

双级受激布里渊散射相位共轭镜 压缩 YAG 振荡器调 Q 脉宽*

何伟明 吕志伟 王 骥 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

摘 要 采用双级布里渊散射相位共轭镜, 能提高相位共轭保真度稳定性, 将散射光反馈进入 YAG 振荡器腔内, 由偏振棱镜耦合输出的散射激光, 具有短脉冲、可调谐、优质光的特点。报道了脉冲压缩机理及影响压缩脉冲宽度的因素, 获得了 2.5 ns、9 mJ 的散射激光输出。

关键词 受激布里渊散射, 相位共轭镜。

1 引 言

由于受激布里渊散射(SBS)具有相位共轭特性, 常被用作相位共轭镜(PC)应用在振荡器或放大器中, 以改善固体激光器的光束质量^[1, 2]。有关受激布里渊散射相位共轭镜提高振荡器光束质量, 改善稳定性以及降低光束相位和振幅的起伏有许多理论^[3~5]和实验^[6~9]的报道, 这些工作均研究使用单一受激布里渊散射池的相位共轭镜。有报道^[10, 11]表明, 当受激布里渊散射泵浦功率密度超过 10 倍阈值时, 相位共轭保真度存在较大的起伏, 非常不稳定, 而这对激光工程应用是不希望的, 多级受激布里渊散射池串接组成复合相位共轭镜^[12, 13], 可改善受激布里渊散射相位保真度稳定性, 相位共轭镜能承受较高的泵浦功率。由于振荡池与放大池的间距可调, 对脉宽的压缩效果也不同, 本文采用了受激布里渊散射振放结构, 来压缩调 Q YAG 振荡器脉宽, 并对脉宽实现了调谐, 获得了空间强度分布较均匀的近衍射极限优质光束输出。

2 实验光路和分析

图 1 为实验光路, 平面全反镜 1 和未镀膜玻璃平行平片(反射率 8%)构成谐振腔, 由染料片 2 调 Q, 3 为起偏棱镜, 小孔 5 的直径为 1.6 mm, 输出调 Q 脉宽为 8 ns, 能量为 12 mJ, 垂直偏振经四分之一波片成圆偏振光, 进入双级受激布里渊散射池相位共轭镜, 它们由受激布里渊散射振荡器 10、聚焦透镜 9 和放大池 8 组成, 放大池 8 长 300 mm, 透镜 9 的焦距为 40 mm, 由相位共轭镜返回的受激布里渊散射激光反馈进入腔内, 此时为水平偏振, 经 YAG 介质放大后, 由偏振棱镜耦合输出。

* 国家科委 863 高科技项目和国家自然科学基金资助课题。

收稿日期:1995 年 3 月 20 日; 收到修改稿日期:1995 年 6 月 12 日

输出的受激布里渊散射激光受到三种机制的压缩。

1) YAG 振荡器输出激光经受激布里渊散射振荡器, 由于采用短焦距透镜, 受激布里渊散射激光前沿变陡。2) 受激布里渊散射激光进入受激布里渊散射放大池与入射脉冲碰撞, 产生受激布里渊散射放大, 从而脉冲前沿得到放大, 后沿由于能量被抽空而减弱, 使得能量从后沿转移到前沿, 起到压缩后沿的作用。由于放大池较长, 为得到有效的放大, 要求选用的介质对 $1.06 \mu\text{m}$ 波长的吸收尽可能的小, 且有较高的增益。3) 受激布里渊散射激光反馈进入腔内, 受到 YAG 激光介质的放大, 考虑到受激布里渊散射的阈值效应, 受激布里渊散射的产生有一定的延迟时间 Δt , 因而调 Q 脉冲输出到受激布里渊散射反馈到 YAG 介质端面的渡越时间为 $\Delta t + 2L/C$, (C 为光速), 根据实验的 L 值, 其渡越时间约为 10 ns , 谐振腔本身调 Q 脉宽为 8 ns , 所以当受激布里渊散射脉冲前沿反馈进入腔内时, 此时振荡器调 Q 脉冲已处于下降后沿的一半左右, 由于受激布里渊散射反馈脉冲前沿已得到加强, 且共轭镜的总体受激布里渊散射转换效率比谐振腔输出平片的反射率大 7 倍左右, 因而受激布里渊散射反馈脉冲强度较此时腔内振荡器强度大, 从而 YAG 介质上能级粒子数被抽空, 使振荡脉冲后沿减弱, 也进一步压缩了后沿。

