

# 用 SF<sub>6</sub> 气体作 SBS 相位共轭镜的 激光谐振腔\*

陈 军 马跃如 龙 鹰  
(浙江大学光仪系, 杭州 310027)

## 提 要

利用高压 SF<sub>6</sub> 气体中的受激布里渊散射作相位共轭镜, 将其用于 Nd:YAG 激光谐振腔, 得到了能量在 100 mJ 左右的脉冲激光输出. 与利用液体介质的受激布里渊散射相位共轭腔的激光输出相比, 其光斑的空间模式大大改善, 基本达到 TEM<sub>00</sub> 模, 功率密度在 150 MW/cm<sup>2</sup> 输出能量的稳定性也有所提高.  
关键词 相位共轭, 受激布里渊散射, 激光谐振腔.

相位共轭镜作为激光谐振腔的端腔镜而被用于消除相位干扰及其作为自调 Q 器件而被广泛地研究<sup>[1]</sup>. 近年来在国际上出现了以高压气体作受激布里渊散射(SBS)介质的相位共轭腔研究, 得到了较好的结果. 不仅在 1 Hz 重复率下获得了稳定的调 Q 激光脉冲输出, 而且在 45 Hz 的高重复率下得到了激光输出.

作者曾介绍应用液体丙酮作为 SBS 介质而组成的 Nd:YAG 激光腔, 获得了脉冲激光输出<sup>[2]</sup>. 本文将介绍作者近期的实验研究结果.

## 1 气体中的受激布里渊散射

与液体介质相比, 气体中的布里渊频移较小 (SF<sub>6</sub> 为 250 MHz), 比丙酮中频移 (3000 MHz) 小一个数量级. SF<sub>6</sub> 在室温 (25°C) 时气液相临界的气压为 2.2 MPa, 此时的受激布里渊散射阈值较低而增益较高, 用它作 SBS 介质是十分合适的. 通常, 室温下降低气压会导致气体密度下降, 从而减小 SBS 增益系数. 但若降低室温而造成气压降低时, 由于气体仍处于临界状态, 其气体密度虽有改变, 但改变较小, 从而对 SBS 增益改变不十分明显. 本文的部分实验是在较低室温、较低气压、但仍为临界气压的情况下进行的.

## 2 输出特性

应用 SF<sub>6</sub> 气体 SBS 池作相位共轭镜的激光谐振腔装置如图 1 所示. M<sub>1</sub> 及 M<sub>2</sub> 为平面反射镜, 其反射率分别为 30% 及 100%, Nd:YAG 棒由氙灯泵浦, 高压气池内装有望远镜系统, 使焦点处激光能量达到 SF<sub>6</sub> 中的 SBS 阈值. 由 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 组成的起始腔形成的激光自由振荡随着不断放大而使 SF<sub>6</sub> 中形成的密度光栅不断增强. 光强达到 SBS 阈值时, SBS 池

收稿日期: 1991 年 12 月 30 日; 收到修改稿日期: 1992 年 4 月 22 日

\* 国家自然科学基金及国家教委优秀青年科学基金支持项目.

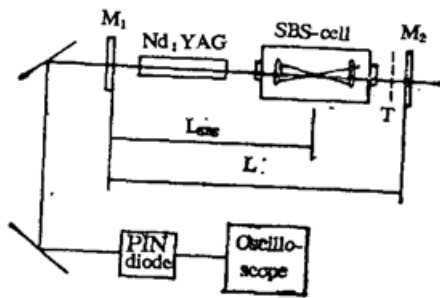


Fig. 1 Scheme of the laser oscillator with SBS-cell and auxiliary starting mirror

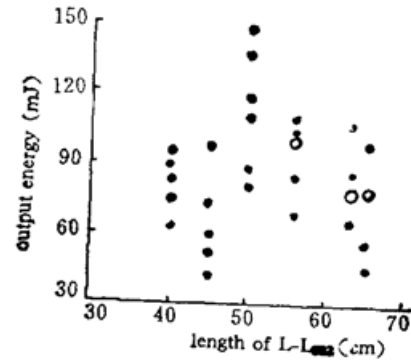


Fig. 2 Output energy from SBS-phase conjugate resonator as a function of the length  $L-L_{SBS}$ . —measured output energy ○—average values

