

激光器技术 ·

文章编号:1001-5078(2003)03-0188-02

# 高峰值功率大能量 NdYAG 激光器

王运谦<sup>1</sup>, 秘国江<sup>1</sup>, 杜涛<sup>1</sup>, 刘朗<sup>1</sup>, 张世文<sup>1</sup>, 黄茂全<sup>2</sup>

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 山西大学光电研究所, 山西 太原 030006)

**摘要:**将二极管泵浦单纵模 NdYAG 激光器作为主振荡器, 三级灯泵 NdYAG 放大器及 SBS 相位共轭镜组成双通放大 MOPA 系统, 经两个放大单元的行波放大, 实现能量达 6.58J, 脉宽 3.6ns, 束散角 1.7mrad, 重复频率 10Hz 激光输出, 峰值功率达 1.82GW。

**关键词:**高峰值功率; SBS 相位共轭; 退偏补偿; MOPA 系统

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

## NdYAG Laser with High Peak Power and Large Energy

WANG Yun-qian<sup>1</sup>, BI Guo-jiang<sup>1</sup>, DU Tao<sup>1</sup>, LIU Lang<sup>1</sup>, ZHANG Shi-wen<sup>1</sup>, HUANG Mao-quan<sup>2</sup>

(1. North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China;

2. Shan xi University Electro-Optics Institute, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** A double-pass configuration of MOPA system is realized by a diode pumped, single longitudinal mode NdYAG master oscillator and three flashlamp-pumped YAG amplifiers with a phase conjugating stimulated Brillouin scattering cell. After single-pass amplifying of two amplifier cells, the laser output energy of 6.58J, pulse duration of 3.6ns, divergency angle of 1.7mrad and 10Hz repetition rate, the peak power is 1.82GW.

**Key words:** high peak power; SBS phase conjugation; depolarization compensation; MOPA system.

### 1 前言

激光系统中各类热畸变、退偏效应以及激活介质材料缺陷等造成激光光束质量降低, 限制了峰值功率的提高和大能量的产生。各种光学元器件的光学不均匀性, 泵浦不均匀性和增益不均匀性, 也会导致光学畸变(包括相位畸变和振幅畸变)。传统的多纵模激光技术, 难以获得近衍射极限的光束质量。

基于受激布里渊散射(简称 SBS)的光学相位共轭技术, 已被广泛用于补偿由激光介质引起的波前畸变, 利用光束二次或偶数次反向通过同一激活介质, 使光路中的相位畸变得到矫正或改善, 能够补偿激活介质热透镜、热致双折射及各种不均匀性造成的光学畸变, 是一种获得近衍射极限高光束质量激光输出的有效途径。

但相位共轭技术不能补偿激活介质热致退偏问题<sup>[1]</sup>。在我们的研究中, 将二极管泵浦单纵模

NdYAG 激光器作为主振荡器, 以 SBS 相位共轭技术通过双通放大补偿热透镜效应, 采用光学性能一致的两根 YAG 棒中间加 90° 旋光器及结合像传递技术补偿热退偏效应, 实现大能量高光束质量激光输出。

### 2 采取的技术方案

将半导体泵浦的单纵模 NdYAG 激光器作为主振荡器, 三级灯泵的 NdYAG 放大器及 SBS 相位共轭镜组成双通放大 MOPA (Master oscillator power amplifier) 系统作为预放大器, 利用第一放大单元和第二放大单元构成功率放大系统进行行波放大, 解决像传递、热退偏, 以及消除激光器自激等主要技术难题, 完成一套高重频大能量激光系统。

作者简介: 王运谦(1966 - ) 男, 华北光电技术研究所高级工程师, 主要从事激光技术研究。

收稿日期: 2003-02-21

该系统总体设计采用的方案结构框图见图 1。该系统光路图见图 2。

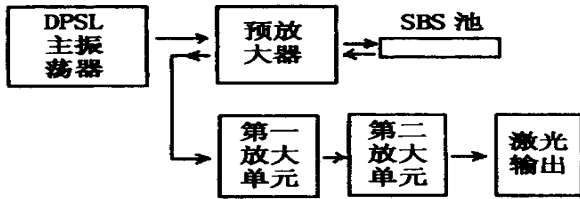


图 1 方案结构框图

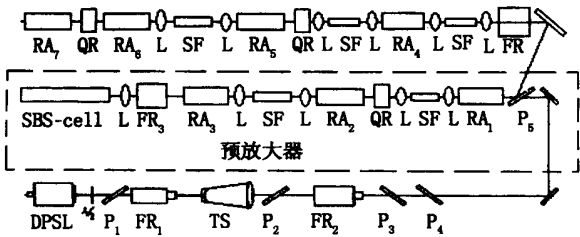


图 2 系统光路图

DPSL: 二极管泵浦单纵模激光器,  $FR_1 - FR_3$ : 45 度法拉第旋光器;  $FR$ : 法拉第隔离器;  $TS$ : 扩束镜;  $L$ : 透凸镜;  $SBS-cell$ : 相位共轭池;  $RA_1 - RA_7$ : 放大器;  $QR$ : 90 度石英旋光器;  $SF$ : 空间滤波器;  $/2$ : 二分之一波片;  $P_1 - P_5$ : 偏振片;