存在两个参数可以改变脉冲压缩的效果。1) 受激布里渊散射振荡器中透镜 9 的焦点至放大池 8 的端面的距离 L_1 。调 Q 脉冲经放大池 8 进入振荡池 10, 从受激布里渊散射的产生到受激布里渊散射脉冲前沿往后传输到达放大池端面的时间为 L_1/C , 而此间调 Q 脉冲继续往前传输, 当受激布里渊散射进入放大池得到泵浦光的放大, 从而开始对泵浦光抽空, 由于光束的相向传输, 有 $2L_1/C$ 的一段泵浦激光是不被受激布里渊散射抽空的, 从而使得双级受激布里渊散射共轭镜产生的受激布里渊散射脉冲头部有一定的宽度, 并随 L_1 的增大而变宽。2) 透镜 9 的焦点至 YAG 介质表面的距离 L , 当受激布里渊散射激光反馈进入腔内, 到达 YAG 介质端面时, 才开始抽空介质上能级粒子数, 影响振荡器本身激光的输出, 所以 L 的值决定脉冲后沿被进一步压缩的起始位置。

3 实验结果与讨论

实验选取 CS_2 作为受激布里渊散射介质, 其增益很高, 且对 $1.06 \mu\text{m}$ 激光的吸收系数较小, 测得约为 0.003 cm^{-1} 。为使脉宽得到有效的压缩, 放大池对振荡池产生的受激布里渊散射必须有足够的放大, 实验发现当放大池靠近振荡器输出端时, 其放大最为有效, 这是由于靠近振荡器输出端, 从激光束的近场场图来看, 空间强度分布较均匀, 这对受激布里渊散射的放大是有利的, 实验测得双级受激布里渊散射池的转换效率达 56% 。综合考虑上述影响脉宽压缩的因素以及光学元件的排布, 实验选取 $L_2 = 400 \text{ mm}$ 。图 2(a)~图 2(d) 为不同 L_1 下测得的由偏振棱镜耦合输出的受激散射激光脉宽, 从图中看到脉冲头部确实随 L_1 的增大而变宽, 因而实现了脉宽从 $2.5 \sim 8 \text{ ns}$ 连续可调, 其输出能量为 9 mJ 。 L_1 的进一步变小, 脉宽压缩效果变化不再明显; L_1 进一步增大, 导致受激布里渊散射脉冲前沿在放大池中和泵浦脉冲后沿的尾部碰撞, 使得受激布里渊散射得不到有效的放大, 从而也起不到压缩脉冲的作用。图 2(e) 为在 2(a) 的条件下, 撤去受激布里渊散射放大池所测的波形, 可见受激布里渊散射放大

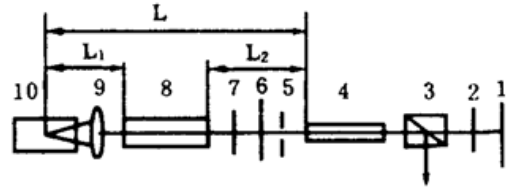


Fig. 1 Experimental scheme

1, 6 cavity mirror, 2 dye film, 3 polarizer, 4 YAG rod, 5 aperture, 7 quarter-wave plate, 8 SBS amplifiers, 9 lenses, 10 SBS oscillators

池对脉冲后沿的压缩效果是非常明显的。与泵浦脉冲(图 2(f))相比,受激布里渊散射脉冲前沿确已变陡。实验还在不同 L_2 下,调节 L_1 观测其脉冲压缩情况,实验发现也有同样的压缩规律,只是最短脉冲的宽度随 L_2 增大而稍有变宽,而输出能量略为偏小。如 $L_2 = 700$ mm,在 $L_1 = 100$ mm 时获得耦合输出的受激布里渊散射脉冲宽度为 4 ns,输出能量为 8.5 mJ。

