

带受激布里渊散射相位共轭镜的 Nd:YAG 激光器*

陈 军 蒋汝忠

(浙江大学光仪系, 杭州 310027)

提 要

应用液体中受激布里渊散射相位共轭镜, 与普通反射镜一起构成位相共轭谐振腔, 得到了能量在 100 mJ 以上, 脉宽在 15 ns 以下的激光脉冲输出。实验测量了各种腔结构参数对输出能量的影响, 并用相位板对该腔干扰, 测量了其补偿特性。

关键词: 相位共轭、受激布里渊散射。

一、引 言

应用受激布里渊散射池组成激光谐振腔的最初实验是 1967 年由 Pohl 完成的^[1]。当时对受激布里渊散射的相位共轭特点尚无认识, 而仅对其被动调 Q 性质感兴趣。自 1972 年苏联的 Zel'dovich 首次发现了受激布里渊散射后向散射的相位共轭特性之后^[2], 各种介质中的受激布里渊散射及相位共轭理论与实验被广泛地研究。本文在对 Nd:YAG 激光在各种液体中受激布里渊散射后向散射进行大量研究的基础上, 进一步对带受激布里渊散射相位共轭镜的 Nd:YAG 激光腔作了实验研究。

二、液体中的受激布里渊散射

受激布里渊散射过程的描写可以从三个基本方程出发, 即介质内密度场连续性方程, 强光波场造成的电致伸缩力作用下的介质运动方程以及能量输运方程。求解出它们的耦合波方程便得到受激布里渊散射的频率、增益、光强阈值等诸特征参数^[3]。可以用简化的物理模型解释。液体中热扰动引起的密度波动可以经傅里叶变换分解为无数个不同空间频率不同方向的周期函数, 它们表现为许多不同栅距及方向的运动相位光栅。入射激光在这些光栅上的散射, 其后向散射和入射光相互作用为最强, 该干涉光场与介质耦合。由强光电致伸缩效应及吸收造成的热致光折变效应, 致使这一耦合密度波不断增强, 导致后向散射光波迅速增长以致接近入射光强度, 形成了受激散射。与自发散射相比较, 其主要区别为, 其一是受激布里渊散射中由激光相干性造成的 E_n 与 E_{sc} 的干涉, 其二是强光下电致伸缩效应及热致折变效应, 使周期性光场与介质耦合, 这是弱光下自发布里渊散射所不能产生的。

收稿日期: 1990 年 10 月 26 日; 收到修改稿日期: 1990 年 12 月 27 日

* 国家自然科学基金会资助的项目。

表 1 给出了几种液体受激布里渊散射的有关参数^[3]。丙酮对 $1.06 \mu\text{m}$ 光吸收极小 ($\alpha = 0.022 \text{ cm}^{-1}$)，从表 1 中给出的对 $\lambda = 694.3 \text{ nm}$ 的 g_B^e (电致伸缩效应造成的受激布里渊散射增益系数) 及 g_B^t/d (吸收造成的受激热布里渊散射增益系数) 及 α 值，考虑到增益值与波长成正比，对丙酮 $g_B^e \gg g_B^t$ ，即说明了丙酮中电致伸缩效应的主导性。

Table 1 Frequency shift ν_B ; linewidth $\delta\nu_B$ and Gain factors of stimulated thermal Brillouin Scattering and Stimulated Brillouin scattering, g_B^t and g_B^e , (α is the light absorption coefficient)

substance	Frequency shift ν_B [MHz]	Line width $\delta\nu_B$ (stim) [MHz]	Gain factor	
			g_B^t/α [cm ² /MW]	g_B^e [cm/MW]
CS ₂	5850	75	0.213	0.197
Acetone	4600	180	0.022	0.017
H ₂ O	5690	317 (spont)	0.0008	0.0066

三、后向受激布里渊散射的实验研究

图 1 示出了实验装置。调 Q 的 Nd:YAG 激光输出脉宽为 15 ns 的 TEM₀₀ 模，经二级放大后会聚在受激布里渊散射池内。后向散射光由 50% 分束器分出后，用能量计测量其能量、用雪崩光电二极管测量其脉冲宽度，测得的入射和后向散射光脉冲形状示于图中，在单

