

腔外位相共轭镜对氩离子激光器 输出特性的影响

沈德元 王长青 邵宗书 陈焕矗 蒋民华
(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

摘 要 以掺铜的钾钠铌酸锶钡($\text{Cu} \cdot \text{KNSBN}$) 晶体作为猫式自泵浦位相共轭镜, 研究了位相共轭光的反馈对氩离子激光器的输出功率、阈值工作电流、纵模及横模特性的影响, 并对其机理进行了分析和讨论。

关键词 氩离子激光器, 位相共轭镜, 反馈。

光折变晶体位相共轭现象的研究是目前非线性光学中非常活跃的研究领域之一, 在这个领域中氩离子激光器是被人们广泛使用的一个重要泵浦源。当被研究的晶体产生位相共轭光并有一部分被反馈回腔内时它对氩离子激光器本身的输出特性会有哪些影响? McCarthy 和 Gay 等曾报道了利用位相共轭技术使氩离子激光器的噪声大幅度降低的实验结果^[1], 这对改善用氩离子激光器作泵浦源的染料及钛宝石激光器的噪声状况有重要意义。据文献[1]报道, 用位相共轭反馈技术可使氩离子激光器的高频噪声降低 46 dB, 但文章中没有对噪声降低的机理给出解释。研究位相共轭反馈光对激光器输出特性的影响及其机理不仅对改善激光器的性能有意义, 对光折变晶体的研究也有着非常重要的意义。本文研究了位相共轭光的反馈对氩离子激光器的输出功率、阈值工作电流、纵模及横模等特性的影响, 分析了位相共轭镜(PCM)影响氩离子激光器输出特性、降低高频噪声的机理。讨论了位相共轭反馈技术在激光二极管泵浦的固体激光器领域应用的可能性。

实验装置如图 1 所示。氩离子激光器(LEXEL 3500)输出的 514.5 nm 连续光束经一半波片将输出光波的偏振由竖直转为水平方向。以掺铜的钾钠铌酸锶钡晶体作为猫式自泵浦位相共轭镜, 晶体 C 轴水平放置以保证入射到晶体的泵浦光为 e 光。KNSBN 置于一可转动及平移的平台上以调整泵浦光束与晶体光轴的夹角和入射位置, 从而改变位相共轭镜位相共轭反射率的大小。位相共轭镜至氩离子激光器输出镜的距离 100 cm。分束镜“2”的透过率为 65%, 即由位相共轭镜反馈的位相共轭光中有 65% 将入射到氩离子激光器的输出镜上。

图 2 为有无位相共轭镜情况下氩离子激光器的输出功率与工作电流的关系, 此时位相共轭镜的位相共轭反射率为 35%。从图中可以看出, 两条曲线存在一个相交点。当激光器的工作电流低于相交点的电流时, 位相共轭镜的存在使激光器的输出功率增加, 并且越接近阈值

这种效果就越加明显。所以，位相共轭镜使氩离子激光器的阈值工作电流明显降低了；当工作电流大于这一值时，位相共轭镜使激光器的输出功率降低。输出功率越大，位相共轭镜降低功率的作用就越显著。图 2 中两曲线之间差别的大小与位相共轭镜的位相共轭反射率的大小有关，反射率越高差别就越大。若在无位相共轭镜的情况下使氩离子激光器工作在阈值状态，加上一反射率为 35% 的位相共轭镜后激光器输出为 4.8 mW，若改变泵浦光的入射角和位置使其共轭反射率为 50%，此时激光器输出功率可达 9 mW。当氩离子激光器的工作电流为 22 A 时，无位相共轭镜情况下激光器的输出功率为 350 mW，反射率为 35% 的位相共轭镜使激光器的输出功率降低了 41 mW，若反射率增加到 50% 则输出功率降低了 62 mW。氩离子激光器的输出功率之所以会发生改变，是由于加上位相共轭镜后相当于激光器输出镜的反射率增加，从而改变了激光器的输入—输出特性曲线。

