

鉴别 CS₂ 介质受激喇曼散射和受激布里渊散射 阈值的微小差异的实验方法

郑晋玲 黄茂全 张 云

(山西大学光电研究所, 太原 030006)

摘要 本文提出一个测试 CS₂ 介质受激喇曼散射和受激布里渊散射阈值的微小差异的实验方法, 并成功地获得阈值稍低的受激喇曼散射, 而抑制了受激布里渊散射。

关键词 受激喇曼散射, 受激布里渊散射, 阈值

中图法分类号 O431

我们知道, 产生受激喇曼散射和受激布里渊散射有一定的阈值, 因而这两种过程是互相竞争的。对于受激喇曼散射的阈值和受激布里渊散射的阈值可相比拟的介质来说, 两种过程将可能同时出现; 否则只可能出现一种过程, 另一种过程被抑制。前人研究成果指出: CS₂、苯、硝基苯以及丙酮等物质属于前者; 而水、CCl₄、石英和青玉等物质属于后者, 它们的受激布里渊散射的阈值比受激喇曼散射阈值低, 所以当受激布里渊散射出现时, 受激喇曼散射效应被抑制^[1]。一般而言, 属于第一类的 CS₂、苯、硝基苯等物质, 其受激喇曼散射和受激布里渊散射阈值完全相等的可能性极小, 只要实验方法得当, 就有可能鉴别出阈值的微小差异, 还可能像第二类那样, 获得阈值稍低的受激喇曼散射(或受激布里渊散射)而抑制另一个受激布里渊散射(或受激喇曼散射)。从而排除两种过程同时出现。下面我们将以 CS₂ 为例进行实验研究。

1 实验设计思想

要鉴别 CS₂ 介质的受激喇曼散射和受激布里渊散射的阈值的微小差异, 必须高精度地控制泵浦激光束的功率密度, 使其能正好处于二者阈值之间。显然, 这靠一般脉冲激光器的功率

控制是无能为力的。我们知道,改变激光器的输出损耗,就可改变激光腔内的功率密度,如果我们能设法利用 CS₂ 的受激喇曼散射(或受激布里渊散射)非线性效应来自动调整激光器的腔内功率密度,使其激光器的腔内功率密度正好稳定在阈值较低的受激喇曼散射(或受激布里渊散射)的阈值附近,就可以达到只出现阈值低的受激喇曼散射(或受激布里渊散射),而抑制另一个受激布里渊散射(或受激喇曼散射)。从而排除两种过程的同时出现,我们提出直接利用非线性介质 CS₂ 盒,既作为 Nd:YAG 激光器的输出镜,又作为窄带滤波器,巧妙地将四波混频过程和受激喇曼散射(或受激布里渊散射)过程结合起来,得到如图 1 所示的实验方案。

2 工作原理

图 1 为鉴别实验示意图, P₁、P₂ 为薄膜偏振片按布氏角放置, CS₂ 盒长为 35mm。

M₁ 为透射率 T₁ = 96% 的石英片, M₂、M₃ 为全反射镜, M₁、P₁、P₂、M₃ 组成 S 偏振光辅助腔, 旋转 $\frac{\lambda}{4}$ 波片使辅助

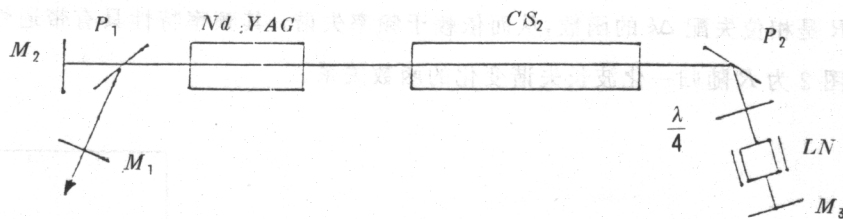


图 1 实验装置

腔处于开门状态。氙灯泵浦使介质反转粒子数 Δn 增长, 当 $\Delta n = \Delta n_{max}$ 时, 打开 Q 开关, 通过调整晶体电压 V, 控制 S 偏振光强低于受激喇曼散射和受激布里渊散射阈值。对 CS₂ 盒来说, S 光正是四波混频过程中的泵浦光 E₁ 和 E₂, 从而使 CS₂ 盒变成一个共线四波混频相位共轭镜 (PCR), 由于 CS₂ 的三阶非线性极化张量相应的非对角元素不为零

$$\frac{\chi_{yzxy}^{(3)}}{\chi_{xxxx}^{(3)}} = 0.706^{[2]}$$

因此, 可以将 S 光经棒退偏而形成的 P 偏振光(与 S 偏振光正交)视为四波混频的信号光, 随即产生后反射相位共轭光。也就是说 P 偏振光可以在 M₂ 和 PCR 组成的谐振腔中迅速形成振荡。PCR 还具有非常好的滤波特性。简要介绍如下:

