

文章编号: 0253-2239(2004)12-1663-4

YAG 复合型相位共轭腔对改善光束模式的研究*

屈 军^{1,2} 张为俊¹ 高晓明¹ 刘安玲¹ 黄 伟¹ 裴世鑫¹ 杨 颀¹
李伟正¹ 邵 杰¹

(¹ 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)
(² 芜湖师范专科学校物理系, 芜湖 241008)

摘要: 如何降低受激布里渊散射(SBS)相位共轭腔的启动阈值以及如何提高输出光束的质量一直是人们关心的课题。报道了在 YAG 激光器上运行一种复合型受激布里渊散射相位共轭激光腔,该腔能够输出模式优良的光束。最大能够输出 13.35 mJ 的单纵模,脉冲半高宽度约为 15 ns,输出光束的发散角为 0.6 mrad。实验给出了不同参量条件下的输出脉宽、能量及远场光斑分布和干涉环的情况,表明利用复合型相位共轭腔是改善光束模式的一种简单有效的方法。

关键词: 非线性光学; 受激布里渊散射; 复合腔; 相位共轭; 模式

中图分类号: O437.2 文献标识码: A

The Investigation of Improving Beam's Mode Quality Compound YAG Phase-Conjugate Resonator

Qu Jun^{1,2} Zhang Weijun¹ Gao Xiaoming¹ Liu Anling¹ Huang Wei¹
Pei Shixin¹ Yang Yong¹ Li Weizheng¹ Shao Jie¹

(¹ Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)
(² Department of Physics, Wuhu Normal College, Wuhu 241008)

(Received 10 February 2004; revised 31 March 2004)

Abstract: How to decrease the threshold and how to improve the quality of output beam of stimulated Brillouin scattering (SBS) phase-conjugation cavity is a problem. The output characteristic of compound phase-conjugate cavity with good beam mode is reported. The output energy of single pulse is 13.35 mJ with 15 ns of widths, and the divergence angle is 0.6 mrad. The results of pulse widths and output energies and beam profiles are given, indicating that using the compound cavity is a useful and easy method to improve the quality of beam mode.

Key words: nonlinear optics; stimulated Brillouin scattering; compound cavity; phase-conjugation; mode

1 引 言

受激布里渊散射(SBS)相位共轭技术在改善激光光束方面具有十分重要的应用价值,因而得到了广泛而深入的研究^[1~3]。普通受激布里渊散射相位共轭腔由于启动阈值一般都比较高而且输出能量较

低,还会出现相位跃变现象^[4],严重影响了它的实际应用。如何降低受激布里渊散射相位共轭腔的启动阈值以及如何提高输出光束的质量和稳定性一直是人们关心的课题^[5,6]。就降低启动阈值而言,国外采用了光学负反馈^[7]、多次聚焦池^[8]、环形光路^[9]和布里渊环形谐振腔^[10]等方法,最大可以将阈值功率降低至 1/8~1/10 倍,还有利用新型内锥度光纤^[11]的,将受激布里渊散射阈值降低到 15 μ J。但是如何利用相位共轭腔来改善输出光束的模式,却很少有

* 国家 863 计划激光技术创新基金(20030509)资助课题。

E-mail: qujun@aiofm.ac.cn

收稿日期:2004-02-10;收到修改稿日期:2004-03-31

讨论,我们在 YAG 激光器上设计并运行了复合型受激布里渊散射相位共轭腔。实验观测到这种新型的共轭腔能够产生单纵模(由于实验装置中加入了小孔光阑),输出光束质量和模式都很优良。

