

# 受激布里渊散射相位共轭波的阈值性能

杨镜新 孟绍贤

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

## 提 要

本文报道了在  $\text{CCl}_4$  液体中受激布里渊散射的阈值性能。研究了产生受激布里渊散射相位共轭波的阈值是随所用聚焦透镜的焦距, 泵浦激光的脉宽和发散角等的变化而变化。实验表明, 适当地增加聚焦透镜的焦距, 即提高受激布里渊散射的阈值能量可以显著地消除受激布里渊散射与其它非线性效应的竞争。

关键词: 阈值, 受激布里渊散射, 光感应击穿。

## 一、引 言

众所周知, 利用后向受激布里渊散射效应, 可以比较方便而又有效地产生光学相位共轭波; 消除由固体激光器的热负载所造成的波面畸变。泵浦光只有达到一定强度, 才能产生受激布里渊散射相位共轭波, 但是泵浦光也不能太强, 如果太强, 则在布里渊散射介质中产生其它非线性效应, 诸如自聚焦、光感应击穿等。这些非线性效应与后向受激布里渊散射进行竞争, 其结果是严重地破坏了受激布里渊散射的相位共轭波<sup>[1]</sup>。因此, 有效地消除受激布里渊散射与其它非线性效应的竞争, 是提高受激布里渊散射相位共轭波输出能量的关键。(一般认为, 在激光泵浦受激布里渊散射介质的能量 2~4 倍于阈值能量时, 所产生的受激布里渊散射相位共轭波最好。)

本文测量不同条件下的受激布里渊散射能量阈值以及相应的功率密度。发现当采用适当长焦距的透镜, 就能够有效地消除后向受激布里渊散射与其它非线性效应的竞争。

## 二、实验装置与结果

实验中所采用的装置如图 1 所示。这是后向受激布里渊散射产生相位共轭波的最简单的装置。一台 YAG 调 Q 振荡器输出的激光经格兰棱镜后, 被 YAG 放大器放大。经一会聚透镜射入布里渊介质中, 产生的后向布里渊脉冲从格兰棱镜偏出。实验中所采用的布里渊介质为  $\text{CCl}_4$ 。由格兰棱镜和  $\lambda/4$  波片组成光路去耦。调 Q 振荡器输出能量为 10~100 mJ 可调。工作物质为  $\phi 6 \times 70$  mm YAG 棒。输出脉冲宽度为 15~25 ns 可调。

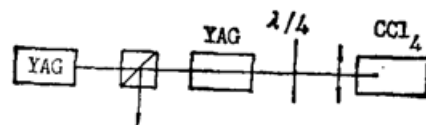


Fig. 1 experimental setup

定义阈值能量为当后向受激布里渊散射的输出刚能被测到时所对应的输入能量。为了

测量后向受激布里渊的阈值能量, 首先增加调 Q 振荡器的泵浦电压, 以便能明显地观察到后向受激布里渊散射, 然后逐渐地减少泵浦电压, 使后向受激布里渊散射的输出刚好为零。这时的振荡器输出激光能量即阈值能量。用红外变像管观察后向受激布里渊散射的出现与否, 用卡计测量阈值能量\*。

实验表明, 布里渊介质前的会聚透镜的焦距是非常重要的, 它直接影响受激布里渊(散射)的阈值能量的大小。实验分别采用了  $f=170\text{ mm}$ ,  $500\text{ mm}$ ,  $600\text{ mm}$ ,  $80\text{ mm}$  等四种焦距的会聚透镜。图 2 给出了阈值能量随会聚透镜的焦距  $f$  而变化的曲线。从图 2 中可清楚地看出随着透镜焦距  $f$  的增加, 后向受激布里渊散射的泵浦阈值能量也在增加。这说明后向受激布里渊散射的阈值能力是可以改变的。从图 2 中可以看出, 在会聚透镜  $f$  较短时,  $15\text{ ns}$  和  $25\text{ ns}$  这两种脉宽的阈值能量相差不大。例如当  $f=170\text{ mm}$  时, 分别为  $12\text{ mJ}$  和  $14\text{ mJ}$ 。图 3 给出了在激光脉冲宽度为  $15\text{ ns}$  时, 输出光束的发散角不同\*\*对应产生受激布里渊散射相位共轭波的阈值能量。由图 3 可知, 输出光束的发散角  $10\text{ mrad}$ , 其阈值能量明显地大于发散角为  $1\text{ mrad}$  时的阈值能量。原因主要是由于在透镜的焦点, 焦斑面积  $s=\pi f^2 \theta^2$ ,  $f$  为会聚透镜的焦距,  $\theta$  为振荡器输出光束的发散角。 $\theta$  越大, 焦斑面积越大, 则相应的功率密度越低, 就越不容易产生后向受激布里渊散射效应。

