

自泵浦相位共轭镜修复非线性介质引起的光波波前畸变

何穗荣 余卫龙 汪河洲 余振新

(中山大学激光与光谱学研究所, 广州 510275)

提要 利用掺 Cu 的 KNSBN 晶体做成的自泵浦相位共轭镜可以补偿由于热自聚焦效应引起的随时间慢变的空自调相。即由非线性介质引起的时间慢变的波前畸变可以利用相位共轭技术进行补偿。实验发现, 尽管相位共轭反射率在时间上有较大幅度的不规则起伏, 但相位共轭镜对波前畸变的补偿仍相当理想。

关键词 自泵浦相位共轭, 热自聚焦效应

1 引言

由于自泵浦相位共轭技术在光信号处理、光束波前修复、光通信及光计算等方面有着十分诱人的应用前景, 因此很受人们的重视。利用自泵浦相位共轭技术修复光波波前畸变是一项重要的研究工作。就我们所知, 在以往报道中, 都是利用自泵浦相位共轭镜对固定畸变的光波波前进行修复检验, 而导致光波波前畸变的介质均为线性介质^[1~3]。利用自泵浦相位共轭技术修复由非线性介质引起的非固定的光波波前畸变的研究工作仍未见报道。通过实验研究, 我们发现利用自泵浦相位共轭技术可以修复由非线性介质引起的光波波前畸变。而且, 还能对时间慢变的波前畸变光束进行补偿。我们的实验是利用掺 Cu 的 KNSBN 晶体做成的自泵浦相位共轭镜对掺 Ce 的 KNSBN 晶体中由热自聚焦效应引起的空自调相进行补偿。在文献[4]中, 已经报道了 Ce:KNSBN 晶体具有很强的各向异性热自聚焦效应。当 e 偏振激光束通过晶体后, 将产生一组衍射环, 光束波前发生严重畸变。同时, 这种波前畸变随时间不断变化。利用掺 Cu 的 KNSBN 晶体做成的自泵浦相位共轭镜可以对这个波前严重畸变的光束进行补偿。

2 实验装置及实验

实验系统如图 1 所示, 实验采用的光源是主动锁模 Nd:YAG 激光的倍频光, 波长为 532 nm, 脉宽为 50~70 ps, 脉冲重复率为 82 MHz。利用起偏器 P 使激光束 I_1 为 e 光; BS₁, BS₂ 为分束器, L₁, L₂ 为凸透镜。我们利用掺 Ce 的 KNSBN 晶体的热自聚焦效应使入射光束的波前发生非线性畸变。实验中, Ce:KNSBN 晶体光轴水平放置, 晶体通光厚度为 5.5 mm, 采用焦距为 11.5 cm 的凸透镜 L₁ 使 I_1 聚焦, 光束的焦点就落在 Ce:KNSBN 晶体的入射表面, 当 I_1 的光强

大于 580 W/cm^2 时,晶体中产生很强的热自聚焦效应,出射光的光斑出现了由空间自调相引起的衍射环^[5]。我们还观察到衍射环在不停地脉动,光斑大小在不断变化。变化的周期约为 1 到 2 s,故可看成时间慢变的非线性波前畸变。我们注意到,当热自聚焦出现后,扇形散射受到了很大的抑制。利用无镜头相机在距离 Ce:KNSBN 晶体出射面 1.7 m 的位置对空间自调相进行拍摄。为了说明空间自调相在不断变化,我们在同一位置,采用相同的曝光时间,每隔 10 s 拍摄一次,得到一组照片,如图 2 所示。