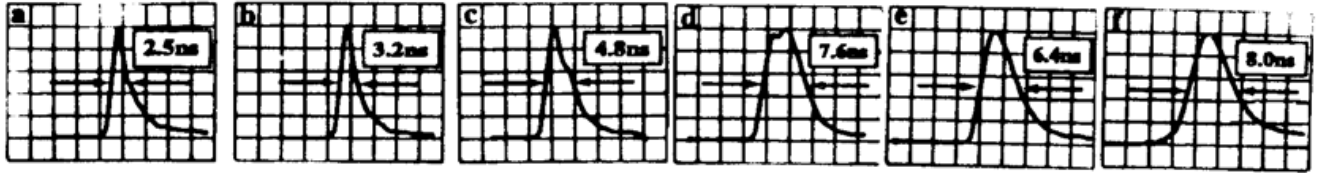


Fig. 2 Experimental compressed output pulses

(a) $L_1 = 100$ mm, (b) $L_1 = 300$ mm, (c) $L_1 = 600$ mm, (d) $L_1 = 1200$ mm, (e) as in (a) but without SBS amplifiers, (f) Q-Switched pulse without PC

由于染料片调 Q 输出脉冲有时会出现脉冲调制,提高灯的注入能量,减小染料片的透过率,可以减少调制脉冲出现的几率。实验发现,只要泵浦脉冲的波形是光滑的,这种振荡系统产生的受激布里渊散射脉冲波形是比较稳定的,尤其当振荡系统靠近振荡器输出端时,稳定性最好,这是由于振荡器输出近场光束空间强度分布较均匀,受激布里渊散射振荡池中焦点处的强度分布也较均匀,从而产生的受激布里渊散射稳定。实验对每一种条件连续多次观察脉冲压缩波形,约有 80% 的受激布里渊散射脉冲其波形再现性较好,压缩脉宽基本相同,而其余的受激布里渊散射脉冲,可能是由于振荡器的调 Q 波形出现调制,使得其波形不稳定,而实验观测到的不稳定的受激布里渊散射波形也确有明显的调制。用 ED200 能量计、Tek7834 存储示波器测定压缩脉冲的能量稳定性。以连续观测 13 个脉冲为一组,进行多次观测。首先测量了振荡器的输出能量起伏为 12%,对于受激布里渊散射输出脉冲在 13 个脉冲中基本有 11 个脉冲比较稳定,其能量起伏为 7%,而另两个脉冲超过平均能量有 21%,估计这两个脉冲可能是由于振荡器调 Q 波形出现调制,而使得产生的受激布里渊散射激光不稳定。

实验换用丙酮作介质,结果尽管丙酮的声子寿命不到二硫化碳的四分之一,但压缩效果与二硫化碳几乎相同,只是输出的受激布里渊散射激光能量偏小,为 6.5 mJ,这是丙酮的受激布里渊散射增益偏低所致。

通过双级受激布里渊散射共轭镜产生的散射激光,光束质量有所改善。用列阵相机测得其发散角为 1.4 mrad,达到 3 倍衍射极限,而改变振荡器小孔大小,使小孔直径为 2.5 mm,输出受激布里渊散射激光的发散角基本不变,但振荡器输出由于存在多模而使发散角变大。另外输出散射激光的光束空间强度分布较振荡器的输出光束更为均匀。

所以 YAG 调 Q 振荡器采用双级受激布里渊散射池的相位共轭镜反馈输出激光的设计,使输出散射激光具有了以下优点:

