

# XeCl 激光泵浦的受激布里渊散射特性的研究

姚永邦 M. R. Perrone\*

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

**摘 要** 报道了直接泵浦法和经光栅泵浦法激励的受激布里渊散射的时间特性并比较了两种泵浦方法的受激布里渊镜反射率。

**关键词** 受激布里渊散射, 两种泵浦方法, XeCl 准分子激光, 受激布里渊散射时间特性。

## 1 引 言

自 Zel'dovich 等人<sup>[1]</sup>于 70 年代首次发现受激布里渊散射(SBS)现象至今, 已得到广泛而又深入的研究。不同光谱带宽对受激布里渊散射的影响已有评论和研究<sup>[2,3]</sup>。由于准分子激光在各种场合具有独特的应用, 因此, 准分子激光激励的受激布里渊散射的研究和准分子激光相位复共轭腔的研究近年来已获得了长足的发展<sup>[4,5]</sup>。本文详细研究了 XeCl 激光泵浦的受激布里渊散射特性, 比较了直接激励法和经光栅激励法对受激布里渊散射的影响, 同时也研究了散射的时间特性。

## 2 理论分析

根据能量和动量守恒条件, 有

$$\nu_s = \nu_p + \nu_a, \quad (1)$$

式中  $\nu_p$ 、 $\nu_s$  和  $\nu_a$  分别为泵浦光、散射光和声子频率。由于受激布里渊散射中声子频率远远小于泵浦光子频率, 即  $\nu_a \ll \nu_p$ , 通常近似地认为  $\nu_s \approx \nu_p$ 。受激布里渊散射的研究重点是布里渊镜反射特性和相位共轭保真度。

受激布里渊散射强度  $I_s$  与布里渊增益系数  $g_s$  成正比, 布里渊增益系数  $g_s$  为

$$g_s = A/(\Delta\nu_p + \Delta\nu_a) \quad (2)$$

式中  $A$  为常数, 它是由许多参量组成,  $\Delta\nu_p$  为泵浦光带宽;  $\Delta\nu_a$  为声子频率带宽, 可由介质的粘度系数、介质密度和声子波长通过简单的关系式求出。(2) 式则说明泵浦光的带宽  $\Delta\nu_p$  大小将直接影响受激布里渊散射的强弱。布里渊镜的反射率与泵浦光带宽成反比。

产生受激布里渊散射的基本条件为:

$$g_s I_p \geq \alpha_s. \quad (3)$$

\* Department of Physics, University of Lecce, 73100 Lecce, Italy.

收稿日期: 1994年5月29日; 收到修改稿日期: 1994年8月22日

式中  $I_p$  为泵浦光强度;  $\alpha_s$  为散射光在介质内单位长度上的衰减系数。由(3)式可知,产生受激布里渊散射时要求泵浦光阈值强度  $I_p$ , 必须满足:

$$I_p \geq \alpha_s/g_s \quad (4)$$

(4)式则说明受激布里渊散射过程希望光学介质有较高的布里渊增益。然而,当在某种介质中实现受激布里渊散射时,参数  $\alpha_s$  和  $g_s$  已经给定,这时对泵浦光阈值强度则提出明确的要求。泵浦光阈值强度  $I_p$  可以从能量和时间的微分中获得,即  $I_p = dE/dt$ 。将此式代入(4)式便有:

$$\Delta E = \alpha_s \Delta t / g_s \quad (5)$$

式中  $\Delta E$  为泵浦阈值能量;  $\Delta t$  则为泵浦光脉冲上升前沿时间。(5)式表明泵浦光脉冲上升前沿时间越短,要求的泵浦能量越小。对产生受激布里渊散射和提高布里渊镜反射率越加有利。这与 Bourne 等人<sup>[6]</sup>的结果是一致的。对此本文也作了实验验证。

### 3 实验装置

常规的直接泵浦法产生受激布里渊散射的实验装置如图 1 所示。在图中,如果由光栅 G(2400 1/mm)代替  $M_4$ ,则为经光栅泵浦法产生受激布里渊散射的实验系统。本实验泵浦光源为两台 XeCl 准分子激光振荡-放大系统。激光器提供一束直径为 10 mm、脉宽为 11 ns、发散角为 0.24 mrad 和 15 mJ 能量的泵浦光束。泵浦光发散角是衍射极限的三倍。为了防止强的后向散射光对光路中光学元件的损坏,在放大器输出端放置一块格兰棱镜 P 和一块 1/4 波带片  $\lambda/4$ 。两台 Gentec 能量计  $J_1$  和  $J_2$  分别

