519 (see p510~ 511)
- 6 T. Y. Chang, R. W. Hellwarth. Optical phase conjugation by backscattering in barium titanate. *Opt. Lett.*, 1985, **10**(8) : 408~ 410
- 7 G. Zhang, J. Xu, Y. Wu *et al.*. Photorefractive self-bending and high-performance KNSBN ·Cu crystal self-pumped phase-conjugator. *Chinese Phys. Lett.*, 1992, **9**(1) : 23~ 25
- 8 Y. Lian, S. Dou, H. Gao *et al.*. Mechanism transformation with wavelength of self-pumped phase conjugation in $\text{BaTiO}_3 \cdot \text{Ce}$. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(9) : 610~ 612
- 9 She Weilong, Yu Zhenxin, Lee Wingkee *et al.*. Self-pumped phase conjugation of imperfectly mode-locked picosecond laser pulses induced by a photorefractive waveguide. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 1996, **45**(12) : 2010~ 2015 (in Chinese)
- 10 D. J. Gauthier, P. Narum, R. W. Boyd. Observation of deterministic chaos in a phase-conjugate mirror. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, **58**(16) : 1640~ 1643

Transformation of Mechanism and Stability of Self-pumped Phase Conjugation with Wavelengths

She Weilong Yu Zhenxin

(State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Lee Wingkee

(Department of Physics, the Chinese University of Hongkong, Shatin NT Hongkong)

Abstract In a Cu ·KNSBN crystal, the self-pumped phase conjugation changes from the cat's mechanism to stimulated backscattering and four-wave-mixing mechanism as wavelength of the pump beam being changed from 514.5 to 488 nm. After it is formed, the self-pumped phase conjugation at 488 nm changes from slow fluctuation to a quasi-stable state gradually in about 400 seconds, while the phase conjugation at 514.5 nm is always in an irregular fluctuation state.

Key words self-pumped phase conjugation, stability, backscattering