

# 有SBS场在内的四波混频过程

徐捷 陈钰明 何国珍

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文报道了用布里渊“镜”获得低于阈值的弱信号波前反演。用四波混频理论解释了该现象。

## Four-wave mixing effect in the existence of SBS field

*Xu Jie, Cheng Yuming, He Guozhen*

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

**Abstract:** In this paper, wavefront reversal of weak-signals below threshold using SBS “mirror” is reported. This phenomenon is explained by fourwave mixing theory.

### 一、引言

众所周知,在非线性介质中后向受激布里渊散射(SBS)与激发入射波成位相复共轭关系<sup>[1]</sup>,利用这个特性,可以补偿激光放大器介质或大气抖动所引起的信号波位相畸变<sup>[2,3]</sup>。所作的补偿实验都是在高于SBS阈值的条件下完成的。由于非线性介质的SBS阈值较高,而在入射波低于阈值强度时,就不可能获得波前反演;在稍稍超过阈值的条件下,由于激光器输出的强度涨落也会引起反射波强度的很大变化。因此,对于那些实验上不需要高于阈值很多倍的信号而言,比较难实现补偿效应。

最近,Basov及其合作者<sup>[4]</sup>提出了当一个频率为 $\omega$ 的弱探测光束入射到正在发生SBS过程的介质时,该弱探测光束同样产生斯托克斯频移的共轭反射波。

我们用多模调Q红宝石激光器作为泵浦波,用CS<sub>2</sub>作为非线性介质,观察到了低于受激布里渊散射阈值的弱信号的波前反演。

### 二、实验

实验装置如图1所示。多模染料调Q红宝石激光峰值功率约10兆瓦,经过透射80%的分束器M<sub>1</sub>分成强弱两束光A<sub>1</sub>和A<sub>4</sub>,然后经反射镜M<sub>2</sub>、取样尖劈板P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>和透镜L,将两束光同时聚焦到布里渊室,该室充以CS<sub>2</sub>液体,光导管内径3.5毫米,长500毫米,透镜焦长5厘米。A<sub>1</sub>和A<sub>4</sub>的夹角 $\theta$ 约为 $5.5 \times 10^{-2}$ 弧度,满足位相失配条件。在光导管内光束A<sub>1</sub>、A<sub>4</sub>各自呈内反射传播,其中入射到非线性介质CS<sub>2</sub>的A<sub>1</sub>光束的激光功率密度约64兆瓦/厘米<sup>2</sup>,它产生

收稿日期:1982年2月23日。

斯托克斯后向 SBS 波  $A_2$ 。弱光束  $A_4$  功率密度约 16 兆瓦/厘米<sup>2</sup>，在 CS<sub>2</sub> 介质的 SBS 阈值功率密度以下，其自身不能产生后向 SBS 波。当光束  $A_1$ 、 $A_4$  同时入射到 CS<sub>2</sub> 介质中时，由于非线性混频作用，光束  $A_4$  也产生斯托克斯共轭反射波  $A_3$ 。共轭反射光束  $A_2$ 、 $A_3$  经取样尖劈板拍摄的远场图样示于图 2。用氢氟酸腐蚀的平面玻璃使激发入射波故意畸变，可以观察到光束  $A_3$  的位相补偿现象。

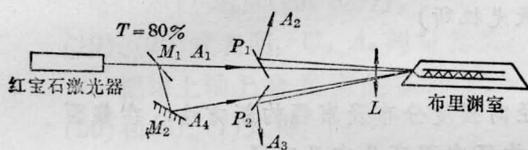


图 1 弱信号 SBS 实验装置图

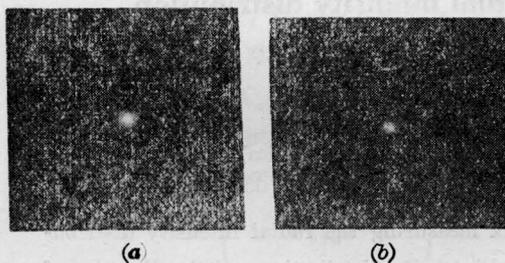


图 2 共轭反射波远场图

- (a) 由光束  $A_1$  产生的 SBS 光束  $A_2$ ;  
 (b) 当光束  $A_1$ 、 $A_4$  同时存在时产生的  
 $A_4$  的共轭反射光束  $A_3$

### 三、讨 论

由于受激布里渊散射的阈值特性，在阈值以下的弱探测波将不发生受激散射效应，而当有强泵浦波存在时能得到弱探测波的共轭反射波，我们认为实际上这是四波混频过程，在不忽略布里渊声子引起的频移的情况下，可用二重简并四波混频理论来解释。

作用于 SBS 非线性介质的几何图示于图 3。取平面波近似，各个波的电场表示为：

$$E_i(\mathbf{r}, t)$$

$$= \frac{1}{2} A_i(\mathbf{r}) \exp[i(\omega t - \mathbf{k}_i \cdot \mathbf{r})] + c.c.,$$

$$i=1, 2, 3, 4,$$

其中包括一个频率为  $\omega$  的强泵浦波  $E_1$  (SBS 阈值以上)，一个频率为  $\omega_s$  的斯托克斯波  $E_2$ ，一个频率为  $\omega$  的弱泵浦波  $E_4$  (SBS 阈值以下)，以及一个频率为  $\omega_s$  的弱斯托克斯波  $E_3$ 。其非线性作用长度为  $L$ 。根据二重简并的四波混频理论，非线性极化强度可以表示为<sup>[5]</sup>：

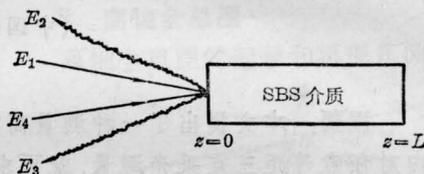


图 3 SBS 作用几何图

$$\rho^{NL}(\omega_s) = \frac{3}{4} \chi^{(3)} A_1 A_2 A_4^* \exp i \times [(\omega_1 + \omega_2 - \omega_4) t - (\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_4) \cdot \mathbf{r}]$$

式中

$$\omega_1 = \omega_4 = \omega$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_s$$

$$\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_4 = \mathbf{k}_3$$

由于在 SBS 过程情况下  $A_2 \propto A_1^*$ ，上式变为

$$\rho^{NL}(\omega_s) = \frac{3}{4} \chi^{(3)} A_1 A_1^* A_4^* \exp i[\omega_s t - \mathbf{k}_3 \cdot \mathbf{r}]$$

这说明， $E_3$  和  $E_4$  波的耦合是四波混频现象，但只有在 SBS 出现时才能发生。因此，我们也可以将它称为包括 SBS 场在内的四波混频过程。当由于布里渊声子引起的频移  $\Delta\omega$  可以忽略时，该过程即是简并的四波混频过程。

### 参 考 文 献

- [1] B. Ya Zeldovich, V. I. Popovichev; *JETP Lett.*, 1972, **15**, 109.
- [2] 徐捷等;《激光》, 1981, **8**, No. 5, 41.
- [3] 陈钰明等;《物理》, (待发表).
- [4] N. G. Basov, L. G. Zubarev; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1976, **9**, 237.
- [5] 吴存恺等;《中国科学》, 1980, No. 11, 1111.