2 实验装置与理论

我们设计的复合型 YAG 相位共轭谐振腔如图 1 所示。

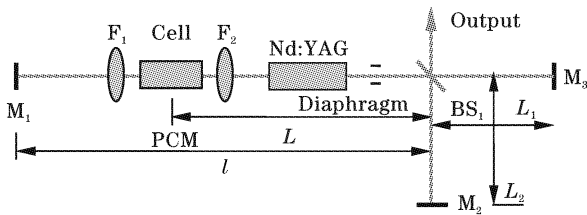


Fig. 1 Experimental setup

M_1 、 M_2 、 M_3 皆为中心波长为 $1.06 \mu\text{m}$ 的全反射镜, F_1 、 F_2 为焦距相等的聚焦透镜, Nd:YAG 激光棒长约 100 mm 、口径约 7 mm , 氙灯抽运。BS₁ 为中心频率 $1.06 \mu\text{m}$ 的 45° 半透半反分束镜。复合型谐振腔在自由运转条件下, 静态激光的谐振路径有两路, 即 $M_1 \rightarrow \text{SBS-cell} \rightarrow \text{YAG} \rightarrow \text{BS}_1$ (透射) $\rightarrow M_3$ 和 $M_1 \rightarrow \text{SBS-cell} \rightarrow \text{YAG} \rightarrow \text{BS}_1$ (反射) $\rightarrow M_2$, 它们在途经 BS₁ 时分别透射和反射部分激光, 作为复合型起始腔的耦合输出。图中 M_2 和 M_3 以 BS₁ 为对称面放置, 两路谐振光的光路总长相同, 两透镜在受激布里渊散射池中点共焦。当腔内静态激光强度达到一定阈值时, 两路静态激光在受激布里渊散射池中产生前后向的相位共轭散射光, 此时受激布里渊散射池中点便成为相位共轭镜 M_{pc} 。于是, 复合型起始腔即刻转变为复合型相位共轭腔, 它也是由两个共轭腔复合而成, 它们的谐振光路分别为: M_{pc} (共轭反射) $\rightarrow \text{YAG} \rightarrow \text{BS}_1$ (透射) $\rightarrow M_3$ 和 M_{pc} (共轭反射) $\rightarrow \text{YAG} \rightarrow \text{BS}_1$ (反射) $\rightarrow M_2$, 它们在第二次途经 BS₁ 时分别反射和透射部分激光, 作为复合型相位共轭腔的耦合输出。在这个过程初期, 由于腔内的衍射、受激布里渊散射池及其它因素造成的损耗, 使初始腔的 Q 值较低; 当光强增长到超过受激布里渊散射阈值时, 由于反射率的突增、腔长的减小以及对位相畸变的抵消造成腔内 Q 值突增。受激布里渊散射盒在这时既起了腔镜的作用, 又起了 Q 开关的作用。图中光阑起到选横模的作用, 复合腔起到选纵模的作用。因为实验装置图实质上是一个迈克耳孙干涉仪式复合腔, 它由迈克耳孙干涉仪取代谐振腔

的一个反射镜构成。该腔可以看成由两个子腔组合而成, 全反射镜 M_1 和 M_2 组成一子腔, 腔长为 $l+L_2$, 另一个子腔由全反射镜 M_1 和 M_3 组成, 腔长为 $l+L_1$ 。当形成相位共轭复合腔时, 腔长各自缩短为 $L+L_2$ 和 $L+L_1$, 各自的谐振频率为

$$\begin{cases} \nu_{1i} = \frac{c}{2(L+L_2)}q_i, \\ \nu_{2j} = \frac{c}{2(L+L_1)}q_j, \end{cases} \quad (1)$$

因此, 激光器的谐振频率必须同时满足上面两个条件, 即

$$\frac{c}{2(L+L_2)}q_i = \frac{c}{2(L+L_1)}q_j, \quad (2)$$

而且第一个子腔的光束经过 N 个频率间隔正好和第二个子腔的光束经过 $N+1$ 个频率间隔后的频率再次相等, 由此可以得到复合腔的频率间隔为

$$\Delta\nu = \frac{c}{2(L_2-L_1)}, \quad (3)$$

由(3)式可以看出, 适当选择 L_1 和 L_2 , 可以使复合腔的频率间隔足够大, 即两相邻纵模的间隔足够大, 与增益线宽相比拟时, 即可实现单纵模运转, 就能从输出光束的远场干涉环表现出来。输出的脉冲波形用 TDS220 数字示波器采集, 用 CCD 拍摄远场 (3.0 m) 的光斑, 用 R-938 型能量计测量输出能量。