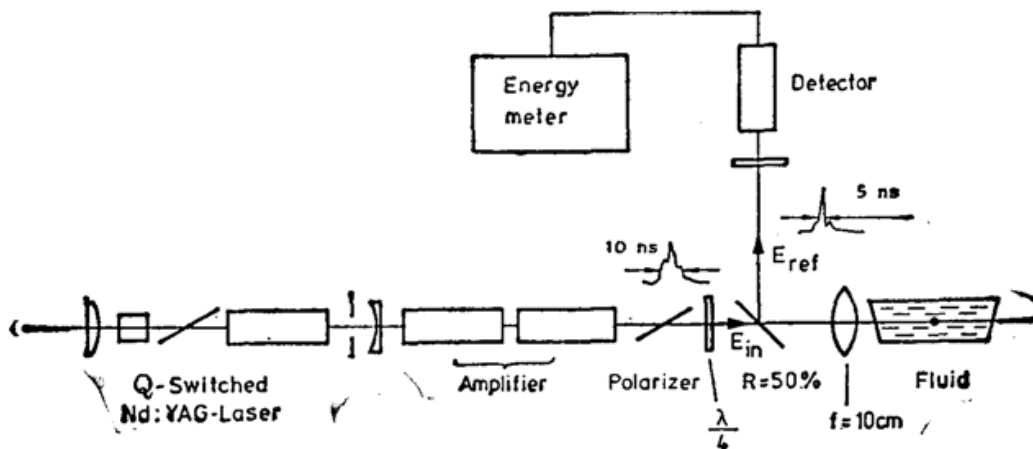


Fig. 1 Experimental arrangement of backward SBS

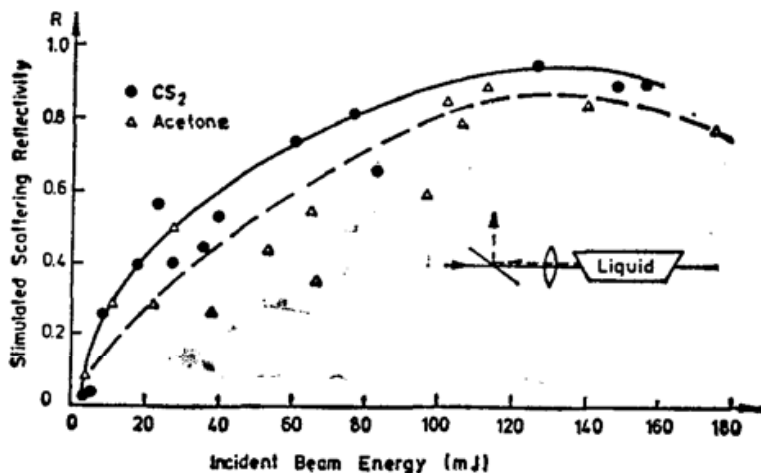


Fig. 2 Reflectivity of stimulated scattering cell as a function of the incident energy

次反射中, 脉冲宽度由 15 ns 被压缩到 5 ns。

图 2 示出了不同入射能量下丙酮及 CS_2 的受激布里渊后向散射的反射率 $R = E_{\text{scat}}/E_{\text{inc}}$ 。实验采用了一体式受激布里渊散射池, 当入射脉冲能量大于 100 mJ 时, 反射率 80% 可达以上。同时还对几种常用的液体进行试验, 测量了其受激布里渊散射阈值。表 2 给出了其阈值能量和能量密度值。

Table 2 Threshold of stimulated backscattering in various liquids

threshold	CS_2	acetone	heptane	methanol	water
GW/cm ²	2.3	2.6	4.3	9	13
mJ	6	7	12	24	34