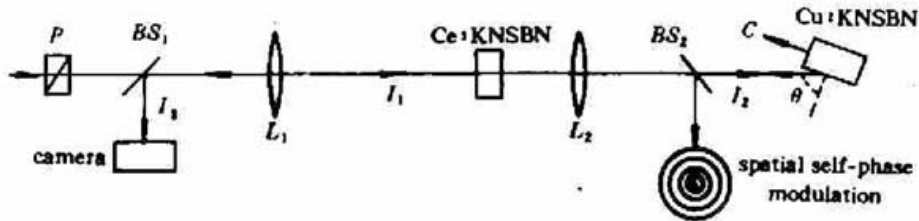


Fig. 1 Experimental configuration of compensation for nonlinear wave-front distortions

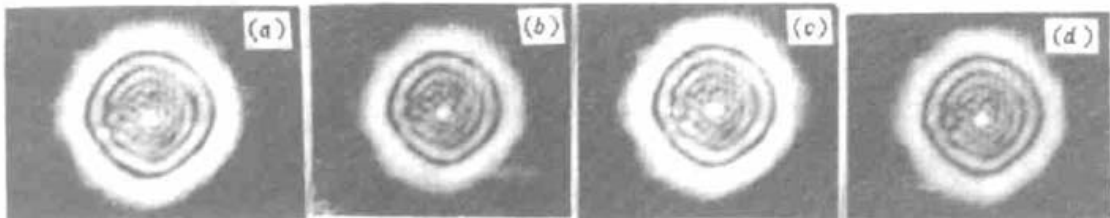


Fig. 2 The images of spatial self-phase modulation

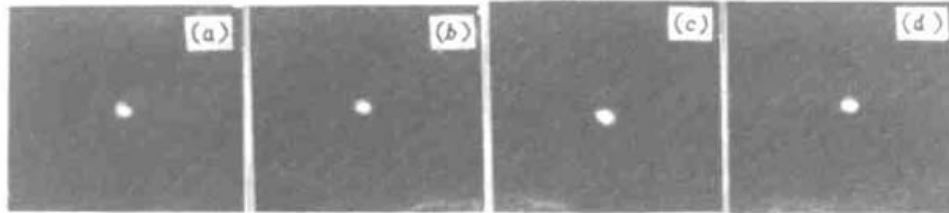


Fig. 3 The images of a self-pumped phase-conjugate beam

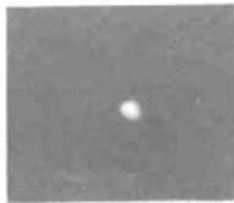


Fig. 4 The image of the incident laser beam

我们把这个发生了波前畸变的光束作为泵浦光入射到掺 Cu 的 KNSBN 晶体, Cu:KNSBN 晶体光轴水平放置。利用 Cu:KNSBN 晶体做成的自泵浦相位共轭镜对光束进行修复。实验表明,自泵浦相位共轭反射率与泵浦光尺寸及入射角等参数有关。为了得到较大的自泵浦相位共轭反射率,实验采用焦距为 5.4 cm 的凸透镜 L_2 对泵浦光 I_2 聚焦, Cu:KNSBN 晶体入射表面放在焦点前 2 cm, 入射角 θ 为 77° 。这时可以观察到相位共轭光 I_3 。我们发现相位共轭光在空间上对泵浦光束实现了很好的补偿,只在距离 Cu:KNSBN 晶体入射面大于 2.0 m 的位置可以观察到微小的跳动。为了与图 2 的泵浦光作比较,我们同样采用每隔 10 s 拍摄一张的方法在距离 Cu:KNSBN 晶体入射面 1.2 m 的位置对相位共轭光的光斑拍摄了一组照片,如图 3 所示。此外,我们还拍摄了一张激光束 I_1 的光斑照片,如图 4 所示。从图 3 与图 4 比较的情况,可以看出光波波前畸变得到了很好的补偿。