由近简并四波混频 (DFWM) 光学相位共轭理论^[3], 相位共轭反射镜的反射率 R 为

$$R = \frac{|gL|^2 \text{tg}^2(\beta L)}{\beta^2 + \frac{\Delta k}{2} \text{tg}^2(\beta L)} = \frac{|gL|^2 \text{tg}^2(\beta L)}{(gL)^2 + \left(\frac{\Delta k L}{2}\right)^2 + \sec^2(\beta L)} \quad (1)$$

其中

$$g^* = -\frac{1}{k} 3\mu\epsilon_0\omega^2\chi^{(3)}E_1E_2$$

$$\beta^2 = g^2 + \left(\frac{\Delta k}{2}\right)^2$$

当非线性耦合很弱,即

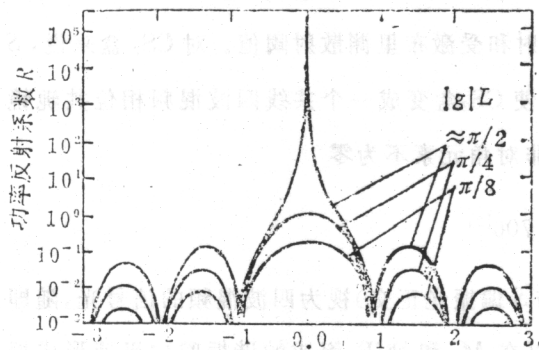
当 $\left|\frac{g}{\Delta k}\right| \rightarrow 0$ 时

$$\beta^2 = \left(\frac{\Delta k}{2}\right)^2,$$

此时

$$R \approx |gL|^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\Delta kL}{2}\right)}{\left(\frac{\Delta kL}{2}\right)^2} \quad (2)$$

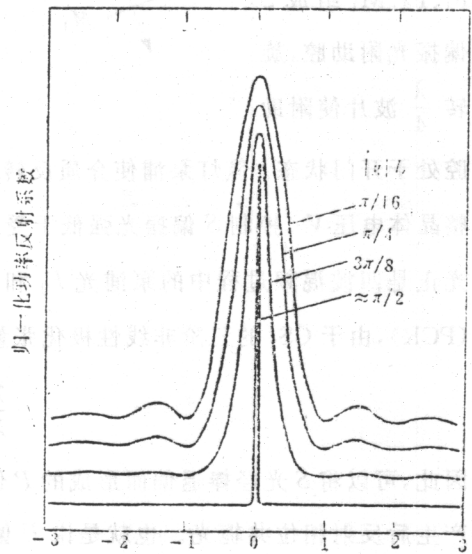
R 是相位失配 Δk 的函数,从而依赖于频率失谐,其频率特性具有带通性,故可以用作过滤器,图 2 为 R 随归一化波长失谐变化的函数关系。



归一化波长失谐量 Ψ

图 2 以 $|g|L$ 为参量,功率反射系数 R

与归一化波长失谐量 ψ 的关系曲线



归一化波长失谐量 Ψ

图 3 归一化功率反射系数与归

一化波长失谐量的关系曲线

$\psi = \frac{\Delta k}{2\pi} = \frac{\Delta \lambda n L}{\lambda^2}$, 图 3 中的每条曲线都是在将图 2 中相应曲线的反射系数 R 对其峰值归一化后得到。很明显, 随着 $|g|L$ 的增大, 通带的宽度变窄, 边瓣结构也随之变小, 带通响应更加尖锐, 在接近振荡时 ($|g|L \approx \frac{\pi}{2}$) 通带宽的极限为泵浦激光源的线宽 CS₂ 的布里渊频移 $\sim 0.1\text{cm}^{-1}$ 喇曼频移 656.3cm^{-1} 均远大于激光线宽 (通带带宽)。图 2 与图 3 来自参考文献[4]。

当 P 偏振光逐步增强到受激喇曼散射 (或受激布里渊散射) 阈值时, 出现受激喇曼散射 (或受激布里渊散射)。如果受激喇曼散射阈值低, 首先出现受激喇曼散射, 其频移大于激活介质的增益带宽, 也远大于 PCR 带宽, 完全输出到腔外, 等价于腔输出损耗加大, 使腔内功率密度降低, 腔内功率密度越高, 受激喇曼散射越强, 等价腔输出损耗也越大, 使腔内功率密度降低也就越多。这样, 在泵浦一定的情况下, 腔内功率密度被非线性喇曼效应限制在这个较低的受激喇曼阈值附近, 抑制了受激布里渊散射; 如果受激布里渊散射阈值较低, 受激布里渊后向散射首先出现, 受激布里渊散射在激活介质线宽以内, 经棒往返放大仍因其远离 PCR 带宽完全输出到腔外, 同样等价于腔输出损耗加大, 使腔内功率密度限制在受激布里渊附近, 而抑制了受激喇曼散射。