1) 短脉冲:可以获得 2~3 ns 的短脉冲,与普克耳盒削波相比,其调整简易,造价极低,且确保高的信噪比。

2) 可调谐:脉宽从 2.5 ns 至振荡器输出脉宽内可连续调谐,操作时,仅需移动受激布里渊散射振荡池的位置,调整方便,且不会改变输出散射激光的方向。

3) 优质光:平行平面腔振荡器输出的激光模式对腔内小孔是很敏感的,稍微偏大就会出多模。而通过相位共轭镜后,可以抑制弱的高次模,输出光束保持基模,所以散射激光输出

光束质量稳定。

由于受激布里渊散射脉冲形状稳定性很大程度上取决于泵浦脉冲的波形光滑性, 所以采用单纵模振荡器将能提高受激布里渊散射脉冲压缩波形的稳定性。

参 考 文 献

- [1] D. A. Rockwell, A review on phase-conjugate solid-state lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **QE-24**(6) : 1124~1140
- [2] D. M. Pepper, Nonlinear optical phase conjugation. *Opt. Engng.*, 1982, **21**(1) : 155~189
- [3] J. Au. Yeung, D. Fekete, D. M. Pepper *et al.*, A theoretical and experimental investigation of the modes of optical resonators with phase-conjugate mirrors. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1979, **QE-15**(10) : 1180~1188
- [4] P. A. Belanger, A. Harddy, A. E. Siegman, Resonant modes of optical cavities with phase conjugate mirror. *Appl. Opt.*, 1980, **19**(3) : 602~609
- [5] A. Harddy, S. Hochhauser, Higher-order modes of phase conjugate resonators. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(12) : 2330~2338
- [6] I. M. Beldyugin, B. Ya. Zeldovich, M. V. Zolotsrev *et al.*, Lasers with wavefront-reversing mirrors (review). *Sov. J. Quant. Electron.*, 1985, **15**(8) : 1583~1600
- [7] V. I. Bezrodni, F. I. Ibragimov, V. I. Kislenco *et al.*, Mechanism of laser Q-switching by intracavity stimulated scattering. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1985, **15**(2) : 382~383
- [8] N. N. Ilichev, A. A. Malyutin, P. P. Pashinin, Laser with diffraction-limited divergence and Q-switching by stimulated Brillouin scattering. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1982, **12**(11) : 1161~1164
- [9] S. Seidel, G. Phillipps, Pulse lengthening by intracavity stimulated Brillouin scattering in a Q-switched, phase-conjugated Nd:YAG laser oscillator. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(36) : 7408~7415
- [10] J. J. Ottusch, D. A. Rockwell, in Conference on Lasers and Electro-Optics, *OSA Technical Digest Series*, Optics Society of America, Washington, D. C., 1989, **11** : M15
- [11] J. J. Ottusch, D. A. Rockwell, in Conference on Lasers and Electro-Optics, *OSA Technical Digest Series*, 1991, **12** : CTuW23 (Optics Society of America, Washington, D. C.)
- [12] N. F. Andreyev, E. A. Khazanov, O. V. Palashov, Phase-conjugation fidelity fluctuations for various stimulated-Brillouin-scattering mirror geometries. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1994, **11**(5) : 786~788
- [13] M. S. Mangir, D. A. Rockwell, 4.5 J Brillouin phase-conjugate mirror producing excellent near- and far-field fidelity. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1993, **10**(8) : 1396~1399

Two-Cell Stimulated-Brillouin-Scattering Phase-Conjugated Mirror Compressing Pulses Width of Q-Switched YAG Oscillator

He Weiming Lu Zhiwei Wang Qi Ma Zuguang

(*Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

(Received 30 March 1995; revised 12 June 1995)

Abstract High and stable values of phase conjugation (PC) fidelity are available by use of a two-cell stimulated-Brillouin-scattering (SBS) PC mirror. Making SBS return to YAG Q-Switched oscillator and output coupled with polarizer, the SBS output pulses take an advantages of short, tunable and stable good quality. The principle of compressing pulses and the influence of PC mirror's relative positions on SBS pulse width are analysed. A SBS pulse with 2.5 ns width and 9 mJ energy is obtained.

Key words stimulated-Brillouin-scattering, phase-conjugation mirror.