

诱导式受激布里渊散射相位共轭腔

柳 强 王月珠 鞠有伦 姚宝权 王 骥

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所 哈尔滨 150001)

提要 提出利用受激布里渊散射(SBS)的相位共轭及脉宽压缩效应,在 Nd·YAG 激光器上构造一种诱导式相位共轭腔装置,实现了能量大于 250 mJ,脉宽小于 5 ns 的共轭激光输出,并给出了相应的测试结果。

关键词 受激布里渊散射,相位共轭腔,脉宽压缩效应

1 引 言

1964 年 Chiao 等首次发现受激布里渊散射(SBS)现象,而对 SBS 无论从理论上还是实验上进行更深入的研究则是从 1972 年 Zel'dovich 发现 SBS 的相位共轭特性之后才开始的^[1,2]。本文提出的诱导式 SBS 相位共轭腔装置是在我们实现了非诱导式 SBS 相位共轭腔以后^[3],以乙醇为散射介质,利用了 SBS 的相位共轭镜的作用,组成 SBS 相位共轭腔,使激光在腔内振荡过程中,补偿腔内各种像差元件(如棒的不均匀、热效应等)引起的畸变。提高了输出激光光束质量,同时利用 SBS 有效压缩了激光脉宽。在实验上运用该装置获得了能量从几十 mJ 到 250 多 mJ,脉宽小于 5 ns 的共轭激光输出,说明此装置是获得高质量、窄脉宽、高功率密度激光输出极有效的手段。

2 诱导式 SBS 相位共轭腔装置

其装置如图 1 所示,SBS 池中装有乙醇介质,池的前表面与透镜都镀有增透膜,防止被激光损伤,相位共轭腔是由 SBS PCR,部分反射镜 M_2 ,全反镜 M_1 组成。诱导式 SBS 相位共轭腔装置的运行可分为两个过程:一是 SBS 的预激活;二是 SBS 相位共轭腔内振荡的形成过程。其基本的物理思想是:首先利用主振荡器(Nd·YAG1)对 SBS 进行预激活,目的是为了提高 SBS 的后向反射率,降低 SBS 相位共轭腔的阈值。在被控振荡器(由 SBS PCR, M_2 , Nd·YAG2, M_1 组成)腔内振荡过程中

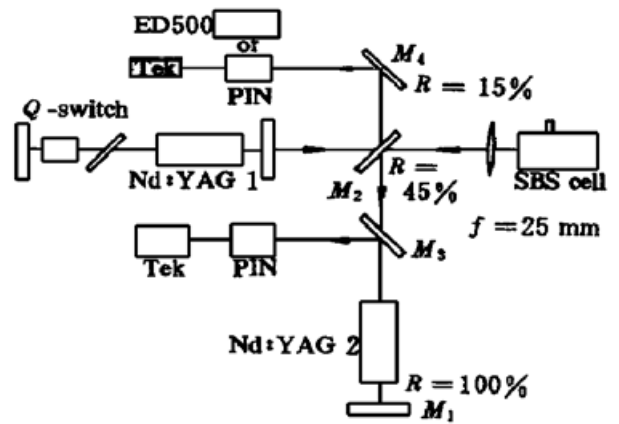


图 1 诱导式 SBS 相位共轭腔装置

Fig. 1 The arrangement of induced SBS phase-conjugate resonator

通过 SBS PCR 的相位共轭效应来补偿畸变, 并且利用 SBS 有效地压缩激光脉宽, 所以诱导式相位共轭腔激光输出具备了非诱导式相位共轭腔激光输出的一切优点, 同时由于对 SBS 进行有效的预激活, 克服了非诱导式相位共轭腔阈值较高, 如果一旦形成了激光振荡, 那么输出能量较大且不易控制等不足。