这时可以观察到相位共轭光 I_3 。我们发现相位共轭光在空间上对泵浦光束实现了很好的补偿,只在距离 Cu:KNSBN 晶体入射面大于 2.0 m 的位置可以观察到微小的跳动。为了与图 2 的泵浦光作比较,我们同样采用每隔 10 s 拍摄一张的方法在距离 Cu:KNSBN 晶体入射面 1.2 m 的位置对相位共轭光的光斑拍摄了一组照片,如图 3 所示。此外,我们还拍摄了一张激光束 I_1 的光斑照片,如图 4 所示。从图 3 与图 4 比较的情况,可以看出光波波前畸变得到了很好的补偿。

前面我们曾提到, 由于热自聚焦效应引起的空间自调相衍射环光斑在不停地脉动, 光斑大小也在不停地变化, 且光波波前的非线性畸变具有时间慢变的特性。为了研究自泵浦相位共轭效应对时间慢变波前畸变的补偿, 我们采用 X-Y 记录仪测出了激光束 I_1 , 泵浦光 I_2 及相位共轭光 I_3 的光强随时间变化曲线, 如图 5 所示。测量 I_2 时, 用一透镜将光束聚焦到激光功率计上, 以防止由于 I_2 的空间脉动引起的测量误差。同时, 我们利用 X-Y 记录仪测出了 Cu: KNSBN 晶体自泵浦相位共轭镜的响应速度约为 3.5 s, 如图 6 所示。

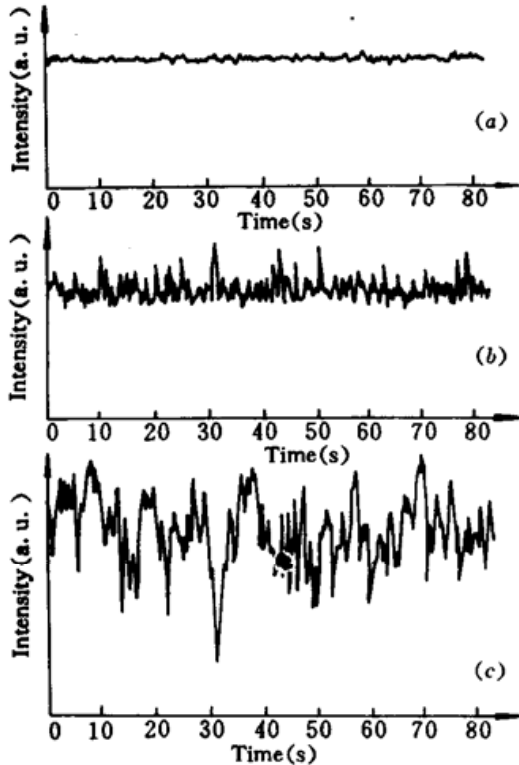


Fig. 5 Time evolution of beam intensity

(a) incident beam; (b) pumped beam; (c) phase-conjugate beam

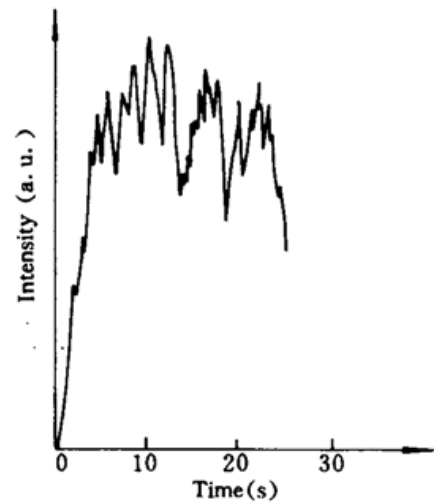


Fig. 6 The response time of the self-pumped phase-conjugate mirror

3 讨论及结论

图 2 是入射光经过 Ce: KNSBN 晶体后的空间自调相的照片, 从图中可以看到激光束经过 Ce: KNSBN 晶体后, 光波波前发生了严重畸变。这种畸变是由于晶体的热自聚焦效应引起的。通过比较图 2 的几张照片, 我们发现, 空间自调相随时间在发生变化。实验中, 我们观察到空间自调相光斑在不停地脉动, 光斑大小不断改变。即这种由非线性介质引起的光波波前畸变并非固定畸变, 而是时间依赖的。比较图 3 相位共轭光的光斑照片和图 4 的激光束光斑照片, 可以看出, 空间自调相经过相位共轭补偿后, 波前畸变得得到修复, 相位共轭光斑的大小没有明显变化。因此, 利用自泵浦相位共轭技术能够修复由非线性介质引起的光波波前畸变。