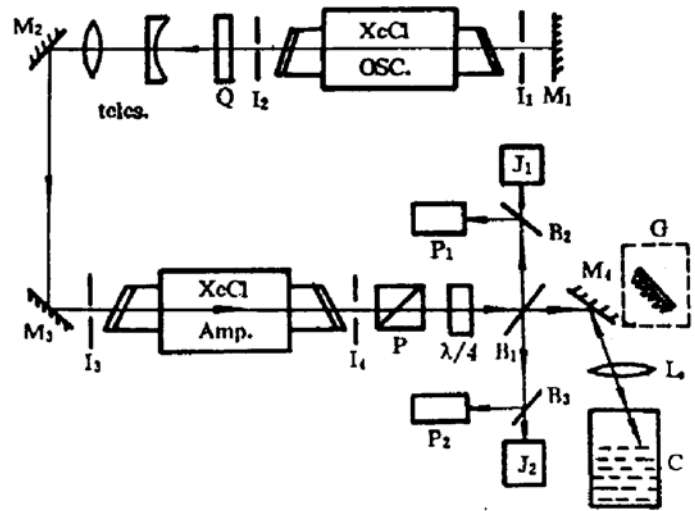


Fig. 1 SBS experimental set-up

用于泵浦光和散射光的能量检测。泵浦光和散射光脉冲波形由快速响应光电二极管  $P_1$  和  $P_2$  接收、分别进入四通道 Textronix TDS 540 型贮存示波器监视。泵浦光和散射光的光谱特性是由一台 Jobin-Yuon THR 1500 型 2 米光栅光谱仪测量。用环己烷作为布里渊介质。

### 4 实验结果

图 2(a)是在无色散元件下典型的 XeCl 激光发射谱。两个强的发射带中心波长分别为  $\lambda_1 = 307.98$  nm 和  $\lambda_2 = 308.19$  nm,前者带宽为 0.04 nm,后者为 0.02 nm。受激布里渊散射光谱分布如图 2(b)所示。由图可见,散射光频移量很小,散射光带宽略有变窄。变窄的原因可由受激散射光强的指数增益因子系数对散射光频率的依赖性加以解释。

泵浦光脉冲和受激布里渊散射光脉冲的时间波形如图 3 所示。泵浦光脉冲的上升前沿时间  $\Delta t = 3.78$  ns,脉宽为 11.76 ns;受激布里渊散射光脉冲的脉宽为 7.28 ns,散射光脉冲对泵浦光延迟时间为 6.02 ns。

直接泵浦法和经光栅泵浦法获得的布里渊镜反射率与泵浦能量的关系如图 4 所示。在透镜  $L$ , 焦距  $f = 15$  cm 条件下,比较实验点  $\times$  和  $\bullet$  可知,采用经光栅泵浦法,即使  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  同时作

用于布里渊介质时，受激布里渊散射反射率也高于直接泵浦法的反射率。上述实验结果表明

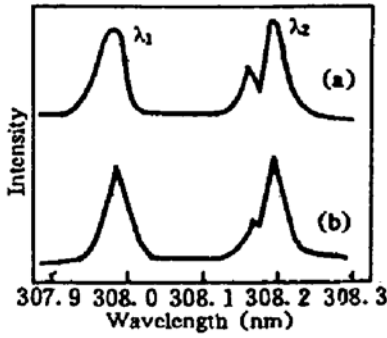


Fig. 2 The spectrum of XeCl laser (a) and SBS (b)

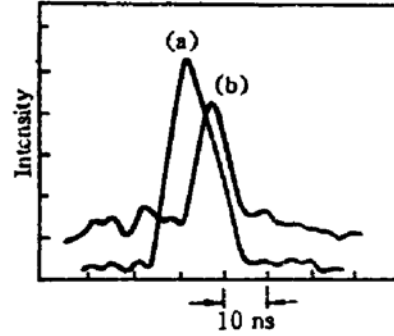


Fig. 3 Pulse waveforms of pump laser (a) and SBS (b)

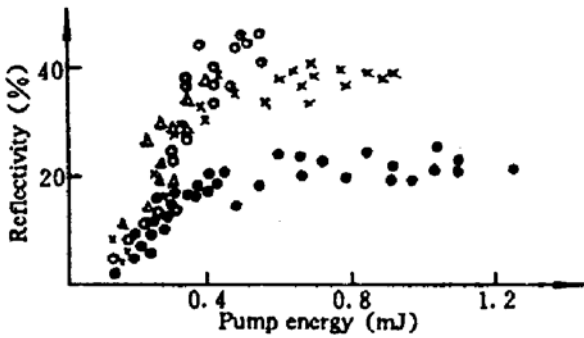


Fig. 4 SBS reflectivity as function of the pump energy used different pump methods. ○ is the 307.98 nm, △ is the 308.19 nm; × is the  $\lambda_1 + \lambda_2$  ● is the mirror

