

人造非线性介质的简并的四波混频

吴存恺 李晓峰* 王志英

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文报道了一种人造非线性介质——悬浮粒子溶液的简并的四波混频作用。用调Q Nd:YAG 倍频激光作泵浦源,测得这种介质的三阶非线性极化率 $\chi^{(3)} \sim 5.10 \times 10^{-2}$ esu, 此值为 CS₂ 的值的三倍。用连续波读出光束测量了密度光栅的衰变时间。

一、引 言

近几年来已在固体、液体、气体、半导体及等离子体等各种介质中观察到了简并的四波混频作用^[1]。简并的四波混频是一种三阶非线性光学现象,因为任意介质都具有非零三阶非线性光学极化率,故原则上所有介质都可以观察到简并的四波混频作用。

简并的四波混频作用可以来自各种物理机制:克尔效应、热致效应、激发态粒子数分布、分子取向、电致伸缩效应及激光诱导声波等^[2]。来自这些不同物理机制的后向波具有不同的时间特性^[3]。简并的四波混频还可能来自局域场效应。若在介质中具有非均匀场分布,那么粒子将受到一个与光场梯度成正比的力 $F \propto \nabla(E^2)$, 式中 E 为光波电场。这个力很类似于电致伸缩力。在该力作用下,粒子要发生迁移。如果介质中的光波场是空间周期调制的,那么在光波场梯度力作用下,粒子的密度就会呈现相应的空间周期调制。知道介质的折射率 $n = (n_0^2 - 1)(n_0^2 + 2)(\Delta\rho/\rho_0)6n_0$, 这样一来,在介质中由于密度的变化形成了相位光栅,这就产生了后向共轭波。

如果在液体介质中放置一些与波长相比是小的电介质球,就会使光场梯度力效应更为显著。Smith 等人首先报道了这种人造的悬浮粒子溶液的连续波简并的四波混频作用^[4]。本文用石油醚作基质溶剂,用 Span-20 添加剂作悬浮电介质球,制备出一种新的人造非线性介质,用这种介质得到的简并的四波混频后向波信号比 OS₂ 强近 9 倍。这种悬浮粒子溶液很容易制备,有广泛适用性。

二、实验装置和结果

简并的四波混频的实验装置如图 1 所示。来自调 Q Nd:YAG 倍频 5320 Å 的脉冲激光由透射反射比为 1:2 的分束镜 BS₁ 分束。透射光束通过焦距 $f=1.2$ m 透镜聚焦,然后再经

收稿日期: 1984 年 7 月 17 日

* 成都电讯工程学院 1984 届毕业实习生。

透射反射比近似为 1:1 的分束镜 BS_2 分束。其反射光束经取样镜 BS_3 入射到四波混频介质 C 中, 此光束作为物波, 记为 E_3 ; BS_2 的透射光束经全反射镜 M_1 反射也入射到介质 C 中, 此光束为泵浦光束, 记为 E_1 。调节 M_1 和 BS_2 使 E_1 和 E_3 二光束在介质内相交, 在我们的实验中, 这两束光的夹角约为 4.5° 。 BS_1 的反射光束经 $f=4\text{ m}$ 透镜和直角棱镜 P 投射到立方顶角棱镜 CP 上。返回光束经 $f=1\text{ m}$ 透镜聚焦后, 经全反射镜 M_2 反射, 投射到 C 中。此光束为读出光束, 记为 E_2 。移动棱镜 CP , 可以改变读出光束的延迟时间, 从而可以测量出向后共轭波强度随读出光束延迟时间的变化曲线, 由该曲线可以得到粒子密度光栅的衰变时间。在我们的实验中, E_1 和 E_3 波的能量约为 2.5 mJ , E_2 波能量约为 4.5 mJ , 激光脉冲半最大主宽度约为 10 ns 。为了测量光栅的衰变时间, 读出光束可以采用连续波氩离子激光^[6]。

我们的人造非线性介质是石油醚中加入 5% Span-20 添加剂的悬浮粒子溶液, 粒子球的直径约为 $0.25\text{ }\mu\text{m}$, 介质盒有效长度为 1 mm 。

由文献[6]的测量知道, 对于 CS_2 介质, 后向共轭波的峰值相应于读出光束的延迟时间近似为 5 ns , 因此我们把棱镜 CP 置于此处。用脉冲读出光束, 测量了悬浮粒子溶液和 CS_2 的后向共轭波强度。在相同条件下, 前者的后向波强度是后者的 9 倍。于是得人造非线性介质的三阶非线性极化率 $\chi^{(3)} \sim 5.1 \times 10^{-12}\text{ esu}$ 。

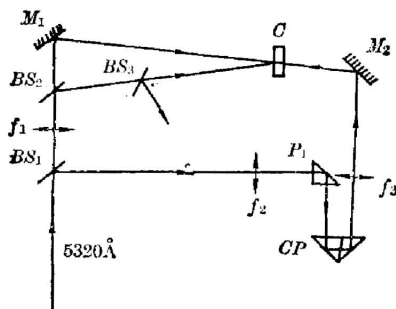


图1 简并的四波混频的实验装置

Fig. 1 Experimental set-up for degenerate fourwave mixing



图2 用连续波读出光束得到的后向波(密度光栅)的时间特性

Fig. 2 Temporal characteristics of the backward wave (The density grating) obtained by a continuous reading beam

