

光折变“波导”诱失锁模 ps 激光 脉冲自泵浦相位共轭^{*}

余卫龙 余振新

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室, 广州 510275)

李荣基

(香港中文大学物理系, 香港新界 沙田)

(1995 年 9 月 21 日收到; 1995 年 12 月 11 日收到修改稿)

观察到失锁模 532 nm ps 激光脉冲单独入射到掺 Cu 的 KNSBN 晶体中, 不能产生自泵浦相位共轭, 但如果先用同波长的锁模 ps 激光脉冲在晶体中预制一条光折变“波导”, 则可诱导失锁模激光脉冲形成自泵浦相位共轭. 分别从“波导”形成和时间分辨光谱等方面研究了这一现象.

PACC: 4265F; 4265G

1 引 言

光折变晶体自泵浦相位共轭镜因为在光学信息处理、激光器锁模和激光干涉仪等方面潜在的重要应用引起人们很大的研究兴趣. 到目前为止, 已报道的研究工作大多数属于连续光情况. 关于超短激光脉冲自泵浦相位共轭镜的研究报道还很少^[1-3]. 有关连续光自泵浦相位共轭镜的形成机制, 已经提出多个理论模型^[4-8], 而对无外腔结构超短激光脉冲自泵浦相位共轭镜的工作原理, 目前尚未见有详细的讨论. 最近, 我们用波长为 532 nm, 脉冲宽度约 60 ps 的连续锁模激光脉冲入射到掺 Cu 的 KNSBN 晶体中, 观察到自弯曲型自泵浦相位共轭^[4]. 利用准连续光近似并采用多个相互作用区模型似乎可以理解有关实验结果. 但当我们把激光器置于某一失锁模状态, 输出激光脉冲宽度变为 240—280 ps 且不稳定, 再用这样的脉冲单独入射到晶体时, 相位共轭光信号则观察不到. 如果先用锁模激光脉冲在晶体中形成自泵浦相位共轭, 再用失锁模激光脉冲入射时, 则可观察到自泵浦相位共轭信号且自泵浦相位共轭镜也是自弯曲型的. 为了解释这一现象, 我们补充引入一个光折变“波导”模型, 本文报道有关的实验结果并进行讨论.

2 实验装置

图 1 是实验装置简图. 光源为美国光谱物理公司生产的 3000 型 cw 主动锁模 Nd: YAG 倍频 ps 脉冲激光器, 其输出光波长为 532 nm, 脉冲重复率为 82 MHz. BS 是光分束

^{*} 广东省自然科学基金资助的课题.

器. F 是可变光衰减器. D_1 是光功率计或同步扫描条纹照相机或普通照相机. 功率计响应时间小于 0.5 s , 它有一输出口可连接 $X\text{-}Y$ 记录仪. 若要记录自泵浦相位共轭镜建立过程时间特性时, 它与 $X\text{-}Y$ 记录仪联合使用. 测量晶体透过率时, 将功率计移到晶体后测量. 同步扫描条纹照相机是日本产的, 其时间分辨率为 10 ps . M 是反射镜, 在作时间分辨光谱测量时, 用它反射一个参考脉冲列到条纹照相机. 若要监视光源平均功率的变化时, 将 M 移去, 用功率计 D_2 监视. D_2 也可与 $X\text{-}Y$ 记录仪联合使用, 记录光源平均功率变化曲线. 实验所用的光折变晶体为 Cu:KNSBN 晶体, 尺寸为 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 6\text{ mm}$, 六面抛光、极化. 激光束为单横模, 无聚焦时光斑直径为 2 mm , 近似为平行光束. 实验中, 入射到晶体中的光束为 e 光.