3 SBS 相位共轭腔补偿畸变与脉宽压缩

SBS 相位共轭腔补偿畸变原理可由光线变换矩阵加以解释, 图 2 所示为 SBS 相位共轭腔

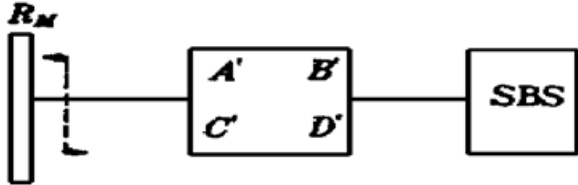


图 2 SBS 相位共轭腔补偿畸变模型
Fig. 2 SBS phase-conjugate resonator model

补偿畸变模型。取普通反射镜的前表面为参考面, 光线向右传播, 设光线往返一次自洽

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_M & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D' & B' \\ C' & A' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_M & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 A', B', C', D' 为除腔镜外所有腔内近轴光线变换矩阵元。公式表明, 由于 SBS 相位共轭镜的作用, 像差元件对波前的影响被消去, 波前补偿如初。对于 SBS 压缩激光脉宽的基本过程可定性加以说明: 入射激光脉冲在透镜焦点区域由于光束直径变小, 功率密度超过 SBS 阈值, 产生的初始 Stokes 脉冲后向传播与正向传播的入射激光脉冲相遇, 产生一个强声波场, 强声波场反射泵浦光, 使 SBS 光脉冲得到耦合放大, 由于 SBS 光脉冲传播方向与泵浦光脉冲传播方向相反, 总是 SBS 光脉冲前沿先与未被衰减的泵浦光脉冲相遇, 产生耦合放大。前沿获得更优先放大, 使前沿变陡, 而后沿不参与或很少参与耦合作用, 基本上不被放大, 使得脉冲半宽度明显变窄, 形成压缩效应。Hon 首先给出 SBS 压缩后散射光脉冲宽度的表达式^[4]

$$\tau_s \sim \frac{nl}{c} \sim \left[\frac{\lambda}{2n^2 p_{12}} \right] \sqrt{\rho_0 v_0 / P} \quad (2)$$

式中 n 为压缩介质折射率, l 为产生 SBS 所必须的光声耦合长度, λ 为入射激光波长, p_{12} 为介质的弹光系数, ρ_0 为介质密度, v_0 为声波在介质中的传播速度, P 为入射激光功率密度。由式(2)可看出, 散射光不仅与散射介质有关, 而且与泵浦光的功率密度有关。

4 诱导式相位共轭腔输出特性

4.1 振荡过程的发生

为证实在 SBS 相位共轭腔中发生激光振荡而并非 SBS 后向散射光经过 Nd:YAG2 棒的双程放大, 在 M_1 的前方加一 $\lambda/4$ 波片, 在输出镜 M_2 后用检偏器检偏, 由振荡级输出的垂直方向线偏振光入射到 SBS 池中, 由于 SBS 的过程不改变泵浦光偏振特性, 如果是双程放大, 那么 SBS 后向散射光将两次经过 $\lambda/4$ 波片, 偏振方向改变 90° , 检偏结果应是与振荡级输出完全分开。而实验结果并非如此, 大部分激光输出的偏振方向并未改变, 说明 SBS 相位共轭腔内产生了激光振荡。

4.2 输出激光脉冲宽度

用 PIN 管(响应时间为 10^{-10} s 量级)配合数字示波器测得的采样波形如图 3, 图 4 所示, 主振级输出脉冲前沿波动较大, 四次测量的脉冲波形并不能很好地吻合在一起, 脉宽为 8~ 10 ns。而诱导式相位共轭腔输出脉冲波形很光滑, 修正了主振级输出脉冲前沿的波动, 脉冲前沿上升时间变得很短, 四次测量的脉冲波形吻合得很好, 脉宽压缩为 4~ 5 ns, 与前面的理论分析一致。这样的输出与能量相同的振放 Nd·YAG 系统输出相比, 其功率密度将提高近一倍。

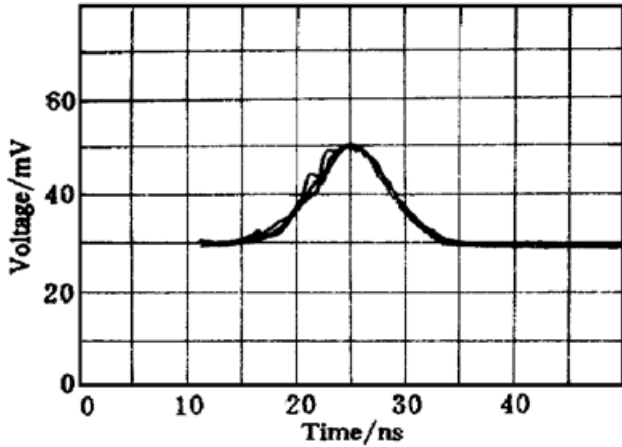


图 3 Nd·YAG 主振级输出脉冲波形
Fig. 3 The output pulse of the Nd·YAG main resonator

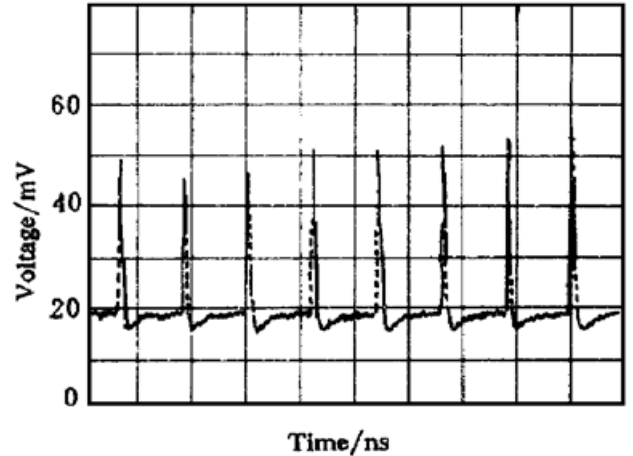


图 4 诱导式 SBS 相位共轭腔输出脉冲波形
Fig. 4 The output pulse of the induced SBS phase-conjugate resonator