3 实验结果与分析

实验中, 我们用焦距为 5.5 cm 的聚焦透镜, 将光束聚焦到 10 cm 长的受激布里渊散射池中, 介质为丙酮进行实验。实验中的小孔光阑的直径约为 1.5 mm , 仔细调节 M_2 与 M_3 的位置, 结果发现抽运电压 900 V 时, ns 量级单脉冲输出稳定, 此时形成的相位共轭腔长为 70 cm 。输出脉冲平滑, 宽度约为 15 ns , 此时输出的能量约为 10.90 mJ , 随抽运电压的升高, 输出能量在增加。当挡住 M_2 或者 M_3 时, 同样也有稳定的单峰输出, 其输出宽度也约为 20 ns 左右(图 2)。输出的能量在 9.72 mJ 到 10.78 mJ 之间(图 3)。此外, 我们还研究了将复合腔的小孔光阑去掉, 当 M_2 相对 BS₁ 与 M_3 相对 BS₁ 对称与不对称时候的情况, 实验发现, 当 M_2 与 M_3 相对 BS₁ 对称时, 抽运电压为 600 V 时, 就有稳定的单峰输出, 输出能量较高, 随抽运电压的升高, 输出能量增大, 当抽运电压过高时, 由于出现光学击穿现象, 会造成输出能量的波动; 当 M_2 与 M_3 相对 BS₁ 不对称时, 抽运电压为 700 V 时, 也有稳定的单峰出

现,输出能量见图 4,可见该种腔型对于设计较低启动阈值的相位共轭腔同样具有很好的指导意义,加

上小孔后,形成复合腔的输出能量虽然下降了,但是光束的模式质量却提高了。

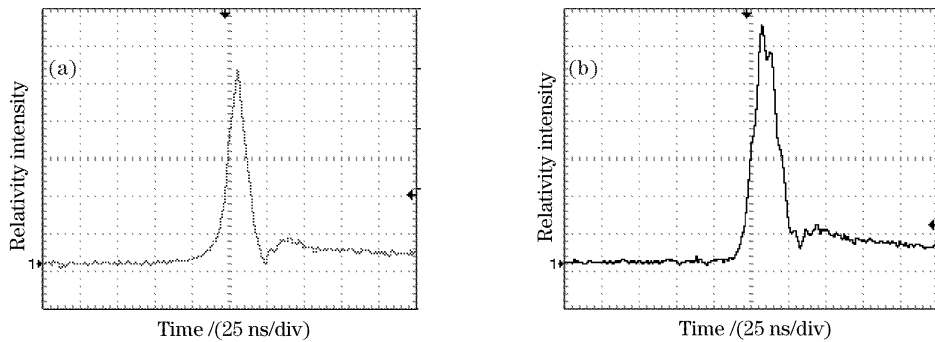


Fig. 2 The widths of the output pulse (pump voltage is 900 V). (a) Not blocked, (b) blocked M_3

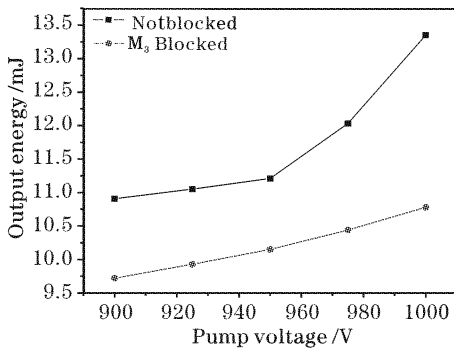


Fig. 3 The relationship of pump voltage and output energy

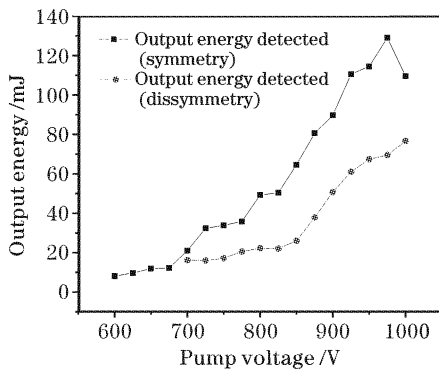


Fig. 4 The output energy of compound cavity as the M_2 and M_3 symmetry and dissymmetry to the BS_1 (without diaphragm)

此外,我们还用 CCD 摄下了抽运电压为 900 V 时挡 M_3 或者不挡时的远场光斑,并将它们转换为三维的能量分布图形,见图 5,可见,当不挡住 M_3 时复合腔输出远场的光斑质量较为优良。同时我们把输出光束进行倍频、扩束后,经过法布里-珀罗(F-P)干涉和焦距为 2 m 的透镜聚焦,在其焦平面上用 CCD 拍摄了它的干涉环,记录了该复合腔调节好挡 M_3 与不挡 M_3 时的远场干涉环,可见,当复合腔调节好时,