四、受激布里渊散射相位共轭谐振腔及其输出特性

图 3 为相位共轭激光腔的实验装置。由脉冲氙灯泵浦 $57.15 \text{ mm} \times 6.35 \text{ mm}$ 的 Nd:YAG 棒。 M_1 及 M_2 为反射镜, 可取不同的反射率和曲率半径, 它将直接影响到激光腔的振荡阈值、输出功率及输出光束模式。受激布里渊散射池构成一个放大倍数为 1 的望远镜系统, 位于 YAG 棒与 M_2 之间。用丙酮作受激布里渊散射非线性介质。调整 M_1 、 M_2 , 在一定的泵浦能量下, 由 M_1 、 M_2 构成的长度为 L 的长腔将产生自由振荡, 池内由入射光与从 M_2 返回的光干涉形成周期性光振幅分布, 即形成注入型受迫受激布里渊散射过程, 使受激布里渊散射阈值大大降低, 当光强达到一定强度时, 腔内产生受激布里渊散射。受激布里渊散射反射率随入射光强增强而非线性地增加, 使得由 M_1 与受激布里渊散射池构成的长度为 l 的短腔 Q 值迅速上升, 从而输出一个脉宽为 ns 数量级的光脉冲。腔内调 Q 短脉冲的产生机理与前面提到的腔外受激布里渊散射后向散射脉冲压缩过程机理有所不同。且这是一种与染料漂白所完全不同的另一类被动调 Q 过程, 将有待于进一步的理论与实验探讨。

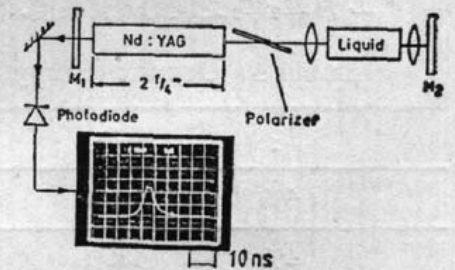


Fig. 3 Laser with PCM cell

带受激布里渊散射池的 Nd:YAG 相位共轭腔输出特性如下:

1. 输出激光脉冲宽度



Fig. 4 Photocurrent oscillograms for lasing pulse obtained by resonator with
(a) $l_1=440 \text{ mm}$, $L_1=600 \text{ mm}$; (b) $l_2=1450 \text{ mm}$, $L_2=1850 \text{ mm}$

图 4 示出了实验测得的激光脉冲: (1) 图腔参数为: 折合短腔光程 $l' = 50$ cm 测得脉冲宽度为 5 ns; (2) 图腔参数折合短腔光程为 $l' = 150$ cm 测得脉冲宽度为 15 ns。两种情况脉宽均近似地等于光子在短腔内一次来回渡越时间。输出脉冲形状和腔长增长时常常包含许多尖峰, 有时甚至会出现明显的类似锁模现象的脉冲以及出现间隔在 $10 \mu\text{s}$ 级的多脉冲现象, 这线腔的调整及损耗情况有密切的关系。

Table 3 Output Energy of Different Laser Resonators

No.	Size of Nd:YAG Rods	Mirror M_1		Mirror M_2		L (cm)	l (cm)	F (Hz)	W_{in} (J)	W_{out} (mJ)
		R_1	ρ_1 (m)	R_2	ρ_2 (m)					
1	$21/4'' \times 1/4''$ (57.15mm \times 6.35mm)	40%	∞	43%	∞	70	50	0.4	20	160
2	$21/4'' \times 1/4''$ (57.15mm \times 6.35mm)	43%	∞	99.5%	∞	60	44	0.4	20	84
3	$2 \times 21/4'' \times 1/4''$ ($2 \times 57.15 \times 6.35$)	30%	-4	50%	∞	185	165	1	70	220
4	$2 \times 21/4'' \times 1/4''$ ($2 \times 57.15 \times 6.35$)	50%	∞	40%	∞	200	120	1	60	72

* L 为 M_1M_2 之间的几何长度, l 为 M_1 到布里渊盒中心位置的几何长度。

Table 4 Output energy by laser with mirrors of different reflectivities of M_1 and M_2