3 实验结果及结论

1. 定性观察, 输出经倍频后出现桔黄色。

2. 利用 WDG30 光栅单色仪测量倍频输出, 测得 $0.532\mu\text{m}$ 和 $0.570\mu\text{m}$ 两条谱线。 $0.570\mu\text{m}$ 线与受激喇曼散射理论值 $0.568\mu\text{m}$ 基本相符。

3. 受激布里渊散射谱线的测试

如果在上述受激喇曼散射出现的情况下, 而没有受激布里渊散射, 即受激布里渊散射被抑制, 就证明了受激喇曼散射阈值低于受激布里渊散射阈值。一般受激布里渊散射频移比纵横间隔 ($\sim 0.005\text{cm}^{-1}$) 要大得多。如 CS₂ 在红宝石激光 $0.6943\mu\text{m}$ 泵浦下, 受激布里渊频移 $(\Delta\nu)_{\text{max}} \sim 0.19\text{cm}^{-1}$ [5], 根据

$$(\Delta\nu)_{\text{max}} = \pm \frac{2\nu_1 v_1}{C} \quad [6]$$

ν_1 是泵浦光频率, n_1 是介质折射率, v_1 是介质声速。我们可以算出在 $1.06\mu\text{m}$ 泵浦下的

$$(\Delta\nu)'_{\text{max}} = \frac{\lambda}{\lambda'} \Delta\nu_{\text{max}} = \frac{6943}{1064} \Delta\nu_{\text{max}} \approx 0.1266\text{cm}^{-1}$$

考虑到色散, 即不同波长折射率也不同, 我们取 $\Delta\nu_{\text{max}} \approx 0.1\text{cm}^{-1}$ 。这样我们就可以选择合适的标准具, 让其只能分辨受激布里渊散射频移, 而不能分辨多纵模结构。也就是说, 如果有受激布

里渊散射频移将出现多环结构,没有受激布里渊频移就是单环结构。为此,我们选厚度 $d = 5\text{mm}$ 精细度 $F = 40$ 的 F-P 标准具,其分辨率 $\frac{1}{2}dF = \frac{1}{40}\text{cm}^{-1}$,完全可以清楚地测出频移为 0.1cm^{-1} 的受激布里渊散射。测得照片如图 4 所示。单环结构。表明没有受激布里渊散射出现。

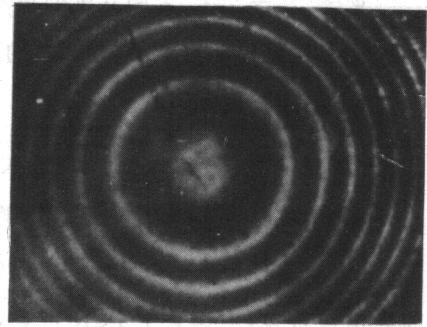


图 4 实验结果

通过上述实验鉴别出 CS_2 介质的受激喇曼散射的阈值低于受激布里渊散射阈值,并成功地获得阈值稍低的受激喇曼散射而抑制了受激布里渊散射。

参考文献

- 1 过己吉. 非线性光学,西安:西北电讯工程学院出版社出版,1986,243
- 2 R. W. Hellwarth. *Prog. Quant. Electr.* 1977, 5:1
- 3 过己吉. 非线性光学,西安:西北电讯工程学院出版社出版,1986,353
- 4 过己吉. 非线性光学,西安:西北电讯工程学院出版社出版,1986,244
- 5 过己吉. 非线性光学,西安:西北电讯工程学院出版社出版,1986,355
- 6 范琦康等. 非线性光学,南京:江苏科学技术出版社,北京:电子工业出版社,1989,138~139

Experimental Method for Distinguishing Slight Difference between Thresholds of SRS and SBS in CS_2

Zheng Jinling Huang Maoquan Zhang Yun

(Institute of Opto-Electronics Shanxi University, Taiyuan 030006)

Abstract

The experimental method for distinguishing the slight difference between thresholds of SRS and SBS in CS_2 has been presented, Using the proposed method the SRS with lower threshold has been successfully observed and the SBS has been suppressed.

Key words Stimulated Raman scattering, Stimulated Brillouin Scattering, threshold