反射率可增高到 60%~70%，从而取代了起始辅助腔镜  $M_2$ ，形成激光调 Q 脉冲输出。

### 2.1 端镜以相位共轭镜取代

形成 SBS 共轭腔后的激光输出，可应用 ABCD 矩阵法进行分析。与普通反射镜不同的是，此时端镜  $M_2$  已被相位共轭镜 (PCM) 取代， $M$  为 SBS-PCM 的等效变换矩阵

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{\rho_i} - \frac{i\lambda}{\pi} \frac{1-\beta^2}{\beta^2\omega_{PCM}^2} & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

式中  $\rho_i$  为入射到 PCM 上的光束等相面曲率半径。由于 SBS 过程一般具有高斯型反射率

$$R(r) = R(0)\exp[-r^2(1-\beta^2)/\beta^2\omega_{PCM}^2], \quad (2)$$

式中  $\omega_{PCM}$  为光束入射在 PCM 上的光斑半径，故使 SBS 过程成为限制腔内横模的软边光阑，使共轭腔有可能输出基横模。由于 SF<sub>6</sub> 的布里渊频移，为使起始腔、SBS 腔及频移  $\Delta\nu_B$  之间有很好的耦合而达到稳定的输出，应使布里渊频移分别与起始腔及 SBS 腔形成的纵模间隔成整数倍关系，即

$$L_{SBS} = m_1 C / 2\Delta\nu_B, \quad (3)$$

$$L = m_2 C / 2\Delta\nu_B, \quad (4)$$

式中  $m_1, m_2$  分别为正整数。按  $\Delta\nu_B = 250$  MHz 计算，要求的  $L_{SBS}$  及  $L$  应是 60 cm 的整数倍。本实验分别选取了  $L_{SBS} \approx 60$  cm、 $L = 120$  cm 及  $L_{SBS} \approx 120$  cm、 $L \approx 180$  cm 二组数值。

### 2.2 密度光栅

从另一个角度讨论，也可以认为，在起始振荡时，起始腔内某两个纵模  $\nu_i$  及  $\nu_{i-m}$  在 SBS 池内相遇产生干涉强度分布，若满足

$$\nu_i - \nu_{i-m} = m(C/2L) = \Delta\nu_B. \quad (5)$$

则该强度光栅将与材料耦合而最有效地激发起声波，即密度光栅。

由于声子有一定寿命  $\tau_B$ ，由此造成的布里渊频移亦具有一定的线宽：

$$\delta\nu_B = (1/2\pi\tau_B). \quad (6)$$

这一线宽的存在使得上述长度匹配关系亦具有一定的允限，可使  $L$  及  $L_{SBS}$  在一定范围内变化。图 2 示出了当  $L_{SBS}$  光学长度取为 126 cm 时，改变  $M_2$  位置所得出的输出调 Q 脉冲能量。图中出示了几个典型的测量数据。实验表明，长度差  $L-L_{SBS}$  可在 40 cm~65 cm 之间变化。当超出此范围时，调整就十分困难。出光几率大大降低。理论估算时，按  $L = 180$  cm

理想长度计算, 相应的  $m_2=3$ ,  $\delta\nu_B$  在 2.2 MPa 时对  $1.06 \mu\text{m}$  波长相应值约为 6 MHz, 故相应的  $L$  值应为

