

利用自泵浦相位共轭器对通过热晕池的扰动 激光束的实验研究*

过巴吉 汪家友 王立军 石顺祥

(西安电子科技大学技术物理系, 西安 710071)

岳正普 杨 英 邱服民 相成龙

(西南流体物理研究所, 成都 610003)

摘 要 利用光折变晶体的自泵浦相位共轭器(SPPC), 在稳态和动态条件下对通过扰动的热晕池的激光束质量进行观测。在动态实验研究中, 采用了所谓的“预置光栅”的方法。

关键词 自泵浦相位共轭器, 热晕。

1 引 言

关于激光束通过吸收流体时产生的所谓热晕、并导致光束质量变差, 这已是众所周知的物理现象。文献[1]中指出, 在热晕的情况下, 如激光束受到扰动, 就会由于受激瑞利散射, 使起伏愈来愈大, 在十分强的光束中的小起伏会增大几个量级。最终限制了光束的定向传输和功率的有效利用。因此, 吸收流体对通过激光束的影响, 以及如何改善上述条件下光束质量的研究, 是很有实际意义的。改善光束质量的一个方法是自适应光学中的所谓变形镜的方法, 但这种方法需要的庞杂的监视系统、计算机控制系统, 以及相应的伺服机构, 这无论从经济上、还是工程技术上, 都存在着很大的困难。文献[2]中报道了用 Ar^+ 激光以及四氯化碳加碘溶液构成的热晕池, 进行了热晕小尺度不稳定性的实验研究。本文是在文献[2]的基础上, 把光折变晶体的自泵浦相位共轭技术(一种产生相位共轭光的技术)^[3], 应用于激光束通过扰动的热晕池时, 在稳态和动态条件下, 对激光束质量改善情况进行实验观测。由于光折变晶体响应较慢, 在动态实验研究中, 利用本文所谓的“预置光栅”的方来实现。

2 实验系统

实验系统方框如图 1 所示。图中 Ar^+ 激光器输出波长为 488 nm 偏振光, TEM_{00} 模的最大输出功率达“瓦”级; 扰动源是两表面具有一定夹角的光学玻璃; 热晕是一个盛有 CCl_4 加碘溶液的容器。PR 是光折变晶体, 用作自泵浦相位共轭器, 以产生自泵浦相位共轭光。由于在实验中

* 中国工程物理研究院科学基金资助项目。

收稿日期: 1996 年 2 月 9 日

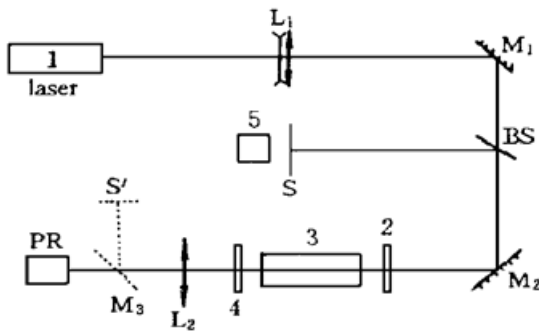


Fig. 1 Sketch of the experimental system

1: Ar⁺ laser; 2: disturbing source; 3: thermal blooming cell; 4: $\lambda/2$ plate; 5: CCD camera; L₁: collimating lens; L₂: convergent lens; M₁, M₂, M₃: reflecting mirror; BS: beam splitter; S, S': screen

发现偏振的 Ar⁺ 激光束通过热晕池后, 其偏振面发生了旋转, 旋转的程度与溶液浓度和液柱高度有关, 故需用 $\lambda/2$ 波片来调节激光束的偏振面, 使得入射到 PR 的激光束为 e 光。实验中所用的 PR 晶体是由中国科学院物理所提供的 BaTiO₃ 晶体 ($7.71 \times 5.87 \times 5.62 \text{ mm}^3$)。经聚焦透镜 L₂ 聚焦后, 入射到 PR 晶体的激光束直径约为 1 mm。调整光折变晶体的位置, 自泵浦相位共轭光沿入射光路相反的方向传播, 由分束器 BS 分出部分相位共轭光, 照射在屏 S 上, 用 CCD 摄像机和计算机数据采集系统记录激光光斑。

3 无热晕池时利用自泵浦相位共轭器前后激光束的变化情况

当在图 1 中去掉热晕池时, 调整 $\lambda/2$ 波片使得入射到 PR 晶体的激光束为 e 光。从理论上讲, 激光束通过上述扰动源时, 其作用相当于对激光束进行强度调制。因此, 通过扰动源后的激光束光斑应显示出明暗条纹。实验时, 先挡住 BaTiO₃ 晶体, 并在晶体与聚焦透镜 L₂ 之间加全反镜 M₃, 在 S' 处由 CCD 摄像机和计算机数据采集系统摄取反射光光斑, 其结果如图 2(a) 所示, 显示出上述规律。当去掉 M₃, 并使激光束入射 BaTiO₃ 晶体, 所产生的自泵浦相位共轭反射光沿入射光原路反方向返回, 在观察屏 S 处摄取相位共轭光光斑, 实验结果如图 2(b) 所示。照片清晰表明, 受到扰动源强度调制的激光束, 其相位共轭光再反向经过扰动源时, 仍显示为强度调制的光束, 图中水平方向较粗的条纹, 是由于相位共轭光经分束器前后两个反射面引起的干涉条纹。