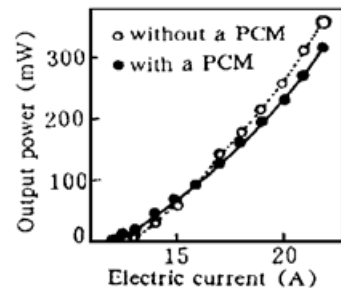
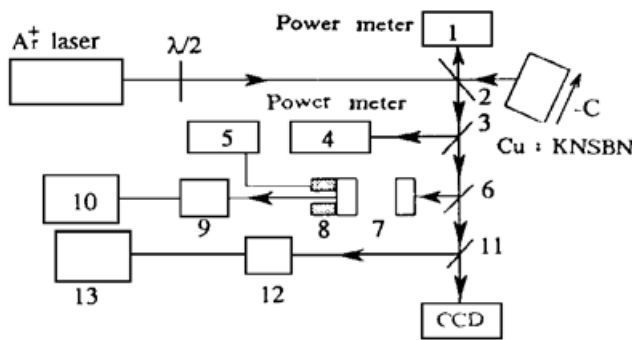


Fig. 1 Experimental configuration of the argon laser with the phase conjugating external cavity
2, 3, 6, 11-Beam splitter; 5-Zigzag wave generator; 7-F-P confocal cavity; 8-PZT 9, 12-Photodiode detector; 10-Oscilloscope; 13-Spectrum analyzer

Fig. 2 The output power at 514.5 nm as a function of the power supply of the argon laser. open circles: without PCM; filled squares: with a PCM which has a reflectivity of 35%

用 CCD 摄像系统研究了位相共轭镜对氩离子激光器光束能量在横向分布的影响。图 3 是氩离子激光器在其工作电流略高于阈值运转的情况下有无位相共轭镜时激光输出的强度分布。研究中发现，在晶体内部折射率梯度光栅建立过程中激光束能量的横向分布偏离高斯光束，并且能量在横向发生迅速转移。作者相信，这种能量转移是与晶体内部载流子的迁移过程密切相关的。当晶体内部折射率梯度光栅的建立过程完成后光束能量恢复了其高斯分布的特点，但其总能量发生了变化。用 CCD 摄像系统和针孔探测器一维扫描两种方法研究表明，位相共轭反馈光对激光束的发散角无明显影响。

用扫描共焦法布里-珀罗腔研究了位相共轭光的反馈对氩离子激光器纵模模式的影响。法布里-珀罗腔的自由光谱范围为 750 MHz，精细常数为 150。图 4 是氩离子激光器工作在阈值附近时有无位相共轭镜的情况下激光输出的纵模比较。由图 4 可知，在无位相共轭镜时氩离子激光器在阈值附近可实现单纵模运转；加上位相共轭镜后，激光器的纵模个数变为三个，由原来的单纵模变为多纵模运转。这可以理解为：激光器最先达到阈值而起振的纵模只有一个，所以此时激光输出为单纵模。加上位相共轭镜后相当于激光器输出镜的反射率增加了，使原来没有达到起振阈值的纵模获得足够的增益而起振，激光器变为多纵模运转。

随着输出功率的增加氩离子激光输出的纵模个数迅速增多，图 5(a) 给出了激光器输出功率为 150 mW 时的纵模结构照片。从照片上可以看出，此时纵模个数非常多并且无法区分；

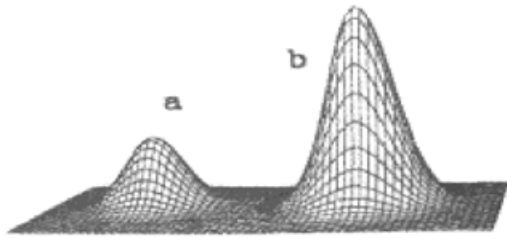


Fig. 3 Intensity profiles of the output beam of the argon laser operating just above its threshold. (a) without a phase conjugate mirror (b) with a phase conjugate mirror

