

文章编号: 1001-4322(2002)05-0717-03

宽带 KrF 激光泵浦 SBS 的研究*

王晓慧¹, 吕志伟¹, 林殿阳¹, 王超¹, 赵晓彦¹, 汤秀章², 张海峰², 单玉生²

(1. 哈尔滨工业大学 光电技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘 要: 理论和实验研究了宽带 (15 GHz) KrF 激光泵浦的受激布里渊散射 (SBS) 在 SF₆ 介质中的转换效率和脉宽压缩比的规律。介质在 1.6 MPa、透镜焦距为 15 cm 和 30 cm 时, 测得 SBS 最大反射率分别为 40 % 和 45 %, 当泵浦能量大于 60 mJ 时 SBS 反射率开始趋于平坦; 介质在 0.85 MPa、透镜焦距在 30 cm 时, SBS 脉宽压缩比随泵浦能量的上升而下降, 最大压缩比为 5。建立了宽带多模 KrF 激光泵浦的 SBS 理论模型, 假设宽带 KrF 激光光谱谱线由若干窄带谱线组成, 这些窄带谱线之间在产生 SBS 过程中有一定程度的耦合。给出了理论模型结果, 并与实验结果进行了比较。

关键词: KrF 激光; 受激布里渊散射; 反射率; 脉宽压缩

中图分类号: O437.2

文献标识码: A

在近二十年来, 关于宽带 SBS 的研究得到很大发展, 目前关于多线多模泵浦对 SBS 的影响有不同的研究结果。一种研究结果是泵浦中各谱线是各自独立的产生 SBS。1980 年 D. Depatie 等人利用多线 DF 泵浦得到 SBS 的转换效率为 0.03 %, 结论是每条谱线之间是独立的^[1,2]。1986 年 Narum 等人进行了多纵模泵浦光源 SBS 的理论研究, 假设每个模的线宽非常小, 整个激光的线宽可以随意的宽, 考虑泵浦耗尽、光学吸收、热效应等, 实验上利用 YAG 激光研究了多线泵浦激光的 SBS, 利用丙酮和甲醇作为介质, 他们观察到: 如果激光的模式间隔超过布里渊线宽以及激光的相干长度大于 SBS 特征增益长度, 则 SBS 的增益和反射率与泵浦激光的模式无关^[3]。1990 年 W. T. Whitney 等人利用多线分立的 HF 激光, 带宽为 670 GHz, 各谱线间隔超过布里渊线宽, 得到多线 HF 激光各谱线之间没有相互影响的现象, 多线泵浦中 SBS 是按照各谱线的强度分布独立的产生的, 最后将多线泵浦进行色散后与非色散比较, 发现没有差别, 结论是多线泵浦 SBS 各谱线之间是独立的^[4]。还有一些研究结果表明多线泵浦中各谱线之间不独立, 1986 年 R. Moyer 等人利用具有两个谱线 (351 nm 和 353 nm) 的 XeF 激光实验, 介质采用正己烷, 结果显示当这两个谱线空间分开单独产生 SBS, 发现这两个谱线相位共轭都很好, 然后再将两个谱线同时聚焦到 SBS 介质中, 产生 SBS 的结果是强四倍的谱线 (351 nm) 的反射率没有受到影响, 而较弱的谱线 (353 nm) 的反射率降低了 100 倍, 并且不是相位共轭光了^[5]。1994 年 M. R. Perrone 等人采用 XeCl 激光利用正己烷介质进行 SBS 实验研究, 得到单线泵浦和双线泵浦 SBS 的阈值没有明显的变化, 单线泵浦 SBS 反射率上升的速度明显的高于两个谱线同时泵浦的情况; 泵浦经过色散后的 SBS 反射率由非色散的 28 % 提高到 45 % 左右, 但总的趋势是开始上升的速度快一些, 后来就趋于平坦。在非色散时反射率到 28 % 左右就趋于平坦, 经过色散后的 SBS 反射率到 45 % 趋于平坦。分析表明两个谱线不是独立的产生 SBS^[6]。