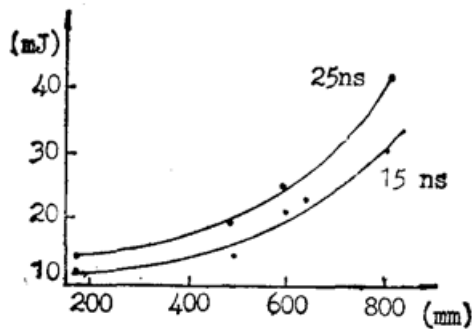


Fig. 2 Threshold energy of SBS as a function of focus length for pulse width of 25 ns and 15 ns

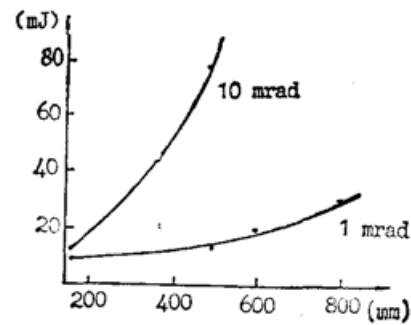


Fig. 3. Threshold energy of SBS as a function of focus length for divergence of 1 mrad and 10 mrad

由于受激布里渊散射相位共轭波的产生与泵浦光的功率密度有关。尤其在透镜焦距  $f$  较短时, 它主要依赖焦点处的功率密度的大小。而能量阈值并不能真正反映受激布里渊散射的阈值性能。为了进一步搞清后向受激布里渊散射的阈值性能, 可以把测量所得的阈值能量的数据换算为相应的在会聚透镜焦点处的功率密度 ( $P/\pi f^2 \theta^2$ ) 和能量密度 ( $W/\pi f^2 \theta^2$ )。式中  $P$  为入射到布里渊盒中的激光功率。  $W$  为激光能量。图 4 和图 5 分别给出了泵浦光脉冲在布里渊介质内焦斑处的能量密度和功率密度阈值随会聚透镜的焦距变化的情况。

值得注意的是, 与图 2 所示的能量阈值不同, 焦点处的功率密度阈值是随会聚透镜焦距的增加而减少。也就是说, 焦距越长, 产生后向受激布里渊散射所需的焦点处的光强越低。这主要是由于虽然焦距的增加使得焦斑面积增大, 焦斑处相应的功率密度减小。但是光束在布里渊介质中所走的路程也相应地增加了。这样就能使后向受激布里渊散射得到较多的

\* 为了克服振荡器输出能量的起伏, 对每种条件下的阈值都进行了 10 次测量, 然后取平均值。

\*\* 发散角的变化主要是通过通过在振荡器输出端加上望远镜系统得以实现的。

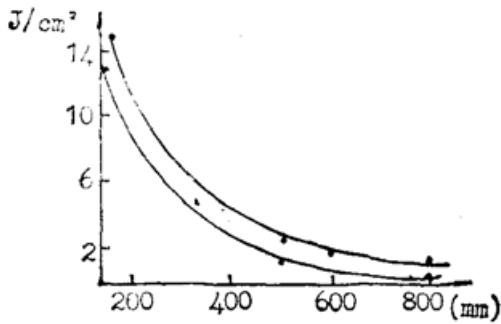


Fig. 4. Threshold energy density of SBS as a function of focus length for pulse width of 25 ns and 15 ns

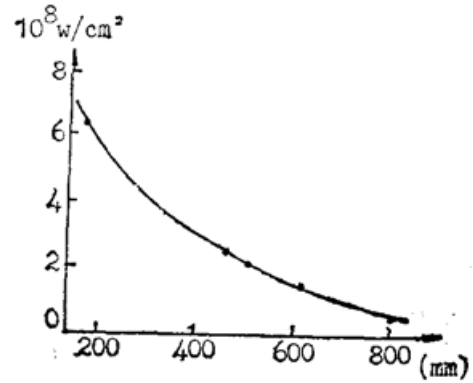


Fig. 5. Threshold power density of SBS as a function of focus length for pulse width of 25 ns.