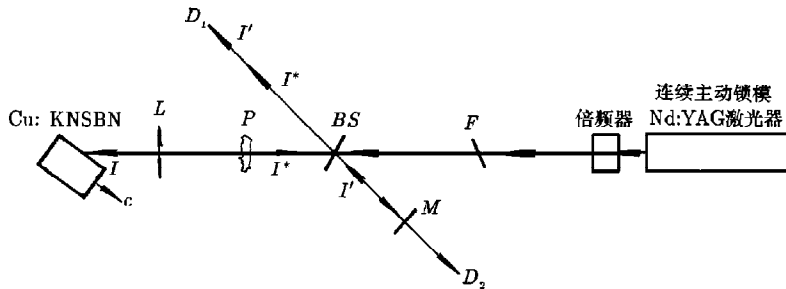


图 1 实验装置

3 诱导失锁模激光脉冲自泵浦相位共轭

当激光器处于锁模状态时, 锁模器的工作频率为 40.9620 MHz , 输出光脉冲近似为高斯脉冲, 脉冲宽度 $50\text{—}75\text{ ps}$. 若将锁模频率调偏至 40.9500 MHz 处, 激光器处于失锁模状态, 输出激光脉冲宽度为 $240\text{—}280\text{ ps}$, 稳定性很差. 实验时, 先将锁模频率置于 40.9500 MHz 处. 这时入射到晶体的激光平均功率为 40 mW . 光束不聚焦, 将入射角 α 从 60° 变到 75° , 均未观察到相位共轭光信号. 图 2(a) 是 $\alpha = 65^\circ$ 时拍摄到的晶体俯视照片. 从照片中看到, 光束在晶体中形成扇散射, 但没有形成一条连接于晶体一角的光学通道(以下简称光学通道). 接着, 挡住光束, 将锁模频率调至 40.9620 MHz 处, 激光器锁模. 将激光束平均功率衰减到 270 mW , 再入射到晶体中, 相位共轭光很快观察到. 图 2(b) 是相应的晶体照片. 从晶体中可清楚看到一条光学通道, 它是自弯曲型的^[4]. 保持晶体的位置不变($\alpha = 65^\circ$), 挡住光束, 锁模频率调至 40.9500 MHz 处, 再让激光束入射到晶体中, 相位共轭光也很快观察到. 图 2(c) 是相应的晶体照片. 可见晶体中也有一条光学通道. 它与图 2(b) 的基本相似, 也是自弯曲型的. 可见, 锁模激光脉冲可以诱导失锁模激光脉冲形成自泵浦相位共轭, 以下简称为诱导自泵浦相位共轭. 已经观察到, 只要入射角 $\alpha \geq 63^\circ$, 诱导自泵浦相位共轭镜都能建立. 当 $\alpha < 63^\circ$, 诱导失败. 图 3(a) 是 $\alpha = 65^\circ$ 时锁模激光脉冲自泵浦相位共轭建立过程时间特性. 该图对应的入射光平均功率为 40 mW , 与失锁模激光脉冲的入射平均功率相同. 图 3(b) 是同一个入射角下诱导自泵浦相位共轭建立过程时间特性. 图 3

(c) 是 $\alpha = 60^\circ$ 时诱导失败的情况. 从图 3 看到: 1) 在 $\alpha = 65^\circ$ 处, 诱导自泵浦相位共轭的建立时间 t 与锁模激光脉冲自泵浦相位共轭的建立时间基本相同; 2) 诱导自泵浦相位共轭的反射光不是入射光在锁模激光脉冲建立的光折变全息光栅上衍射形成的, 因为图 3(b) 有一个上升后再下降到零的变化过程. 图 3(b) 上那一段突降到零的曲线, 是轻轻转动晶体引起的结果. 此后, 相位共轭光不再出现. 已测得诱导自泵浦相位共轭反射率的稳定值约为 39%.