输出光束的模式为单模场。而当 M_3 被挡住时,由于输出的模式(纵模)很多,干涉环非常模糊(图 6)。可见,复合腔确实能够起到挑选单纵模的效果。此时测量光束的发散角,发现它不大于 0.6 mrad。

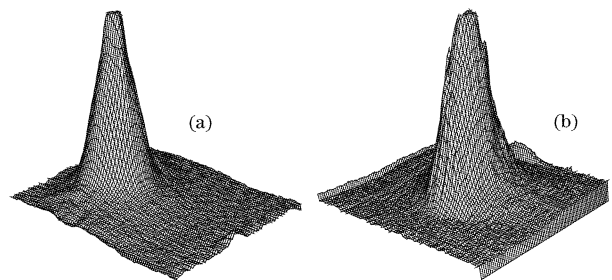


Fig. 5 The profile of far-field spots. (a) Not blocked, (b) blocked M_3

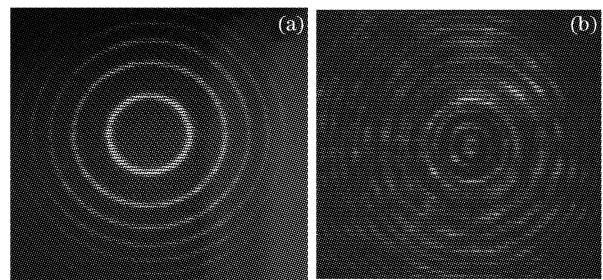


Fig. 6 The interference ring of far field. (a) not blocked, (b) Blocked M_3

小结 复合型相位共轭腔是一种新型的具有选单纵模的相位共轭腔,它最高能输出稳定的大约 13.35 mJ,脉宽为 15 ns 的自调 Q 脉冲。输出光束发散角很小,约为 0.6 mrad。如何进一步提高复合腔的输出单模模式的稳定性,我们仍在研究之中。

参 考 文 献

1 Wang Yuezhu, Ju Youlun, Yao Baoquan *et al.*. Laser propagation in atmosphere with stimulated Brillouin

- scattering. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(12): 1493~1497 (in Chinese)
- 2 Ge Chuanwen, Zhang Weijun, Chen Changshui *et al.*. Experimental investigation of broadband laser's SBS based on frequency-band-dispersing method. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(12): 1454~1457 (in Chinese)
- 3 Ding Yingchun, Lu Zhiwei, He Weiming. Influence of encounter time on Brillouin amplification. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(7): 784~788 (in Chinese)
- 4 Yang Ailing, Yang Jingguo, Ding Lei *et al.*. Phase jump in the process of stimulated Brillouin scattering. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(8): 732~734 (in Chinese)
- 5 Qu Jun, Zhang Weijun, Gao Xiaoming. The investigation of colliding-enhanced YAG phase-conjugate ring resonator. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2004, **24**(4): 495~498 (in Chinese)
- 6 Wang Qi, Yu Xin, Wang Yuezhu *et al.*. Improvement of beam quality of polarex cavity with SBS. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(10): 1255~1258 (in Chinese)
- 7 Wong G K N, Damzen M J. Investigations of optical feedback used to enhance stimulated scattering. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1990, **26**(1): 139~148
- 8 Duignan M T, Feldman B J, Whitney W T. Threshold reduction for stimulated Brillouin scattering using a multipass Herriott cell. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1992, **9**(4): 548~559
- 9 Scott A M, Whitney W T, Duignan M T. Stimulated Brillouin scattering and loop threshold reduction with a 2.1 μm Cr, Tm, Ho:YAG laser. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1994, **11**(10): 2079~2087
- 10 Scott A M, Whitney W T. Characteristics of a Brillouin ring resonator used for phase conjugation at 2.1 μm . *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1995, **12**(9): 1634~1641
- 11 Axel Heuer, Ralf Menzel. Phase-conjugating stimulated Brillouin scattering mirror for low powers and reflectivities above 90% in an internally tapered optical fiber. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(11): 834~836