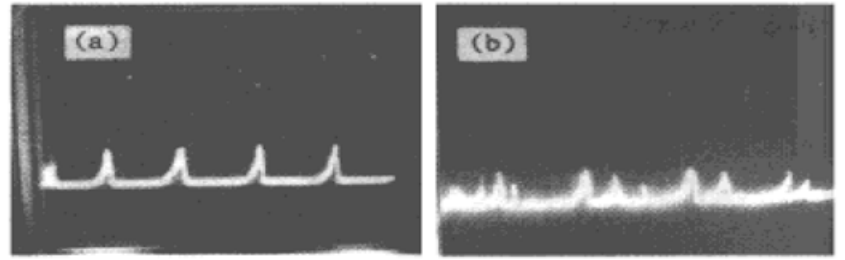


Fig. 4 Optical spectrum of single- and mutil-mode operation measured by using of a scanning confocal interferometer when the argon laser operating just above threshold. (a) without a PCM (b) with a PCM

图 5(b) 和图 5(c) 则显示, 加上位相共轭反射镜后激光输出的纵模个数大大地减少了。其中, 图 5(b) 和图 5(c) 对应位相共轭镜的位相共轭反射率分别为 35% 和 45%。可以看出, 位相共轭镜的反射率越高其降低纵模数的效果就越明显。在位相共轭镜距氩离子激光器输出镜分别为 50 cm 和 170 cm 的情况下重复上述实验, 发现位相共轭镜对激光器纵模的影响与其距输出镜的距离关系不大。研究还发现, 尽管位相共轭镜的反馈使氩离子输出激光所包含的纵模个数减少, 但纵模之间仍不可避免地存在着竞争, 有一定的不稳定性。位相共轭光的反馈使激光输出纵模个数减少可能由于位相共轭镜对泵浦光中不同频率成分的位相共轭反射率不同造成的。当某一频率的反馈占优势时, 其位相共轭光进入谐振腔经过放大输出后再次成为泵浦光, 如此循环之后将有部分频率成分被抑制, 激光器的纵模个数就明显减少了。有关位相共轭反馈改变激光器纵模数机理的进一步研究, 目前正在进行中。

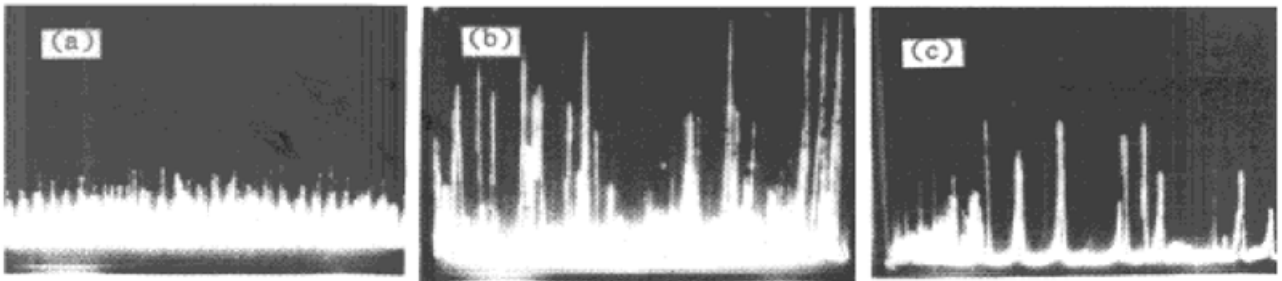


Fig. 5 Optical spectrum of mutil-mode operation (a) without a PCM (Vertical 5 mV/division), (b) with a PCM which has a reflectivity of 35% (Vertical 5 mV/division), (c) with a PCM which has a reflectivity of 45% (Vertical 10 mV/division)

激光器不同纵模之间的拍频形成了高频噪声, 由于位相共轭光的反馈可以使激光器的纵模个数大大减少, 所以必然同时减小甚至消除激光器不同纵模之间拍频而引起的高频噪声。文献[1]报道的用一反射率为 35% 的位相共轭镜使氩离子激光器的高频噪声降低了 46 dB, 作者认为, 其实质是因为位相共轭光的反馈减少了激光器的纵模个数。