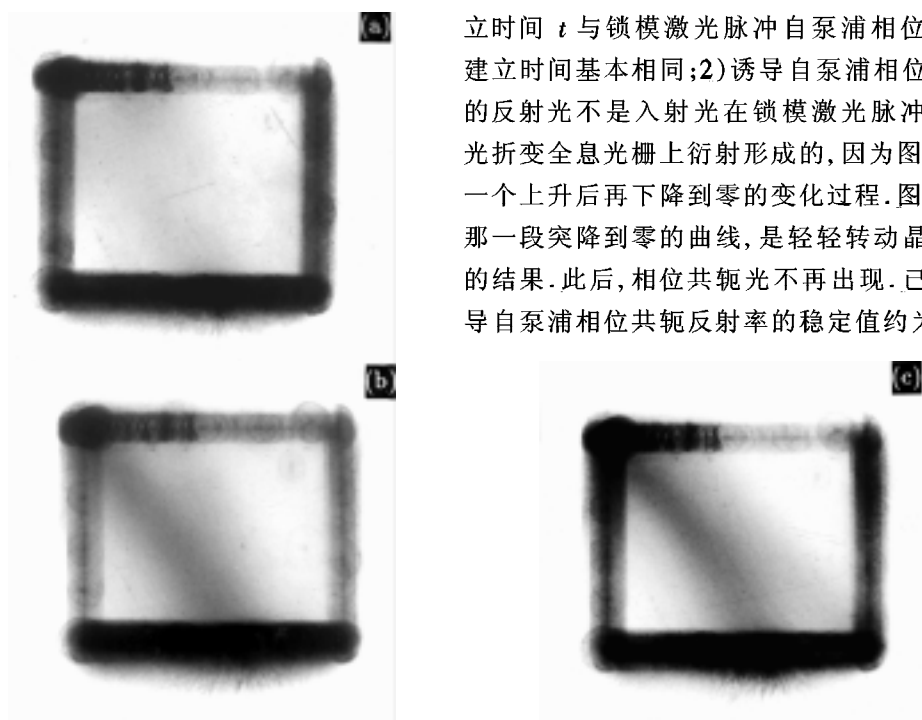


图 2 晶体俯视图照片 (a) 未诱导失锁模 ps 激光脉冲在晶体中形成扇散射; (b) 锁模 ps 激光脉冲自泵浦相位共轭形成时晶体中的弯曲光通道; (c) 诱导失锁模 ps 激光脉冲自泵浦相位共轭形成时晶体中的弯曲光通道; 各图对应的入射角均为 65°

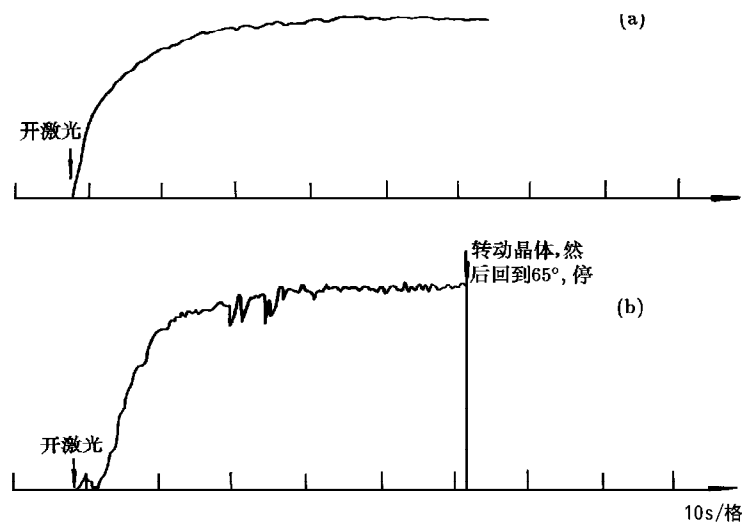


图 3 (a) 为锁模 ps 激光脉冲自泵浦相位共轭建立时间特性, $\alpha = 65^\circ$; (b) 为诱导失锁模 ps 激光脉冲自泵浦相位共轭建立时间特性, $\alpha = 65^\circ$; 入射光平均功率均为 40mW

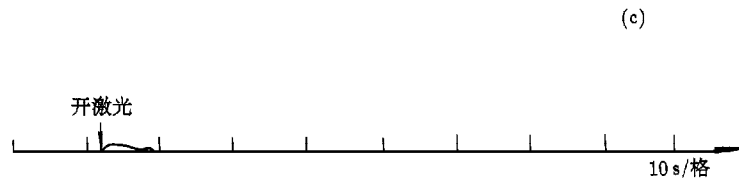


图3 (c)为 $\alpha=60^\circ$ 诱导失败情况;入射光平均功率为 40 mW

我们进一步利用同步扫描条纹照相机研究诱导自泵浦相位共轭镜反射光的时间分辨光谱. 作为比较, 先记录一组锁模激光脉冲自泵浦相位共轭镜反射光的时间分辨光谱. 图 4(a)是锁模稍差时获得的一次记录, 其中曲线 *a* 是参考光脉冲, 曲线 *b* 是相位共轭光脉冲. 图 4(b)是从诱导自泵浦相位共轭镜获得的一次记录. 为了便于观察比较, 将图 4(a)和 (b)的实验曲线作光滑处理, 分别得到图 4(c)和(d). 我们看到, 虽然失锁模激光脉冲起伏比锁模激光脉冲大得多, 但相位共轭光脉冲与入射光脉冲仍是镜像对称的. 与锁模激光脉冲所得到的结果类似. 实验观察到, 这种镜像对称关系, 对失锁模激光脉冲而言, 有时不成立, 这种不稳定性的原因正在研究中.