从以上研究看出泵浦谱线之间独立产生 SBS 的条件为谱线之间或激光各模间的间隔大于布里渊线宽, 而本文所要研究的 KrF 激光的模间隔远小于布里渊线宽。本文建立了一种宽带多模 KrF 激光泵浦的 SBS 理论模型, 假设 KrF 激光各模产生 SBS 不是独立的, 而是相互耦合。实验采用线宽为 0.5 cm⁻¹ 的 KrF 激光作为泵浦光源, 采用 SF₆ 介质研究 SBS 的反射率和脉宽压缩规律。理论计算与实验结果进行了比较。

1 理论模型

假设 KrF 激光光谱是分成若干窄带构成的, 产生 SBS 时各窄带之间是不完全耦合的。由 SBS 耦合波方程, 不考虑泵浦光线宽, 采用一维瞬态数值模拟, 计算得到窄带 SBS 光波形与入射泵浦能量 E_0 的函数为 $f(E_0, t)$, 窄带 SBS 反射率与入射泵浦能量 E_0 的函数关系为 $R(E_0)$ 。假设 KrF 激光光谱为洛伦兹线形, 对于

* 第四届全国准分子激光学术研讨会推荐优秀论文。

收稿日期: 2002-05-29; 修订日期: 2002-06-07

基金项目: 国家 863 惯性约束聚变领域资助课题

作者简介: 王晓慧 (1968-), 女, 博士生, 工程师, 主要从事非线性光学技术和准分子激光应用的研究。

带宽为 $\Delta\nu$ 的激光线形为 $g(\nu) = \frac{\nu/2}{(\nu - \nu_0)^2 + (\nu/2)^2}$, 其中 ν_0 为中心频率。将宽带泵浦光源谱线分成若干窄带 ν_i ($\Delta\nu_i = \Delta\nu_B$, $\Delta\nu_B$ 为布里渊线宽), 则当宽带泵浦能量为 E 时, 每个窄带 ν_i 的能量 $E_i = CEg(\nu_i)$, 其中 C 为各谱线之间的耦合系数。相应 E_i 产生的 SBS 光波形和反射率分别为 $f(\nu_i, t)$ 和 $R(\nu_i)$, 则当宽带泵浦能量为 E 时, SBS 光波形和反射率分别为

$$F(E, t) = \sum_i f(\nu_i, t) \quad (1)$$

$$R = \sum_i g(\nu_i) R(\nu_i) \quad (2)$$

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 激光器采用的是德国 Lambda Physik 公司生产的准分子激光器 LPX150, 由 LPX150 输出的 KrF 激光经过衰减片、分束片 BS₁, 透镜聚焦到 SBS 池, 产生的斯托克斯光由原路返回经过分束片 BS₁ 分束测得。其中 SBS 采用的介质是 SF₆, 池长为 1.5m, 口径为 50mm。泵浦光被 BS₁ 反射的光透过石英平片 BS₃ 的能量用 E_p 测的, SBS 能量由 E_s 得到, E_p 和 E_s 是北京物科光电技术公司的激光功率计, 泵浦激光和斯托克斯光波形分别由滨松公司生产的 R1193U-02 型双平面光真空二极管测得。

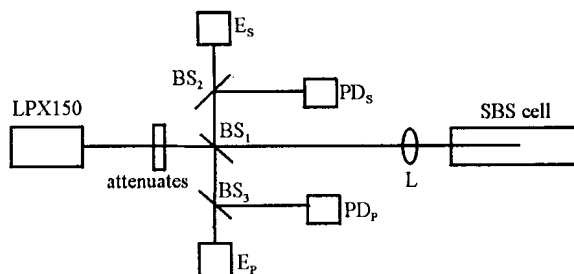


Fig. 1 Schematic diagrams of KrF laser pulse compression with SBS
图 1 利用 SBS 压缩 KrF 激光脉冲示意图