图 5(a) 表明激光束 I_1 光强较稳定; 图 5(b) 泵浦光 I_2 由于光波波前出现非线性吸收和散射等原因, 光波的相位在空间和时间上都不稳定, 使得光强随时间不断变化, 且变化幅度比激光束 I_1 大得多, 变化频率也稍快。因为光折变效应为非本地效应, 它依赖于受激载流子的迁移和重新被陷过程, 而这过程则依赖于扇开光和泵浦光的干涉效应, 所以, 一旦泵浦光的位相产生起伏, 相位共轭过程也将出现起伏, 这起伏变化的速度主要由自泵浦相位共轭镜的响应速度决定。图 6 给出自泵浦相位共轭镜的时间响应曲线。该曲线表明相位共轭镜的响应时间约在 3.5 s, 这与图 5(c) 相位共轭光的起伏变化时间是相同的。这里应该注意的是, 通常所说的响应时

间 τ 是指泵浦光开始入射后, 信号从零变至极大值的 $(1 - e^{-1})$ 处, 但这并不是说只有到该处才有相位共轭光出现。实际上, 在泵浦光入射后不久 ($t < \tau$) 即有相位共轭光出现, 只不过强度较弱。由这一点, 我们就可以理解图 5(c) 的相位共轭光信号变化频率比泵浦光稍慢但变化幅度较大的起因。从图 3 和图 4 看到, 虽然相位共轭光的变化不与泵浦光的同步, 自泵浦相位共轭镜在空间上仍可以对光波波前畸变进行补偿, 只不过在某些时刻相位共轭反射率较小。

通过对实验结果分析, 我们得到以下结论:

(1) 利用自泵浦相位共轭技术可以修复由非线性介质引起的非线性波前畸变。

(2) 尽管自泵浦相位共轭反射率在时间上有较大幅度的不规则起伏, 但自泵浦相位共轭镜仍可对光波波前畸变获得较理想的修复。

参 考 文 献

- 1 J. Feinberg. Self-pumped, continuous-wave phase conjugator using internal reflection. *Opt. Lett.*, 1982, 7(10): 486
- 2 L. Mager, C. Laquarroy, G. Pauliat *et al.*. High-quality self-pumped phase conjugation of nanosecond pulses at 532 nm using photorefractive BaTiO₃. *Opt. Lett.*, 1994, 19(19): 1508
- 3 M. Cronin-Golomb, B. Fischer, J. O. White *et al.*. Theory and applications of four-wave mixing in photorefractive media. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1984, QE-20(1): 12
- 4 余卫龙等. 热自聚焦诱导光折变非对称自散焦. *物理学报*. 待发表
- 5 S. D. Durbin, S. M. Arakelian, Y. R. Shen. Laser-induced diffraction rings from a nematic-liquid-crystal film. *Opt. Lett.*, 1981, 6(9): 411

Correction of Nonlinear Medium Induced Wave-front Distortions with a Self-pumped Phase-conjugate Mirror

He Suirong She Weilong Wang Hezhou Yu Zhenxin

(*Institute of Laser and Spectroscopy, Zhongshan University, Guangzhou 510275*)

Abstract It is found that the slow change with time of spatial self-phase modulation due to thermal self-focusing effect can be compensated with a self-pumped phase-conjugate mirror made of Cu-doped KNSBN crystal. The experimental results show that phase-conjugation fluctuates irregularly, but the wave-front distortion can be well corrected with the phase-conjugate mirror.

Key words self-pumped phase-conjugation, thermal self-focusing effect