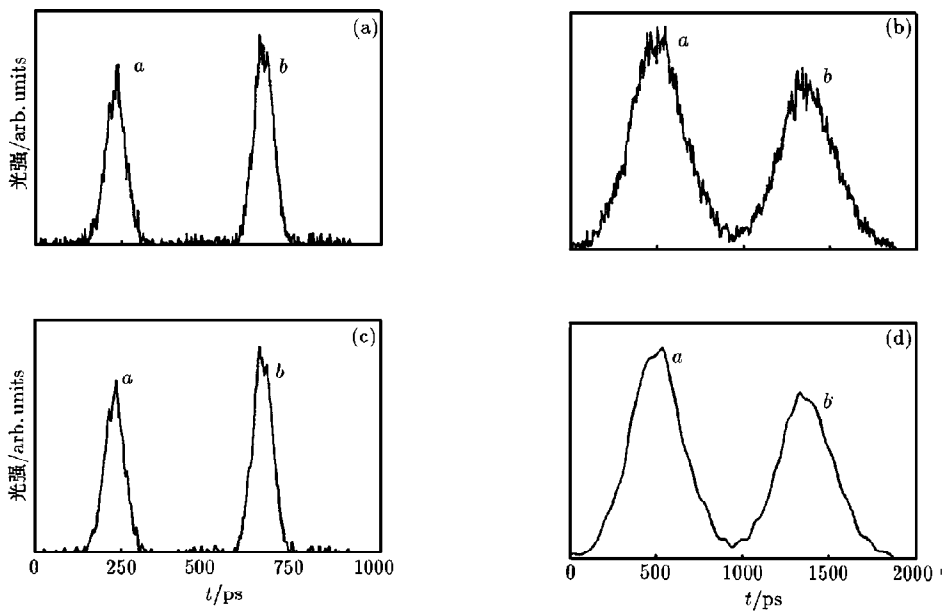


图4 锁模 ps 激光脉冲(a), (c)和失锁模 ps 激光脉冲(b), (d)自泵浦相位共轭时间分辨光谱 曲线 *a* 为参考光脉冲; 曲线 *b* 为相位共轭光脉冲; (c)和(d)分别是(a)和(b)光滑后的结果

4 光扇开的稳定性

为研究诱导自泵浦相位共轭镜的成因, 我们对光扇开的稳定性进行实验研究. 在未能

形成自泵浦相位共轭的情况下,晶体透射光的稳定性可反映出光扇开的稳定性.而在自泵浦相位共轭能够形成的情况下,相位共轭光产生的初始阶段的稳定性也部分地反映出光扇开的稳定性.对锁模激光情况,因为当 $\alpha > 20^\circ$ 时,自泵浦相位共轭镜都能形成,所以只在 $\alpha = 10^\circ$ 处记录了透射光的稳定性曲线,结果如图 5(a),其中曲线 *a* 为激光,曲线 *b* 为透射光.从图 5(a)并参考图 3(a)曲线的初始部分,可以看到锁模激光的光扇开乃至引起光扇开的噪声光栅是比较稳定的.图 5(b)记录到的是失锁模激光的情况,记录时 $\alpha = 65^\circ$.图 5(b)表明,失锁模激光很不稳定,而光扇开乃至引起光扇开的噪声光栅更加不稳定.可以认为这是失锁模激光脉冲强度和位相起伏比较大所造成的结果.

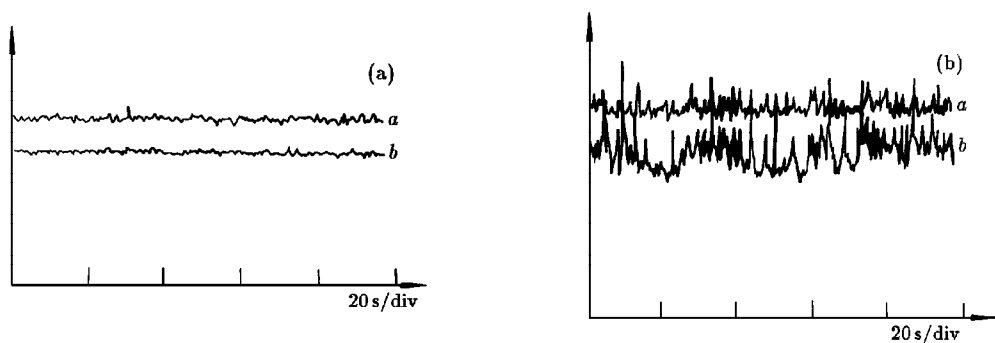


图 5 晶体透射光稳定性 (a)为锁模激光 *a* 和透射光 *b* 时间曲线, $\alpha = 10^\circ$; (b)为失锁模激光 *a* 和透射光 *b* 稳定性, $\alpha = 65^\circ$