3 实验结果与讨论

采用上面的实验装置, SF₆ 介质气压在 1.6MPa 时, 透镜焦距分别为 30cm 和 15cm 时, 测得 SBS 反射率随泵浦能量的变化规律和理论曲线比较如图 2(a) 和 (b) 所示。从图中可以看到 SBS 反射率随泵浦能量的升高而提高, 当泵浦能量提高到 50mJ 左右时, SBS 反射率趋近于饱和。图 3 所示, 气压在 0.85MPa 时, 透镜焦距在 30cm 时, SBS 反射率随泵浦能量是上升趋势, 在 150mJ 左右也有饱和的趋势。与窄带相比, 宽带 SBS 反射率上升的速度慢, 并且比窄带的反射率低。这主要是因为宽带泵浦与窄带相比虽然在相同的泵浦能量下, 但分布于各个模的能量与带宽有关, 带宽越宽分布于每个模的能量越低, 各个模之间虽然有耦合作用, 但单个模的能量很低, 综合的结果造成宽带 SBS 阈值高于窄带 SBS 阈值, 宽带 SBS 反射率上升的速度减慢。从图 2 和图 3 中还可以看到泵浦能量在 50mJ 以下时, 理论曲线与实验符合得很好, 但当泵浦能量进一步升高时, 实验曲线趋近于饱和, 而理论曲线还继续上升, 没有饱和趋势, 这主要是因为随着泵浦能量的升高, 其它非线性效应(例如光学击穿、拉曼散射和自聚焦等)的竞争, 使 SBS 反射率不能继续提高, 而理论模型中没有考虑到这些影响。图中还表明 SBS 反射率与气压有关系, 高气压时反射率比较高, 反射率随泵浦能量上升的速度也比较快, 这主要是因为气压高时增益比较大, 反射率自然上升的快。