4.3 输出激光能量

输出能量由能量计 ED-500(1.62 V/J)测得, 当主振级入射到 SBS 池中的能量达不到 SBS 的阈值时, 对 SBS 没有形成有效的预激活, 将不能形成相位共轭腔。随着主振级的能量不断增加, SBS 被激活以后, SBS PCR 后向反射率大大提高, 这时相位共轭腔内将产生激光振荡。固定主振级输入能量不变, 提高相位共轭腔的注入能量, 相位共轭腔的输出将不断增大。测得 Nd·YAG2 氙灯两端电压升至 850 V 时, 相位共轭腔的输出达 250 mJ 以上, 能量采样如图 5 所示。由图看出输出能量的稳定度还有待进一步提高, 分析能量不稳定因素可能是由于 SBS 后向输出的不稳定与振荡级输出不稳定造成的。

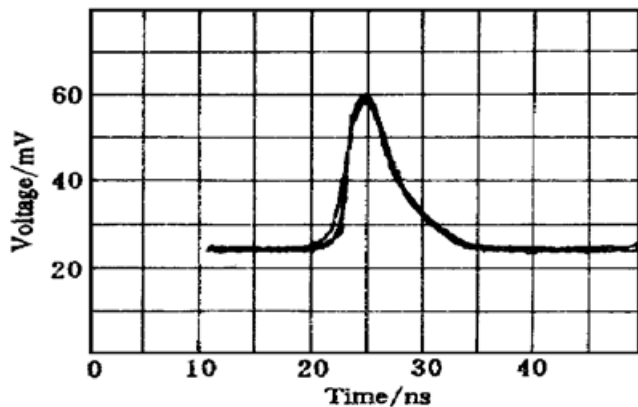


图 5 Nd·YAG 主振级输出能量采样
Fig. 5 The sampled energy output from the main oscillation stage of the Nd·YAG laser

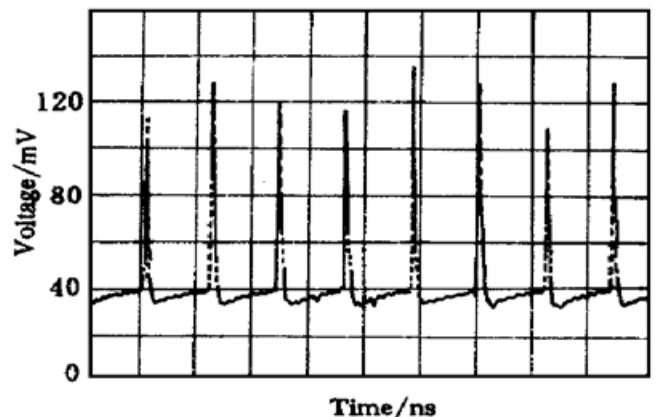


图 6 总的输出能量采样
Fig. 6 The total energy output sample

5 结 论

SBS 相位共轭镜与普通反射镜组成激光谐振腔,通过对 SBS 的预激活,提供了一种诱导式相位共轭腔装置,结构简单,易于控制,弥补了非诱导式相位共轭腔的不足之处。实验验证了此装置是获得高质量、窄脉宽、高功率密度的共轭激光输出有效手段。利用这种诱导式相位共轭腔可作腔内光参量振荡实验,还可用于倍频、三倍频等领域。

参 考 文 献

- 1 R. Y. Chiao, C. H. Townes, B. P. Stoicheff. Stimulated Brillouin scattering and coherent Generation of intense hypersonic waves. *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **12**: 592
- 2 B. Ya. Zel'dovich, V. I. Poporichev, V. V. Ragul'sriy. Connevtion between the wave fronts of reflected and exciting light in stimulated mandel stimulated Brillouin scattering. *JETP Lett.*, 1972, **15**: 109~ 112
- 3 Wang Yuezhu, Chen Deying, Ju Youlun. Generation of Q-switching by stimulated brillouin scattering in the phase-conjugate resonator. *Progress in Natural Science*, 1991, **1**: 470~ 471
- 4 D. T. Hon. Pulse compression by stimulated Brillouin scattering. *Opt. Lett.*, 1980, **5**(12): 516~ 518

An Induced SBS Phase-conjugate Resonator

Liu Qiang Wang Yuezhu Ju Youlun Yao Baoquan Wang Qi

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

Abstract Making use of the optical phase conjugation effect and the pulse compression effect in stimulated Brillouin scattering (SBS), we present a Nd:YAG laser with an induced-phase-conjugate resonator, of which the output is 250 mJ, the pulse width is shorter than 5 ns. The measurement results are given.

Key words stimulated Brillouin scattering (SBS), phase-conjugate resonator, pulse compression effect