$$L = [m_2 C / 2(\Delta\nu_B \pm \delta\nu_B)]. \quad (7)$$

按上述数据计算的  $L$  长度在 176 cm~185 cm 范围之内变化, 亦即  $L-L_{\text{SBS}}$  变化范围为  $\pm 5$  cm, 与实验结果大致相符. 当然现在仅考虑起始腔耦合时  $\delta\nu_B$  的影响. 但可以认为由于在 SBS 腔建立以后光子在腔内往返次数极少, 仅几次便达到阈值输出脉冲激光, 因此有理由认为, SBS 频移线宽  $\delta\nu_B$  对起始腔耦合条件影响大于对 SBS 腔的影响. 与之相比, 在液体丙酮中, 由于  $\Delta\nu_B=3000$  MHz, 当取  $m_1=1$ ,  $m_2=1$  时, 相应的  $L_{\text{SBS}}=5$  cm,  $L=5$  cm 这一长度比起实际实验装置长度要小得多, 即实际的纵模间隔比  $\Delta\nu_B$  小得多, 在纵模极密而又有一定的 SBS 线宽  $\delta\nu_B$  时, 两者的耦合就很容易实现. 因此, 作者在过去的实验中可以用任意长度的  $L$  及  $L_{\text{SBS}}$  获得激光输出, 此时, 对长度的匹配要求完全消失.

### 2.3 衰减片的作用

衰减片  $T$  的插入对脉冲的调 Q 特性起重要的作用. 当透射率  $T$  过大或无衰减片而氙灯泵浦能量又过高时, 显然由于起始腔 Q 值过高而使 SBS 腔的调 Q 性能变差, 实验中即可观察到如图 3(a) 所示的多脉冲现象. 同时, 输出的光斑空间模式变差, 能量虽可增大二倍以上, 但分散在约为  $\phi 4$  mm 的圆斑中. 只有在选择了合适的滤光片时, 才能得到较为稳定的输出. 此时输出单个脉冲, 如图 3(b) 所示, 而空间模式几乎为 TEM<sub>00</sub> 模, 光斑直径约为 1.5 mm, 且发散角极小, 在近场(离输出镜  $M_1$  20 cm 处)及远场(离输出镜 2.5 m 处)光斑直径几乎无变化, 已接近衍射极限.

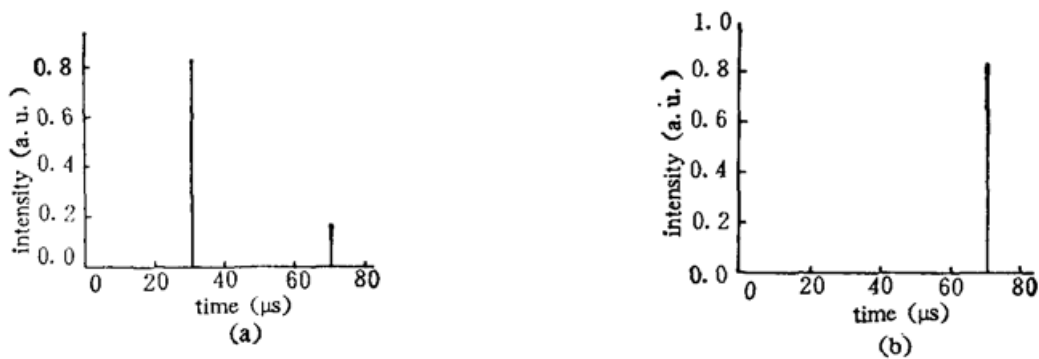


Fig 3. Laser pulse from the resonator a) without the filter  $T$ . b) with the filter  $T=25\%$

我们在实验中得到的最佳结果是当  $L_{\text{SBS}}=126$  cm,  $L-L_{\text{SBS}}=63$  cm, 气压  $p=1.65$  MPa (气温  $14^\circ\text{C}$ ) 时, 在 40 J 单氙灯泵浦下, Nd:YAG 棒尺寸为  $\phi 4 \times 80$  mm 输出的脉冲激光能量为 110 mJ, 脉宽约为 20~25 ns 如图 4(a) 所示, 输出光斑为  $\phi 1.5$ , 圆形, 能量波动在 14%, 此时的  $T$  约为 25%. 当取  $L_{\text{SBS}}=63$  cm,  $L=120$  cm 时, 曾获得平均脉冲能量为 175 mJ 的输出, 但输出能量波动较大, 而脉宽减小到 10~15 ns, 如图 4(b) 所示.