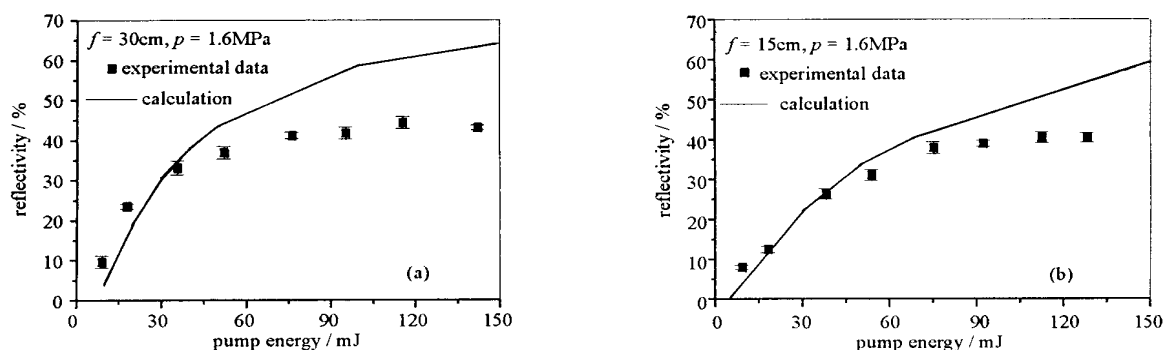


Fig. 2 SBS reflectivity vs pump energy
图 2 SBS 反射率随泵浦能量的变化规律

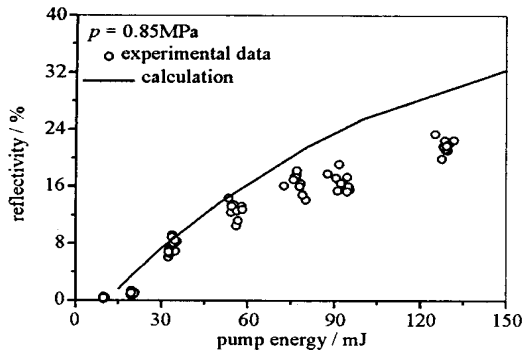


Fig. 3 SBS reflectivity vs pump energy

图 3 SBS 反射率随泵浦能量的变化规律

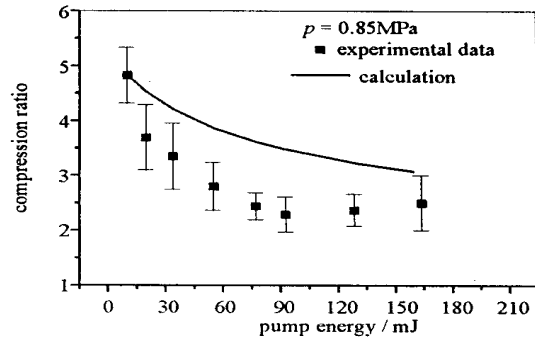


Fig. 4 SBS pulse compression ratio vs pump energy

图 4 SBS 脉宽压缩比随泵浦能量的变化规律

在 0.85MPa 时测得 SBS 脉宽压缩比随泵浦能量的变化规律和理论曲线比较如图 4 所示。从图中可以看到 SBS 脉宽压缩效果比较明显,泵浦能量较低时压缩效果好,当泵浦能量达到 50mJ 左右时,SBS 脉宽趋于平稳,不再压缩。计算结果与实验结果符合得比较好。

4 结 论

本文建立了宽带多模泵浦光源 SBS 的理论模型,在泵浦能量小于 50mJ 时,理论与实验结果符合得很好,表明模型中宽带泵浦各谱线之间是不完全耦合的;在高泵浦能量下,理论曲线继续上升,而实验曲线趋于饱和,主要是因为模型中没有考虑到其它非线性效应竞争的影响,因此这个理论模型有待于进一步完善。

参考文献:

- [1] Depatie D, Hauelsen D. Multiline phase conjugation at 4 μ m in germanium[J]. *Opt Lett*, 1980, 5:252—254.
- [2] Narum P, Skeldon M D, Boyd R W. Effect of laser mode structure on stimulated Brillouin scattering[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1986, QE22(11):2161—2168.
- [3] Whitney W T. Stimulated Brillouin scattering and phase conjugation of multiline hydrogen fluoride laser radiation[J]. *J Opt Soc Am B*, 1990, 7(11):2160—2168.
- [4] Moyer R, Valley M, Sones M, et al. Nonlinear optics multielement systems[R]. TWR Final Rep. AFWL TR-86-15.
- [5] Perrone M R, Yao Y B. On the improvement of broadband stimulated Brillouin scattering[J]. *Appl Phys Lett*, 1994, 64(1):19—21.
- [6] Papermyl S B, Petrov V F, Serebryakov V A, et al. Competition between stimulated Brillouin scattering and optical breakdown in argon[J]. *Sov Quantum Electron*, 1983, 13(3):293—297.

Investigation of SBS pumped with a broadband KrF laser

WANG Xiao-hui¹, LI Zhi-wei¹, LIN Dian-yang¹, WANG Chao¹, ZHAO Xiao-yan¹,
TANG Xi-zhang², ZHANG Hai-feng², SHAN Yu-sheng²

(1. Institute of Optoelectronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: The characteristics of stimulated Brillouin scattering reflectivity and pulse compression ratio for broadband (15 GHz) KrF laser radiation pump in SF₆ gas are investigated numerically and experimentally in this paper. It has obtained that a peak reflectivity of 40% and 45% has been measured at 1.6MPa with lenses of focal length 15cm and 30cm, respectively, and a saturated region of SBS reflectivity is discovered at pump energy above 60mJ. SBS pulse compression ratio decreases with pump energy at 0.85MPa, and the maximum of pulse compression ration measured is 5. SBS numerical mode for a broadband multimode KrF laser pump has been built up in this paper. The basic premises of the mode are that SBS arises from each laser line with coupling to some extent. In this paper numerical results have been obtained and are compared to experimental results.

Key words: KrF laser; stimulated Brillouin scattering; reflectivity; pulse compression