该系统的主振荡器、预放大器及两个放大单元的能量分配为 80μJ 800mJ 3J 5J, 各级光束口径分布为 1mm 7mm 14mm 15mm。

2.1 主振荡器

主振荡器采用稳定的二极管泵浦电光 Q 开关单纵模激光器, 为后面放大级提供高光束质量的输入光源, 其采用短腔结构, 选用高质量的 NdYAG 晶体, 控制适当的泵浦条件, 实现单纵模输出, 其主要技术指标为: 脉冲宽度 ~ 10ns, 单脉冲输出能量大于 80μJ, 激光输出为单横模和单纵模。

2.2 预放大器

预放大器的光路图见图 2 系统光路图的中间部分。

二极管泵浦单纵模固体激光器<sup>[2]</sup>输出的激光束 ( $TEM_{00}$ , ~ 10ns, 80μJ, 10Hz, 光束直径 ~ 1mm) 经法拉第光隔离器、扩束、整形、滤波成为近平顶轮廓的波形, 选择扩束比与放大级相匹配, 以获得最大的能量提取效率, 另外还应确保退偏效应减至最小。利用像传递技术, 入射光作为像面, 经 4F 系统逐级传递到下一个主平面上, 保持发散角不变, 不论重复频率、泵浦能量等热负载条件如何变化, 光束通过第一级、第二级和第三级具有相同的热负载环境。另外, 前两个状态完全一致的放大级之间放置 90 石

英偏振旋转器 (QR), 线偏光经第一级后, 热致双折射产生的径向和切向偏振分量由 QR 交换 90 进入第二级, 与第二级产生的退偏影响相抵消。从第三级出来的光束经 45 度法拉第进入 SBS 池, 经相位共轭镜反射后, 波振面相对光传输方向反演, 反射光束精确地按入射光束相同的路径, 再次通过 45 度法拉第, 径向和切向偏振分量交换 90 第二次经过第三级放大, 使自身产生的热退偏抵消。再通过前两个放大级, 恢复到放大前的光束质量, 成为与入射光正交的线偏振光, 从  $P_5$  偏振片侧面输出。

像传递与相位共轭技术的结合, 补偿了热影响及工作物质不均匀放大带来的各种光束质量缺陷、相位畸变, 应力双折射造成的退偏、双焦点等影响, 输出近衍射极限、时间空间波形光滑的近平顶轮廓光束。

2.3 受激布里渊散射 (SBS) 相位共轭镜<sup>[3,4]</sup>

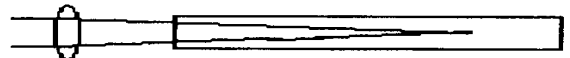


图 3 单池聚焦结构相位共轭镜

此 MOPA 系统中, 采用简单的单池聚焦结构的相位共轭镜, 如图 3 所示。为了得到稳态的 SBS 效应, 选用声子寿命远小于泵浦光脉宽 (10ns) 的  $CCl_4$  作为非线性介质, 其声子寿命为 0.6ns<sup>[5]</sup>。选择合适焦距的聚焦透镜、SBS 池长度、泵浦光的强度和波形, 并对非线性介质提纯, 可获得高的 SBS 反射率和高相位保真度, 并可获得一定倍率的脉冲压缩。SBS 池的长度为 400mm, 聚焦透镜焦距为 150mm。

2.4 第一、第二放大单元

这两个放大单元的设计基本相同。每个放大单元由性能一致的 YAG 棒中间加像传递空间滤波器及 90 度旋光器组成。线偏振光经第一级后, 热致双折射产生的径向和切向偏振分量由 90 度旋光器交换 90 进入第二级, 与第二级产生的退偏影响相抵消。对于级间耦合的光束匹配, 需设计相应倍率的扩束镜及空间滤波器满足像传递的要求。这两个放大单元的工作原理及技术措施与预放大级相似。

3 实验结果与结论

3.1 预放大级输出 800mJ 高光束质量激光输出, 光束口径为 7。激光脉冲宽度可压缩到 3.8ns。其脉冲波形见图 4。

SBS 相位共轭镜脉冲压缩实验中最小压缩的脉冲宽度为 2.87ns, 见图 5。

3.2 MOPA 系统中, 采用简单的单池聚焦结构的相位共轭镜得到稳态的 SBS 效应, 控制聚焦透镜与 (下转第 191 页)

图 2 是 1.57 $\mu\text{m}$  激光输出能量与工作时间的关系曲线。可以看出,OPO 输出能量在 11.5mJ 附近浮动。同时显示出,被动 Q 开关 OPO 激光器具有良好的输出稳定性,稳定度为 8%。