增益。在本文实验条件下,当焦距为 170 mm 时,其焦斑处光强阈值为  $6.2 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。而当焦距为 800 mm 时,焦斑处光强阈值为  $8 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。可以推断,随着透镜焦距的不断增大,后向受激布里渊散射的产生对焦斑处功率密度的依赖性越来越少,而主要是与入射光的功率以及光束在布里渊介质中所走的路程有关。

影响受激布里渊散射相位共轭波输出能量提高的主要障碍是后向受激布里渊散射与其它非线性效应(诸如自聚焦,光感应击穿)在布里渊介质内的竞争。一般产生自聚焦所需的功率密度为  $10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  左右。这样,随着泵浦光功率的提高,首先在焦点处达到自聚焦所需的功率密度。在实验中,当入射光功率足够高时,可以明显地看到布里渊介质中会聚透镜的焦点处有一亮点。如果把入射的激光功率进一步提高,就可看到一条亮线。这就是所谓的光感应击穿现象。自聚焦和光感应击穿的出现使得受激布里渊散射的能量被损耗,并使相位共轭波被破坏,产生波面畸变。图 6 中,上面的曲线是测量所得的产生光感应击穿所需的阈值能量随透镜焦距而变化的情况。作为比较,同时也画出了后向受激布里渊散射的阈值能量。从图中可以看出,当所用透镜的焦距较短时,稍微超过后向受激布里渊散射的阈值,就可产生光感应击穿。随着焦距的增加,光感应击穿阈值越来越高,图中二条曲线分得越来越开。

从功率密度的角度来看,由于后向受激布里渊散射的光强阈值是随焦距的增加而降低。而自聚焦和光感应击穿的阈值为  $10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  左右,是基本不变的。由于实验条件所限,本文实验没有用更长的布里渊盒和焦距更长的透镜以及更高的泵浦功率。但是根据已有的实验数据可以推断,随着会聚透镜焦距的加长,泵浦光脉冲在布里渊介质中所走的路程也越长,后向受激布里渊散射得到更大的增益,因此所需后向受激布里渊散射的阈值光强也越低。这样就消除了相位共轭波与其它非线性效应在布里渊介质中的竞争效应。能够获得高质量的受激布里渊散射相位共轭波。

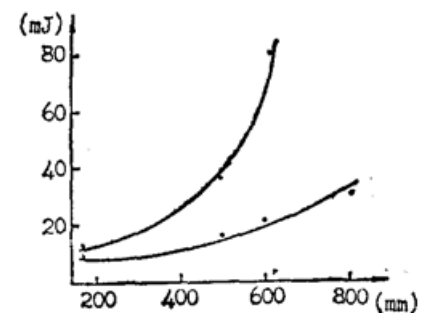


Fig. 6 Comparison between the energy of laser-induced breakdown (top curve) and threshold energy (bottom curve) as a function of focus length

结论:为了提高光学位相共轭波的输出能量,除了要尽可能采用非线性折射率系数  $\gamma$  低

的物质(例  $\text{CCl}_4$ )作为布里渊介质外,适当地增加会聚透镜的焦距  $f$ ,可显著地消除后向受激布里渊散射与自聚焦和光感应击穿之间的竞争效应。在文献[2]中,采用  $f=1020\text{ mm}$  的会聚透镜,获得了  $450\text{ J}$  的输出能量。

### 参 考 文 献

- [1] *Laser Program Annual Report 1987* Lawrence Livermore National Laboratory, 6~43.  
[2] V. N. Alekseev *et al.*; *Soviet J. Quant. Electron.*, 1987, 17, No. 3 (Mar), 455~458.

## The threshold behavior of the SBS phase conjugation

YANG JINGXIN AND MENG SHAOXIAN

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

(Received 10 April 1991; revised 27 May 1991)

### Abstract

The threshold behavior of backward Stimulated Brillouin Scattering (SBS) on  $\text{CCl}_4$  is reported in this paper. The threshold behavior of SBS as a function of focus length, pump pulse width, and divergence have been investigated. We show that the competing effects between SBS and other nonlinear can be eliminated by increasing appropriately the focus length.

**Key words:** threshold, SBS, laser-induced breakdown.