5 讨 论

现在讨论以上的实验结果.从图 2 看到,失锁模激光脉冲能否建立自泵浦相位共轭,关键在于能否形成一条光学通道,而锁模激光脉冲先形成一条光学通道则是先决条件.如果我们认为,将光束在光学通道经过的地方诱导产生了一条光折变“波导”,则可理解上述实验结果.在未用锁模激光脉冲在晶体中形成光学通道的情况下,光折变“波导”不存在.由于失锁模激光脉冲强度和位相不稳定,它导致光扇开不稳定.因而在晶体一角反射回的扇开光与前进的扇开光不能形成稳定的耦合^[9],不能建立起光学通道,故多个相互作用区^[4]也无法形成,于是不能产生自泵浦相位共轭.这正是图 2(a)记录到的情况.然而,当先用锁模激光脉冲在晶体中形成自泵浦相位共轭后,原来光学通道经过的地方留下一条光折变“波导”.后继入射的失锁模激光的扇开光相当一部分被收集进该“波导”.“波导”中的光与其它部分的入射光产生二波耦合,一方面使更多的光能流入该“波导”,另一方面又抑制无用的噪声光栅.流入“波导”的光经晶体一角反射返回,再与前进的光耦合,反过来巩固该“波导”.如此循环,新的光学通道也就建了起来,多个相互作用区也就随之形成.至于锁模激光脉冲建立起光学通道的过程可以这样理解:在本次实验中,锁模激光脉冲的脉冲宽度约为 60 ps,它对应的光程约为 18 mm. KNSBN 晶体的 e 光折射率为 2.2,该光程再折算为晶体中的路径长约为 8.1 mm. 一个光脉冲被晶体一角反射回的部分能与前进部分

在晶体中重叠,于是,我们可以采用连续波近似.另外,如前所述,锁模激光比较稳定,扇开光也比较稳定.由文献[9]的数值计算结果知道,在稳定情况下,若耦合系数和耦合长度的乘积足够大,朝前传播的光(其中包括泵浦光和扇开光)与进入波导的扇开光的反射光能通过耦合而建立起光学通道,这正是图 2(b)记录到的情况.在光学通道形成后,我们就容易用多个相互作用区模型^[4]来解释相位共轭光的形成.图 3(b)转动晶体导致相位共轭光消失的现象可作如下解释:转动晶体时,入射光擦除部分光折变“波导”和部分光折变光栅,使得流入“波导”的光能流少到不足以维持和巩固原“波导”,最终使该“波导”消失,共轭光也随之消失.图 3(c)诱导失败的原因尚未搞清楚,有待于进一步研究.

- [1] R.K.Jain *et al.*, *Opt. Lett.*, **9**(1984), 546.
- [2] M.Cronin-Golomb *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **47**(1985), 1131.
- [3] L.Mager *et al.*, *Opt. Lett.*, **19**(1994), 1508.
- [4] G. Zhang *et al.*, *Chin. Phys. Lett.*, **9**(1992), 23.
- [5] K.R.MacDonald *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **73**(5)(1983), 548.
- [6] Y.Lian *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **63**(1993), 1745.
- [7] T.Y.Chang *et al.*, *Opt. Lett.*, **10**(1985), 408.
- [8] P. Yeh, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-25**(1989), 510.
- [9] A.A.Zozulya *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **73**(1994), 818.

SELF-PUMPED PHASE CONJUGATION OF IMPERFECTLY MODE-LOCKED PICOSECOND LASER PULSES INDUCED BY A PHOTOREFRACTIVE WAVEGUIDE

SHE WEI-LONG YU ZHEN-XIN

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

LEE WING-KEE

(Department of Physics, the Chinese University of Hong Kong, Shatin NT Hong Kong)

(Received 21 September 1995; revised manuscript received 11 December 1995)

ABSTRACT

Normally, when an imperfectly mode-locked 532 nm ps laser is incident upon a Cu:KNSBN photorefractive crystal, no self-pumped phase conjugation can occur. We report however, for the first time to our knowledge, that if a photorefractive waveguide is first created in the crystal by a mode-locked beam of the same wavelength, then self-pumped phase conjugation can be induced for the imperfectly mode-locked beam.

PACC: 4265F; 4265G