用 HP 3585A 型频谱分析仪(20 Hz~ 40 MHz)和快速光二极管探测器研究了位相共轭镜的位相共轭反馈对激光器噪声谱的影响。图 6 可以看出, 当氩离子激光器的输出功率为~ 150 mW 时其噪声频率谱在~ 600 kHz 处降至本底噪声。加上一反射率 33% 的位相共轭镜后其噪声分布发生了明显改变。研究发现, 在某些反馈量下位相共轭镜对激光器的噪声谱无影响; 如位相共轭光的反馈量不合适反而会使激光器频率在几千赫兹附近的噪声增加。

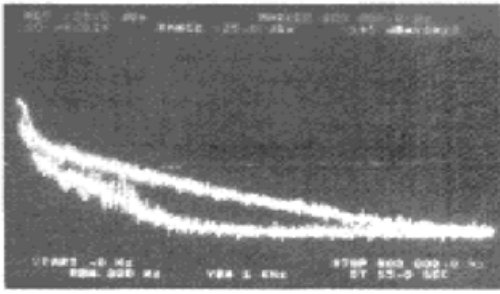


Fig. 6 Signals from photodiode detector "12" as seen on a spectrum analyzer with a resolution bandwidth of 300 Hz without PCM (upper trace) and with a PCM which has a reflectivity of 33% (lower trace) (vertical scale, 10 dB/division; horizontal scale, 80 kHz/division)

位相共轭镜的上述性质可望用于改善激光二极管泵浦的小型固体激光器的输出特性。作者知道,光栅反馈系统是压缩激光二极管线宽、进行波长选择及稳定的有效手段^[2, 3], Kitaoka 等用这种技术使激光二极管泵浦的腔内倍频绿光激光器在激光输出的效率、稳定性及噪声等方面得到了极大的改善^[4]。光折变晶体的位相共轭反馈是通过在晶体内部建立折射率梯度光栅来实现的,用位相共轭镜替代光栅反馈不仅能改善激光二极管输出光束特性而且还有操作方便、能量损失小等特点^[5]。因此,光折变晶体的位相共轭反馈技术对于改善激光二极管泵浦的固体激光的泵浦源有重要意义。另外,在 $1.06 \mu\text{m}$ 附近响应的位相共轭镜可以减少激光二极管泵浦腔内倍频激光器中基频光的纵模个数、降低由于纵模竞争引起的绿光噪声。

结 论 位相共轭镜可以改变氩离子激光器的输出功率、降低其阈值电流。除了阈值附近的情况外,位相共轭反馈可以使激光器的纵模个数大大减少并降低激光输出的噪声。

感谢张景文博士、张良民博士和卢建仁硕士对本研究工作所提供的帮助。

参 考 文 献

- [1] N. McCarthy, D. Gay, Noise reduction in an argon laser with a phase-conjugating external cavity. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(13): 1004~ 1006
- [2] Y. Hori, F. Sogawa, H. Asakura *et al.*, Fabrication of focusing grating mirror by electron beam lithography. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(17): 2522~ 2526
- [3] H. Sato, K. Itoh, M. Fukai *et al.*, Single longitudinal mode control of semiconductor lasers by rectangular conical diffractor system for wavelength-division-multiplexing transmission. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**(3): 328~ 332
- [4] Y. Kitaoka, S. Ohmori, K. Yamamoto *et al.*, Stable and efficient green light generation by intracavity frequency doubling of Nd:YVO₄ lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **63**(3): 299~ 301
- [5] S. MacCormack, J. Feinberg, Self-locking of a laser diode bar using off-axis phase conjugation. CLEO'94, Paper CTuO₁: 153~ 153

Effects of Phase Conjugate Mirror on Output Beam of an Argon Laser

Shen Deyuan Wang Changqing Shao Zongshu

Chen Huanchu Jinag Minhua

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

(Received 31 January 1996; revised 29 February 1996)

Abstract The reinjection of a small fraction of output beam back into laser cavity by a phase conjugate mirror is shown to improve the beam quality of an argon laser efficiently. The output power of argon laser is changed and the number of longitudinal mode is reduced greatly by the reinjection of a external cavity PCM.

Key words argon laser, phase conjugate mirror, reinjection.