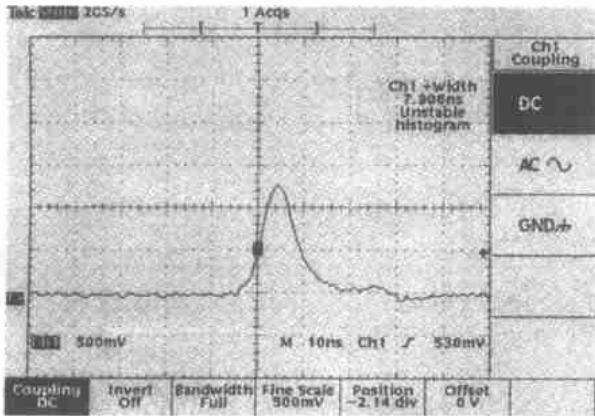


图 3 OPO 脉冲波形

图 3 为被动 Q 开关 OPO 激光的脉冲波形。可

以看出,合理选择  $\text{Cr}^{4+}$  YAG 晶体的静态透过率,可以获得单脉冲激光。本实验中,测到的脉宽为 7.9ns。

#### 4 结论

本文报道了采用  $\text{Cr}^{4+}$  YAG 被动 Q 开关的 KTP-OPO,获得了输出能量 12mJ、发散角 7mrad 的人眼安全激光。具有体积小、没有高压脉冲干扰等特点,成为手持式人眼安全激光器的最佳选择。

#### 参考文献:

[1] L R Marshall. eye-safe output from noncritically phase-matched parametric oscillators[J]. J. Opt. Soc. Am (B), 1993, 10(9): 1730-1736.  
 [2] Brosnan S J, Byer R L. Optical parametric oscillators threshold and linewidth studies[J]. IEEE J. Q. E, 1979, 15(6): 415-431.

(上接第 189 页)

SBS 池的作用长度,泵浦光的强度和波形,获得 > 86.1% 稳定的 SBS 反射率和高相位保真度,最高 SBS 反射率为 88%。利用合理的封装工艺可以实现 SBS 池的长期可靠使用。

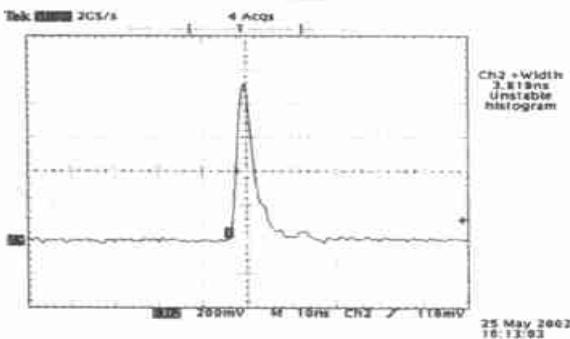


图 4 SBS 相位共轭镜脉冲压缩波形

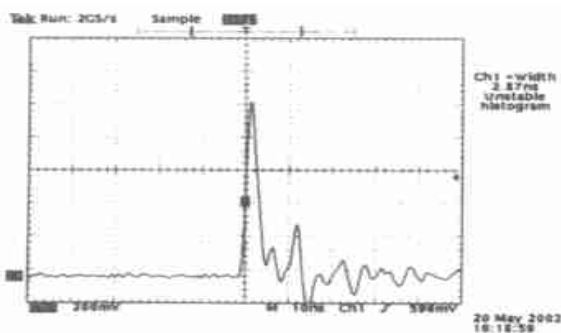


图 5 输出脉宽波形

3.3 MOPA 系统输出的激光经第一放大单元、第二放大单元单程放大后,获得高光束质量的激光输

出,已达到输出能量 6.58J,重复频率 10Hz,脉冲宽度 3.6ns,光束发散角约 1.7mrad 技术指标,激光的峰值功率达 1.82 GW。

#### 4 结束语

以 DPSL 作为主振荡器结合相位共轭技术组成的 MOPA 放大系统,是将高功率激光的光束质量提高到近衍射极限水平的有效手段。由性能一致的 YAG 棒中间加像传递空间滤波器及 90 旋光器组成的放大单元,可实现热退偏补偿,减少由于热退偏造成的能量下降及光束质量下降。

#### 参考文献:

[1] S Seidel, N Kugler, Nd:YAG 200-W average-power oscillator-amplifier system with stimulated Brillouin Scattering phase conjugation and depolarization compensation[J]. J. Opt. Soc. Am. B.  
 [2] 刘朗, 秘国江. 高重频大能量单纵模激光器[R]. 国防科技报告, 2001-11.  
 [3] H J Eichler, Ahaase, O Mehl. Serial arrangement for high power solid-state amplifiers with phase conjugating mirror [A]. SPIE Vol. 2788: 148-156.  
 [4] 刘淑香, 等. 受激布里渊散射相位共轭镜在固体激光中的应用[J]. 应用光学, 2002: 23, (1).  
 [5] D T Hon. Pulse Compression by Stimulated Brillouin Scattering[J]. Opt. Lett. 1980, 5(12): 516 - 518.