

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0144-03

# 高重复频率融石英棒受激布里渊散射相位共轭实验研究

童立新<sup>1</sup>, 高清松<sup>1</sup>, 陈晓琳<sup>1</sup>, 陈 军<sup>2</sup>, 唐 淳<sup>1</sup>, 刘 芳<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900  
<sup>2</sup>浙江大学信息学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要** 在高重复频率激光二极管抽运 Nd:YAG 激光双通放大器中, 采用石英玻璃棒作为相位共轭镜取代传统的 0°全反镜, 进行了光学相位共轭实验研究。在重复频率 400 Hz, 注入脉冲宽度 20 ns 下形成了稳定的光学相位共轭, 较好地补偿了增益介质热效应造成的光束畸变, 改善了双通放大输出光斑分布。采用 0°全反镜双通输出光斑分布中的较强环状衍射调制得到了很好的消除, 获得了较好光束质量的激光输出, 放大器输出光束质量因子  $M^2$  值由 4 左右提高到 1.4, 同时避免了非线性介质内部的光学击穿和损伤。

**关键词** 激光技术; 双通放大器; 光学相位共轭; 石英玻璃棒

**中图分类号** TN248.1      **文献标识码** A

## Experimental Study on High Repetition Rate Quartz Glass Rod Stimulated Brillouin Scattering Phase-Conjugation

TONG Li-xin<sup>1</sup>, GAO Qing-song<sup>1</sup>, CHEN Xiao-lin<sup>1</sup>, CHEN Jun<sup>2</sup>,  
TANG Chun<sup>1</sup>, LIU Fang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics,  
Mianyang, Sichuan 621900, China  
<sup>2</sup> Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

**Abstract** An experimental study on optical phase conjugation is developed in a double-pass high repetition rate laser diode pumped Nd:YAG amplifier. The traditional 0° HR mirror is replaced with a quartz glass rod phase conjugator. A stable phase conjugating reflection is realized at 400 Hz repetition rate with a 20 ns pulse width input. As a result, the beam distortion caused by the thermal effect of the gain medium is well compensated, and a better amplified output beam profile with no diffraction ring is observed. The output beam  $M^2$  is improved from 4 to 1.4. The optical breakdown or injury in quartz glass is avoided.

**Key words** laser technique; double-pass amplifier; optical phase conjugation; quartz glass rod

### 1 引 言

激光双通或多通放大技术作为一种有效提高激光输出功率能量的手段在高功率激光系统中得到了广泛的应用。由于激光增益介质严重的热效应及其他因素的影响, 输出光束将产生畸变, 导致输出光束质量严重下降。实现较好的光束质量输出, 是高功率激光系统研究中仍需解决的问题。光学相位共轭技术的发展, 为解决上述问题提出了一个较好的技

术途径和研究方向。我们可以利用相位共轭对传播中干扰的矫正特点, 应用于各类激光器、双程激光放大系统中, 以补偿各类相位畸变, 改善输出激光光束质量<sup>[1]</sup>。

本文应用石英玻璃棒受激布里渊散射 (Stimulated-Brillouin-scattering, SBS), 在高重复频率高平均功率及窄脉冲宽度的激光双通放大器中, 作为相位共轭镜取代传统的 0°全反镜进行了光学