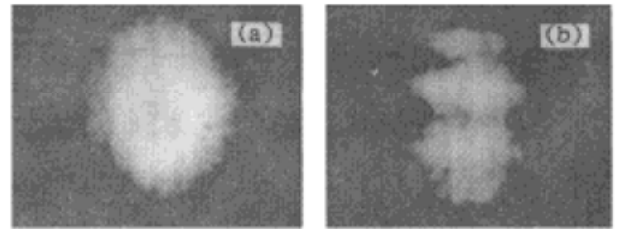


Fig. 2 Photograph of laser beam spot (a) before SPPC; (b) after SPPC and observed at the screen S.

4 有热晕池并在稳态条件下利用自泵浦相位共轭器前后激光束光斑的变化情况

当在图 1 中加上热晕池, 实验中入射到热晕池的激光束功率为 94 mW, 从热晕池输出的激光束功率为 6.5 mW, 激光束通过热晕池的透过率为 6.9%, 这表明热晕池中吸收流体对激光束具有较强的吸收。与上述步骤一样, 重新调节 $\lambda/2$ 波片, 使得入射到光折变晶体的激光束为 e 光。由于激光束通过热晕池时其光斑尺寸迅速变大, 与此同时, 光斑质量迅速变差, 最后达到稳定的状态。在稳态情况下, 从热晕池输出激光束光斑的照片如图 3(a) 所示。这里也同时给出在稳态情况下激光束通过(无扰动源时)热晕池的光斑照片, 如图 3(b) 所示。图 3(c) 是通过热晕池(有扰动源时)的激光束, 经 BaTiO₃ 晶体所产生的自泵浦相位共轭反射光按入射激光束原路反向返回, 并在观察屏 S 处摄取到相位共轭反射光的光斑照片。图 3(d) 是无扰动源时在屏 S 处摄取到的自泵浦相位共轭光的光斑照片。比较图 3(c) 和 3(a) 及图 3(d) 和 3

(b) 可见, 经 BaTiO_3 晶体的自泵浦相位共轭技术改善光束质量是明显的。在这里图 3(d) 中所用的分束器的一个面镀有增透膜, 从而消除了如图 2(b) 和 3(c) 中所显示的干涉效应。另外, 这里所用的扰动源也不同于获得图 2 中所用的。

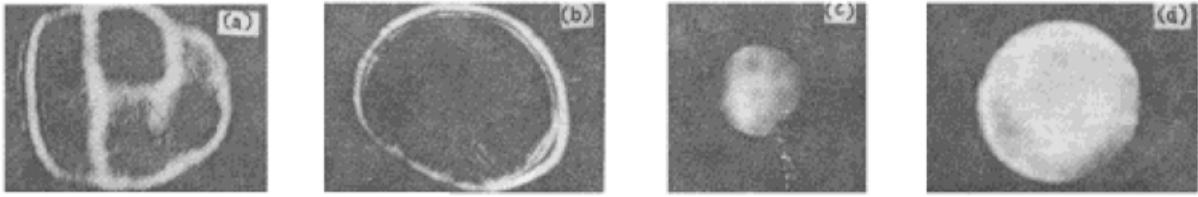


Fig. 3 Photograph of light spot on condition of static thermal-blooming: (a) and (b), with and without disturbed source observed after the thermal-blooming cell respectively; (c) and (d) with and without disturbed source for the SPPC beam observed at screen S respectively