图 5 给出了我们的部分实验结果. 所用的谐振腔为  $L_{\text{SBS}}=126$  cm,  $L-L_{\text{SBS}}=63$  cm, 单灯紧包腔泵浦, 当改变氙灯泵浦能量时, 图中的  $\circ$  示出了相位共轭腔输出的调 Q 激光脉冲能量测量值. 其中实线表示了在每个泵浦能量下 20 次测量值的平均值的连线, 为了作比较, 同时也将无 SBS 池时自由振荡输出能量平均值标示在同一图上. 与之相应的脉冲宽度均在 20~25 ns. 关于带 SBS 池的共轭腔调 Q 理论模型及计算将在今后另行发表.

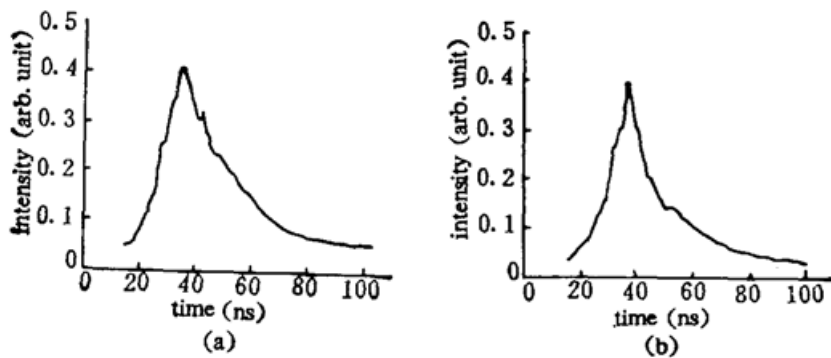


Fig. 4 Temporal profile of the SBS based laser Q-switched pulse from the resonator with (a)  $L_{\text{SBS}}=126$  cm,  $L-L_{\text{SBS}}=63$  cm, (b)  $L_{\text{SBS}}=63$  cm,  $L-L_{\text{SBS}}=57$  cm

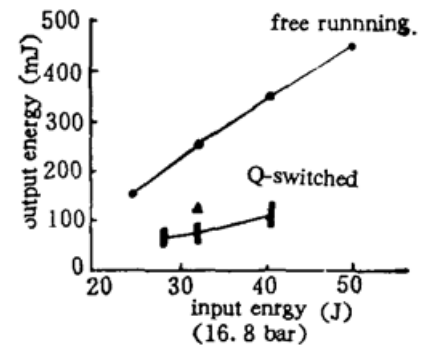


Fig. 5 Output energy as a function of the input energy at the free running mode and SBS-Q-switched mode.

### 3 结 论

利用高压 SF<sub>6</sub> 气体中的受激布里渊散射作相位共轭镜, 组成 Nd:YAG 激光腔, 得到了能量在 100 mJ 左右, 脉宽在 10~25 ns 的脉冲激光输出。当选择正确的起始腔与 SBS 腔长度使之符合匹配条件, 并配以合适的衰减片时, 可以得到较为稳定的单脉冲输出, 其输出光斑空间模式大大优于用液体介质的 SBS 相位共轭腔输出, 已可接近 TEM<sub>00</sub> 模。

### 参 考 文 献

- [1] Edited by Robert A. Fisher, *Optical phase conjugation*, New York: Academic Press, 1983: 1~588.  
 [2] 陈 军, 蒋汝忠. 带受激布里渊散射相位共轭镜的 Nd:YAG 激光器. 光学学报, 1991, 11 (8): 715~719

## Laser resonator with a phase conjugating mirror based on SBS in SF<sub>6</sub> gas

CHEN JUN MA YUERU LONG YING

(Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 30 December 1991; revised 22 April 1992)

### Abstract

Using the Stimulated Brillouin Scattering (SBS) in high pressure gas SF<sub>6</sub> as a phase conjugating mirror in a Nd:YAG laser resonator, we have got laser pulses with the pulse energy of about 100 mJ. The spatial mode of output beam is much better than the output beam from the phase conjugate resonator based on the SBS in liquids. The power density of about 150 MW/cm<sup>2</sup>. And nearly TEM<sub>00</sub> mode are obtained. The stability of the output energy is also increased.

**Key words** phase conjugating, stimulated Brillouin scattering, laser resonator.