**基金项目:** 国家 863 计划资助课题。

**作者简介:** 童立新(1979—), 男, 研究实习员, 主要从事高功率激光二极管抽运固体激光器技术的研究。

E-mail: tlxll@yahoo.com.cn

相位共轭的实验研究,获得了较好光束质量的激光输出,同时避免了非线性介质内部的光学击穿和损伤。

## 2 激光器简介

激光器采用主振荡功率放大器(Master oscillator power amplifier, MOPA)结构,工作频率为10~400 Hz,调Q输出脉冲宽度约为20 ns。振荡器输出的线偏振光经扩束器、光隔离器后通过偏振片进入激光放大级,再经 $\lambda/4$ 波片和 $0^\circ$ 全反射镜返回放大器,形成双通放大结构。放大级由两个6.5 kW激光放大模块(双Nd:YAG棒结构)和 $4f$ 成像系统, $90^\circ$ 石英旋转片等构成,可以对Nd:YAG棒在高功率抽运情况下形成的热致双折射引起的退偏振进行补偿<sup>[2]</sup>。6.5 kW激光放大模块由半导体激光器(LD)阵列环形侧抽运直径6 mm的Nd:YAG激光棒一体化封装构成。采用相位共轭反射镜(Phase conjugating mirror, PCM)代替双通放大器中的 $0^\circ$ 全反射镜,利用光学相位共轭能够自然矫正传输介质对波前的干扰,在后向输出端再现输入端的波前品质的特性,使激光束再次经过受激介质,从而可以有效抑制和矫正激光增益传输过程中导致的光束畸变<sup>[1]</sup>,提高输出光束质量。

## 3 相位共轭光路结构

相位共轭激光双通放大原理如图1所示。振荡器采用了一个标准具对,用标准具对作为输出耦合镜以增加腔内选模能力<sup>[1]</sup>,保证振荡器具有较稳定的单纵模输出,腔内使用了普克尔盒进行电光调Q,输出脉宽20 ns的激光窄脉冲。放大器一次放大后的激光束,经一透镜汇聚后,注入受激布里渊散射池中产生光学相位共轭,其反射光再次进入放大器中形成放大器双通放大,由放大器增益介质热效应等因素引起的波前畸变得到了补偿。光路中的 $\lambda/4$ 波片的作用是使来回两次通过它之后的线偏光束的偏振方向旋转 $90^\circ$ ,从而经双通放大后的激光束在偏振片处反射出来而不至于重新回到振荡器中,同时形成有效的激光放大输出,如图1中 $E_1$ 。薄石英片(未镀膜)的作用是取出一小部分反射光束 $E_2$ 以便进行观察和测量。汇聚透镜焦距为 $f=356$  mm,受激布里渊散射池采用 $\phi 30$  mm $\times$ 198 mm的石英玻璃棒,焦点位于棒中110 mm深处。

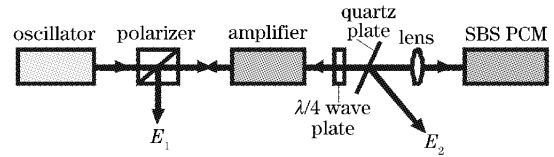


图1 相位共轭激光双通放大原理图

Fig. 1 Schematic diagram of double-pass amplifier with optical phase-conjugation

## 4 实验结果

在重复频率分别为40 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz的条件下采用石英玻璃进行了受激布里渊散射相位共轭双通放大实验。焦点处光斑尺寸约为0.17 mm。改变受激布里渊散射池的注入能量,发现只有当注入能量在48 mJ左右较小范围内,才形成较稳定的受激布里渊散射相位共轭反射。若增大注入能量,则石英玻璃内极易被击穿而损坏;减小注入能量,则不能形成较稳定的受激布里渊散射相位共轭反射,或反射能量变得很弱。实验中不同重复频率下融石英玻璃受激布里渊散射反射率变化曲线如图2所示。在注入能量几乎不变的情况下,随着重复频率的升高,受激布里渊散射反射率明显下降。当重复频率增加,其内部则更容易被打坏,输出能量的起伏也增大,在40 Hz重复频率条件下,经受激布里渊散射反射后双通输出脉冲能量起伏很小,但在400 Hz时,输出能量起伏达到15%左右。

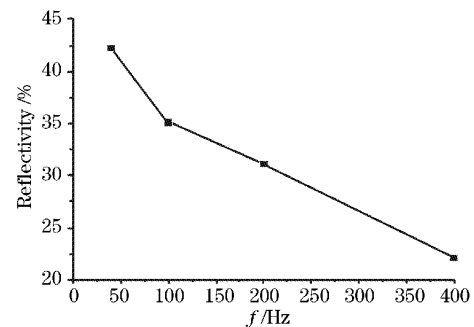


图2 不同重复频率下融石英玻璃受激布里渊散射反射率的变化曲线

Fig. 2 Reflection of phase-conjugation with a quartz glass SBS cell versus repetition rate