经光栅泵浦法能够改善受激布里渊散射特性，反射率提高 45%。经光栅泵浦法提高受激布里渊散射反射率的主要机理仍然是泵浦光带宽与受激布里渊散射增益的关系。由于在泵浦光路中插入光栅取代反射镜  $M_1$ ，实际上是对复杂的泵浦光谱进行“纯化”处理，使泵浦光谱分布和脉冲时间波形都得到相应地改善。受激布里渊散射强度是一复杂而又多变的函数，泵浦光的光谱分布、光强分布和发散角的好坏都是影响受激布里渊散射强度的重要物理量。在受激布里渊散射实验中，如果泵浦光束质量得不到改善，即使提高泵浦光能量，布里渊镜反射率也未必增加。在利用经光栅

泵浦法的实验中一个需要注意的问题是泵浦光能量不宜过高，否则将严重损坏光栅表面。

受激布里渊散射反射率与泵浦光脉冲上升前沿时间的关系如图 5 所示。由图可见泵浦光脉冲前沿越陡，布里渊镜的反射率越高。这说明受激布里渊散射要求的泵浦阈值能量受泵浦光脉冲上升前沿时间快慢的影响。然而，图 5 也表明在某种情况下布里渊镜的反射率并非完全依赖于泵浦光脉冲前沿的快慢。图 5 给出的实验结果仅仅说明布里渊镜反射率随泵浦脉冲前沿变陡而提高的趋势，如图中曲线所示。这趋势与上述分析是基本一致的。作者也研究了泵浦光能量与受激布里渊散射光脉宽的时间特性。结果表明在低泵浦能量(约小于 0.5 mJ)时，散射光脉宽由 3 ns 增加到 7 ns，当泵浦能量大于 0.5 mJ 时，散射光脉宽将趋于饱和。需要指出的是实验中没有观察到泵浦光脉宽的明显变化。受激布里渊散射脉宽在低泵浦能量区域显著变化的原因实际上是泵浦光脉冲的前沿随能量提高而变陡。结果布里渊反射率提高，散射光脉冲相对于泵浦光脉冲的延迟时间缩短。可见压缩泵浦光脉冲前沿对改善受激布里渊散射反射率特性有利。

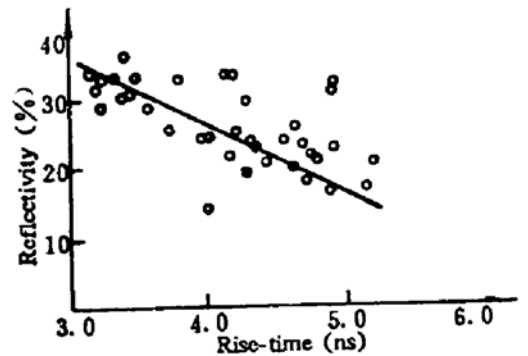


Fig. 5 SBS reflectivity as function of the rise-time of pump laser pulse

**结 论** 研究了两种不同的泵浦方法对受激布里渊散射的影响。结果表明经光栅泵浦法可使布里渊镜反射率得到明显的提高。压缩泵浦光脉冲的前沿也可改善受激布里渊散射的特

性。

本文部分实验工作是在意大利 Lecce 大学物理系完成的。

### 参 考 文 献

- [1] B. ya. Zel'dovich, V. I. Popovichev, V. V. Ragulskii *et al.*, Connection between the wave fronts of the reflected and exciting light in stimulated Mandel'shtan-Brillouin scattering. *JETP Lett.*, 1972, 15(3): 109~113
- [2] A. A. Filippo, M. R. Perrone, Experimental study of stimulated Brillouin scattering by broad-band pumping. *IEEE, J. Quant. Electron.*, 1992, QE-28(9): 1859~1863
- [3] G. C. Vally, A review of stimulated Brillouin scattering excited with a broad-band pump laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, QE-22(5): 704~712
- [4] H. J. Eichler, R. Koenig, R. Menzel *et al.*, SBS-reflection of broad-band XeCl-excimer-laser-radiation: comparison of suitable SBS-liquids. *J. Phys. (D)*, 1992, 25: 1161~1168
- [5] M. Sugii M. Okabe, Single-stage high-beam-quality XeCl laser with a phase-conjugate Brillouin mirror. *IEEE, J. Quant. Electron.*, 1988, QE-24(11): 2264~2269
- [6] O. L. Bourne, A. J. Alcock, Simplified technique for subnanosecond pulse generation and injection mode-locking of a XeCl laser. *Appl. Phys. (B)*, 1985, 30(4): 181~185

## Characteristic of Stimulated Brillouin Scattering Excited with a XeCl Laser

Y. B. Yao M. R. Perrone<sup>①</sup>

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

(Received 29 May 1994; revised 22 August 1994)

**Abstract** Stimulated Brillouin scattering (SBS) excited by directly pump method and pass through grating pump method is investigated. Temporal characteristic of the SBS has been studied experimentally and theoretically and the two pump methods have been compared.

**Key words** stimulated Brillouin scattering, two pump methods, XeCl excimer laser, temporal characteristic of SBS.

<sup>①</sup> Department of Physics, University of Lecce, 73100 Lecce, Italy