5 有热晕池和动态条件下利用自泵浦相位共轭器前后激光束光斑的情况

激光束通过热晕池与吸收流体相互作用到达稳态所需的时间约为秒的量级, 在稳态条件下, 在光折变晶体中建立起来的与自泵浦相位共轭相应的相位光栅, 并不能给出入射激光束的瞬时自泵浦相位共轭光, 因为瞬态激光束的特性(特别是与吸收流体相互作用刚开始时的激光束特性)与稳态激光束的特性差别很大。只有在 PR 晶体内建立起与瞬态光束的自泵浦相位共轭相应的相位光栅, 才能实时产生相应的自泵浦相位共轭反射光。但是, 光折变晶体的响应时间是比较长的, 对本文所用的 BaTiO_3 晶体来说, 用 12 mW 的 Ar^+ 激光(TEM_{00} 模, 488 nm) 作用该晶体时, 用眼睛直接观察到出现自泵浦相位共轭光所需时间达“分”的量级, 因此, 光折变晶体不可能对通过热晕池的激光束作出实时响应。然而, 实际上正需要了解激光束通过热晕池初始阶段的动态特性。为此, 本文采用所谓预置光栅的方法, 即设法控制激光束重复地断、续照射光折变晶体, 例如, 利用电动机械快门控制激光束照射 BaTiO_3 的时间, 该快门启开的时间约为 100 ms, 在每照射 BaTiO_3 晶体 100 ms 后, 便停止照射 10 sec, 目的使热晕池内的吸收流体在与激光束相互作用后, 保证有足够长的时间, 使之恢复到原来无光照时的宏观状态。这样, 光折变晶体在经过一定时间的断、续照射后(所需时间的长短与激光束的强度有关), 便开始能用肉眼观察到自泵浦相位共轭光。随着激光束的继续照射, 最后自泵浦相位共轭光达到稳定值, 这时便在光折变晶体内建立了能反映 100 ms 时间内、实际与吸收流体相互作用的激光束所产生的自泵浦相位共轭相应的相位光栅。这种相位光栅建立之后, 它就能“瞬时”(实际应为 100 ms 内的平均效果)反映激光束与热晕池内吸收流体相互

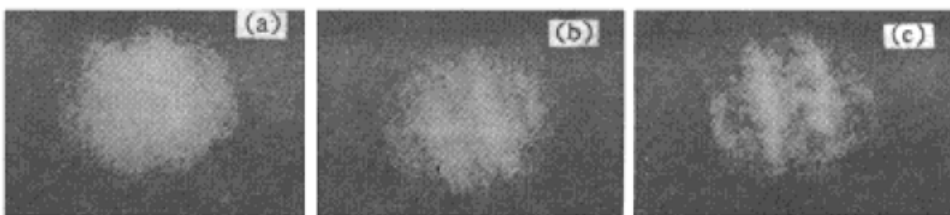


Fig. 4 Photograph of the laser beam from thermal blooming cell with disturbed source at $t = 60$ ms (a)、100 ms (b) and 140 ms (c)

作用对激光束的影响。图 4 给出了入射激光束经过 60 ms、100 ms 和 140 ms 时,从热晕池输出的激光束光斑的照片,图中明显显示出光斑的不稳定性。图 5 是在观察屏 S 处,在 $t = 60$ ms、100 ms 和 140 ms 时记录到的自泵浦相位共轭反射光的照片。可见,上述不稳定性的发展已被自泵浦相位共轭技术有所补偿,照片中清晰的条纹起源于扰动源的干涉条纹,照片中光斑偏离中心是由于光斑偏离了摄像机视场所致。



Fig. 5 The photograph of SPPC light beam observed on the screen S at $t = 60$ ms (a); 100 ms (b); and 140 ms (c)

结 论 从实验结果可以定性给出如下的基本规律:

1) 不管有无扰动源,也不管是动态还是静态情况,通过热晕池后的激光束的质量变差。
2) 在有扰动源的情况下,使输入热晕池的激光束受到一强度调制,因此从热晕池输出的激光束明显的是畸变的强度调制光。

3) 因为相位共轭光只能修正空间相位畸变,因而由于激光束通过吸收流体所引起的吸收损耗以及扰动源界面所引起的反射损耗,使得通过扰动源的强度调制的激光束,经自泵浦相位共轭器产生的相位共轭光,再次反向通过扰动源后,虽然空间相位畸变得到了补偿,但仍显示为强度调制的光束。

4) 由于目前所能提供的光折变晶体其响应速度较慢,如果入射光折变晶体的激光束在空间域是随时间变化的,为获得某一“瞬时”的相位共轭光,可采用“预置光栅”的方法。

参 考 文 献

- [1] T. J. Karr, Thermal blooming compensation instabilities. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1989, 6(7): 1038~1048
[2] 张 凯,施将君,陈津燕等,热晕小尺度不稳定性实验研究。强激光与粒子束,1993, 5(4): 501~ 526
[3] J. Feinberg, Self-pumped continuous-wave phase conjugator using internal reflection. *Opt. Lett.*, 1982, 7(10): 486~ 488

Experimental Study on Laser Beam Passed a Disturbed Thermal Blooming Cell Using SPPC

Guo Siji Wang Jiyou Wang Lijun Shi Sunxiang
(Department of Applied Physics, Xidian University, Xian 710071)
Yue Zhengpu Yang Ying Qiu Fumin Yan Chenglong
(Southwest Institute of Fluid Physics, Chengdu 610003)

(Received 9 February 1996)

Abstract The quality of a laser beam passed a disturbed thermal blooming cell is observed using self-pumped phase conjugator (SPPC) in the dynamic and stable state. In the experimental study of the dynamic state, the method so-called “preplaced grating” is used.

Key words SPPC, thermal blooming.