使用连续氩离子激光作读出光束, 其后向波用快速硅光二极管接收, 示波器显示可以测量密度光栅的衰变时间。示波器用脉冲激光触发, 测量得到的后向波强度的衰变曲线如图2所示。示波器扫描时间为 50 ms/div 。由图可知密度光栅的衰变时间近似为 250 ms 。当用脉冲激光作读出光束时, 延迟时间达 30 ns 期间, 后向波强度几乎没有明显变化。由图2知粒子密度光栅达到其峰值所需要的形成时间约为 80 ms , 这远大于其它物理机制所产生的相位光栅的建立时间^[2, 3]。

三、讨 论

由于光波场 E_1 和 E_3 相干涉, 在介质中建立起光场强度的周期分布, 其波长(条纹间隔)为

$$\Delta = \frac{\lambda}{2n \sin \theta/2},$$

式中 θ 为 \mathbf{E}_1 和 \mathbf{E}_3 束间的夹角, 在我们的实验条件下 $n=1.39$, $\lambda=0.53\mu\text{m}$, 于是得 $\Delta \simeq 4.9\mu\text{m}$ 。

我们知道光波场梯度力为

$$\mathbf{F} = \alpha \nabla \langle E^2 \rangle_{\text{平均}},$$

式中 α 为比例常数, $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_3$, 知

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{2} A_1 \exp \left[-i \left(\omega t - k_1 y \sin \frac{\theta}{2} - k_1 z \cos \frac{\theta}{2} \right) \right] + \text{c. c.},$$

$$\mathbf{E}_3 = \frac{1}{2} A_3 \exp \left[-i \left(\omega t + k_3 y \sin \frac{\theta}{2} - k_3 z \cos \frac{\theta}{2} \right) \right] + \text{c. c.},$$

于是得

$$E^2 = \frac{1}{2} |A|^2 \exp \left(-i \frac{2\pi}{\Delta} y \right) + \text{c. c.},$$

其中假设 $A_1 = A_3 = A$ 。这样一来, 梯度力变为

$$\mathbf{F} = \left\{ \frac{1}{2} \frac{2\pi}{\Delta} |A|^2 \exp \left[-i \left(\frac{2\pi}{\Delta} y + \frac{\pi}{2} \right) \right] + \text{c. c.} \right\} \mathbf{j},$$

此式表明光波场梯度力具有如下特点: 第一, 该力的方向沿 \mathbf{j} (即 \hat{y}) 方向, 即与干涉条纹垂直, 这当然是采用无穷大平面波近似的结果。如果光波场的横向分布是非均匀的也会有其它方向的力, 但一般来说都比 \hat{y} 方向上的梯度力小得多; 第二, 该梯度力具有空间周期调制特性, 且其波长等于干涉条纹间隔 Δ , 这是所预料的; 第三, 梯度力与场分布有 $\pi/2$ 相位差, 这是因为在干涉条纹极值处梯度为零。这表明粒子向干涉条纹的极大值和极小值处迁移, 因此粒子密度光栅的周期为干涉条纹周期的二倍; 第四, 梯度力的振幅与 Δ 成反比, 这是因为 Δ 越小, 场的梯度越大。

密度光栅的衰变时间由粒子因热扩散(布朗运动) $\Delta/4$ 所需要的时间确定, 它为^[7]

$$\tau_D = \frac{3\pi r \eta \Delta^2}{16 kT},$$

式中 r 为电介质悬浮粒子半径, η 是液体的粘滞系数, k 是玻尔兹曼常数, T 为绝对温度。在我们的实验条件下, 求得 $\tau_D \approx 230 \text{ ms}$, 这与实验测量基本一致。

悬浮粒子溶液是一种具有大的克尔非线性的宽带响应介质且很容易制备, 缺点是响应时间很长。

参 考 文 献

- [1] «Optical Phase Conjugation», Robert A. Fisher Ed.; (Academic Press N. Y. 1983).
- [2] 吴存恺; «量子电子学», 1984, 1, No. 1 (Mar), 11.
- [3] C. K. Wu(吴存恺), P. Agostini, G. Petite, F. Fabre; *Opt. Lett.*, 1983, 8, No. 2 (Feb), 67.
- [4] P. W. Smith, A. Ashkin, W. J. Tomlinson; *Opt. Lett.*, 1981, 6, No. 6 (Jun), 284.
- [5] 吴存恺, 周烽, 王志英; «光学学报», 1984, 4, No. 2 (Feb), 112.
- [6] 吴存恺, 周烽, 王志英; «光学学报», 1984, 4, No. 8 (Aug)
- [7] C. Kittel; «Elementary Statistical Physics», (Wiley, New York, 1961).

Degenerate four-wave mixing in an artificial nonlinear medium

WU CUNKAI LI XIAOFENG AND WANG ZHIYING

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

(Received 17 July 1984)

Abstract

In this paper degenerate four-wave mixing have been demonstrated using an artificial nonlinear medium — a liquid suspension. Using laser pulses from SH of a Q-switched Nd:YAG laser system as pumping beam, the third-order nonlinear optical susceptibility $\chi^{(3)}$ of the aerosols was measured which is greater than that of CS₂ by a factor of 3. The decay time of the density grating was measured by using a continuous reading beam.