利用CCD采集到的振荡器光斑分布以及采用 $0^\circ$ 全反镜和石英玻璃受激布里渊散射相位共轭反射两种情况下双通放大器输出激光光斑分布如图3所示。可见采用 $0^\circ$ 全反镜时双通输出的光斑分布

[如图 3(b)]具有较强的环状衍射调制,而采用受激布里渊散射相位共轭后,环状衍射调制已经得到完全的消除[如图 3(c)],变为与振荡器输出光束[如

图 3(a)]具有相似分布,增益放大过程中产生的波前畸变得到了很好的补偿。

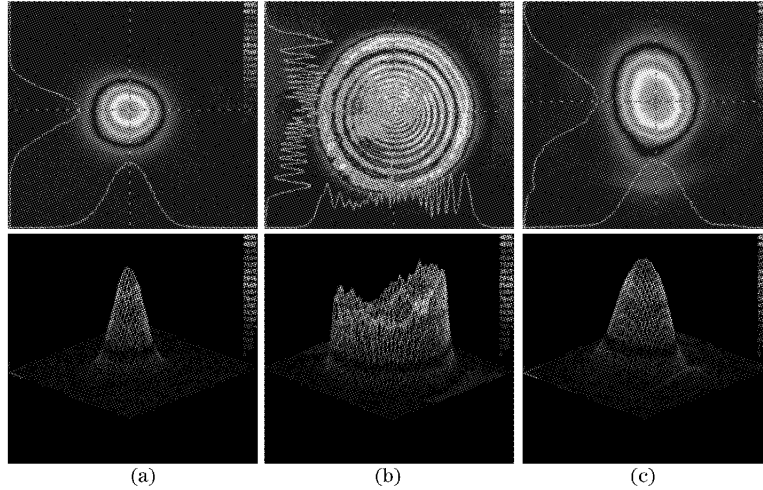


图 3 振荡器输出光斑分布(a)以及采用 $0^\circ$ 全反镜(b)和石英玻璃受激布里渊散射相位共轭(c)两种情况下的双通放大器输出光斑分布

Fig. 3 Output beam profiles of the oscillator (a) and the double-pass amplifier with a  $0^\circ$  HR (b) or a quartz glass SBS PCM (c)

同时分别测量了振荡器输出光束和采用受激布里渊散射相位共轭及 $0^\circ$ 全反镜时双通放大器输出光束质量的 $M^2$ 值,其中振荡器输出光束质量约为1.3,当采用 $0^\circ$ 全反镜时,由于增益介质热效应等因素导致双通放大器输出光束质量变为4.6。若采用石英玻璃相位共轭,则放大器输出光束质量为1.6。可见采用石英玻璃受激布里渊散射相位共轭后,双通放大器输出的光束质量得到了很大的改善。

## 5 结 论

通过对石英玻璃在高重复频率,20 ns 脉冲宽度激光二极管抽运 Nd:YAG 激光器中的受激布里渊散射相位共轭的实验研究,获得了在 400 Hz 重复频率条件下的较为稳定且具有较好光束质量的双通放大激光输出。由于注入激光脉宽为 20 ns,比融石英玻璃声子寿命低,是实验中受激布里渊散射反射率

普遍较低的最可能原因。采用石英玻璃相位共轭后,放大器输出光斑分布及光束质量较好,但在不改变其他条件的情况下,注入能量只能控制在一个较小的范围内,增大注入能量则石英玻璃内部焦点处极易被击穿损坏。实验中,随着重复频率的增加,受激布里渊散射平均反射率降低,能量不稳定性增加。如何在高重复频率下提高受激布里渊散射反射率及输出能量的稳定性仍有待进一步的研究。

## 参 考 文 献

- 1 Chen Jun. Optics Phase Conjugation and Its Application [M]. Beijing: Science Press, 1999. 181~186  
陈 军. 光学位相共轭及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 181~186
- 2 W. Kochner. Solid-State Laser Engineering [M]. 4th. ed, Berlin: Science Press, 2002. 371~373  
W. 克希耐尔. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 371~373