R_1	R_2	r_1	r_2	\bar{E}_{out} (mJ)	E_{max} (mJ)	E_{min} (mJ)
4%	100%	∞	∞	18	20	15
4%	30%	∞	∞	4.3	5.1	3.6
30%	100%	∞	∞	51	63	41
30%	30%	∞	∞	99	122	46
30%	4%	∞	∞	127	154	111

2. 输出能量

输出能量在很大程度上取决于谐振腔的几何参数, 表 3 和表 4 列出了几种不同参数下的输出能量。当腔内含二根 57.15 mm 长, 6.35 mm 直径的 YAG 棒时, 最大输出能量为 220 mJ。过高与过低的脉冲氙灯泵浦能量均会造成输出能量较大的波动。而反射镜的最佳耦合将使输出能量达到最大的输出值。

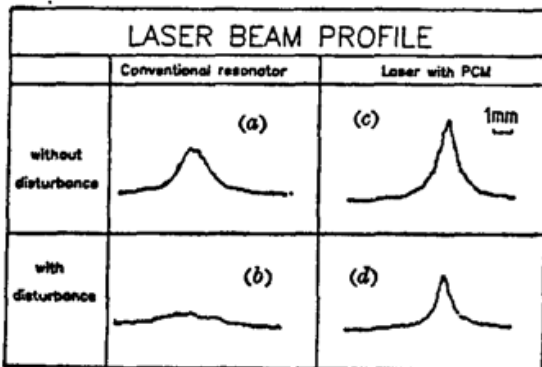


Fig. 5 Laser Beam Profiles of the conventional laser and of the laser with the phase conjugating SBS-mirror

3. 光束质量及抗相位畸变特性

按照相位共轭腔理论分析, 理想相位共轭腔(由无限大且具有均匀反射率的相位共轭镜构成)对腔模无限制作用, 共振横模为无穷多(或没有固定的横模)。但由于谐振腔的有限孔径的限制及受激布里渊散射反射率随入射光强变化等诸因素, 使输出光

束具有一定的光强分布。图 5 示出了由 COD 一维阵列接收器测得的输出光束径向光强分布,它基本上具有高斯分布形状。

共轭腔对相位畸变的补偿作用可以用一块在氢氟酸中微微腐蚀的玻璃作为相位干扰板来演示。图 5 的四个图分别示出了腔内带受激布里渊散射池及不带受激布里渊散射池时相位干扰板对光束质量的影响。显然,当腔内插入相位板时,普通腔输出光斑完全被干扰,光强分布是无规的,而带相位共轭镜的相位共轭腔输出光斑几乎不受位相板的干扰。

五、结 论

利用丙酮中的受激布里渊散射位相共轭效应,可以组成相位共轭谐振腔,获得调 Q 激光脉冲,其输出能量在几十个 mJ 到一百多 mJ,脉冲宽度在几个 ns 到十几个 ns。这种腔具有一定的抗相位干扰能力,但输出能量的稳定性及光束模式还有待进一步提高。

本文中大部分工作是作者在柏林工业大学工作期间所作,在此对光学所的 H. J. Eichler 教授表示感谢。

参 考 文 献

- [1] D. Pohl; *Phys. Lett. (A)*, 1967, **24A**, No. 4 (Feb), 239~240.
- [2] B. Ya. Zel'dovich *et al.*; *JETP Lett.*, 1972, **15**, No. 2, 109~113.
- [3] W. Kaiser, M. Maier; *«Laser Handbook(II)»*, (North-Holland, publ. Co., 1972), 1111~1118.

Nd:YAG laser with SBS phase conjugate mirror

CHEN JUN AND JIANG RUZHON

(Department of Optical Engineering Zhejiang University Hangzhou 310027)

(Received 26 October 1990; revised 7 January 1991)

Abstract

Laser output pulse with 100 mJ energy and 15ns duration was obtained by using a phase conjugation resonator consisting of a normal mirror und a phase conjugation mirror formed by stimalated brillouin scattering (SBS) in liquid. The output energy of different resonator parameters has been measured. Distorttion correction capability of this cavity has also been demonstrated by using a phase plate.

Key words: phase conjugation cavity, SBS.