

二重简并四波混频中的双波长再现

吴存恺 周 烽* 王志英
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文首次演示了双波长后向再现波。在二重简并的四波混频中,使用脉冲调Q Nd:YAG 倍频 5320 Å 激光辐射作为写入束和物光束,连续氩离子激光辐射作为读出束,得到了通常的 5145 Å 再现现象。同时还观察到了 5320 Å 后向再现波。这两个不同波长的再现波同时出现,但它们有不同的时间特性。理论分析与实验结果一致。

一、引 言

近几年来,简并的四波混频引起了人们很大兴趣,因为用这种方法可以高效率地获得位相复共轭后向波,这在自适应光学技术、信息储存和处理、位相畸变的修正等各方面是极有用的。简并的四波混频可以比拟为光学全息照相^[1]。如果写入光波与读出光波是使用相同的频率的激光辐射,则是通常的简并的四波混频。也可以使用与记录光波不同的另一波长的光波来作为读出光束,从而用不同频率的光波来实时再现记录的信息,这就是二重简并的四波混频。我们已经用这种方法实现了红外到可见象的转换^[2]。本文报道采用二重简并的四波混频,可以同时得到两个波长的再现波。这两束再现波具有不同的时间特性,并且依照位相匹配条件的要求沿着不同方向传播。

二、实验结果

我们所采用的实验装置如图1所示。来自调Q Nd:YAG 振荡放大系统的 1.06 μm 激光辐射经 KDP 晶体倍频。倍频晶体输出辐射经色散棱镜 P, 将剩余的 1.06 μm 激光偏转出光路。5320 Å 绿光经全反射镜 M₁ 反射后,由光束分束镜 BS 分成两束。此分束镜的透射反射比约为 1:1.5。反射光束直接投射到介质盒 O 中,透射光束经半反射镜 M₂ 反射也投射到介质盒 O 中。这样得到的物光束 3 和写入(在全息照相中的参考)光束 1 的强度比约为 1:3,其能量分别为 1.2 mJ 和 3.5 mJ。在 Nd:YAG 振荡器中,使用辐照的 LiF 晶体作为调 Q 元件,5320 Å 激光脉冲半最大全宽度约为 10 ns。读出光束 2 是连续氩离子激光辐射,经反射镜 M₃ 反射投射到介质盒 O 中。调节反射镜 M₂ 和分束镜 BS,使光束 1 和光束 3 在介质盒内相交。调节反射镜 M₃ 的位置和角度,使得光束 2 沿着满足位相匹配条件的方向传播,如图2所示,并且在介质盒 O 中与光束 1 和光束 3 相交。在我们的实验中,

收稿日期:1983年6月6日;收到修改稿日期:1983年8月4日

* 浙江大学光仪系 1983 届实习生

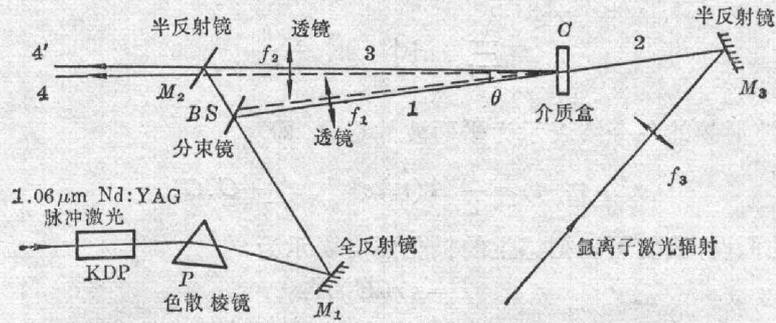


图 1 二重简并四波混频实验装置

Fig. 1 Experimental setup for doublet degenerate four-wave mixing

光束 1 和光束 3 之间的夹角约为 14 mrad, 使用的介质是 Coumarin 152 染料二氯乙烷溶液, 溶液浓度为 10^{-4} mol。介质的有效长度为 8 mm。当光波传播矢量 k_i 满足图 2 所示的位相匹配条件时, 可以同时得到两个波长的再现波: 一个再现波沿着 4 方向传播, 波长为 5145 Å; 另一个再现波沿着 4' 方向传播, 波长为 5320 Å。这两束再现波的夹角约为 0.3 mrad。用光栅光谱仪测量了这两组再现波的波长, 如图 3 所示。在 5145 Å 处可以明显看到散射光背底, 一般来说, 在 5320 Å 处的再现波较强。这两个不同频率的再现波除了传播方向不同外, 其时间特性也是不同的。其中 5320 Å 再现波的时间特性与 Nd:YAG 调 Q 倍频激光辐射一致, 而 5145 Å 再现波有较长的弛豫时间, 其指数衰变时间为微秒级。这与已发表的关于有机染料溶液热光栅的弛豫时间一致^[5]。

用若丹明 6G 酒精溶液, CS₂ 等液体介质同样观察到双波长再现波, 但这些介质的再现波强度较低, 没有作进一步测量。

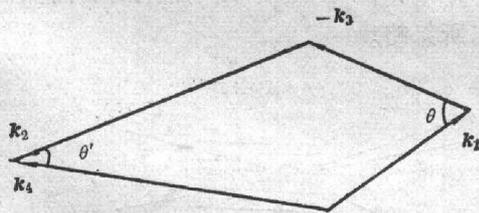
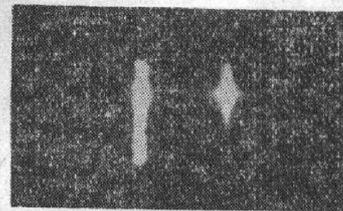


图 2 二重简并四波混频中位相匹配条件
 $k_1 + k_2 - k_3 = k_4$

Fig. 2 The phase-matching diagram in doublet degenerate fourwave mixing
 $k_1 + k_2 - k_3 = k_4$



5145 Å 5320 Å
图 3 两组不同频率的再现波

Fig. 3 Two backward reconstructed waves with different wavelenghtes

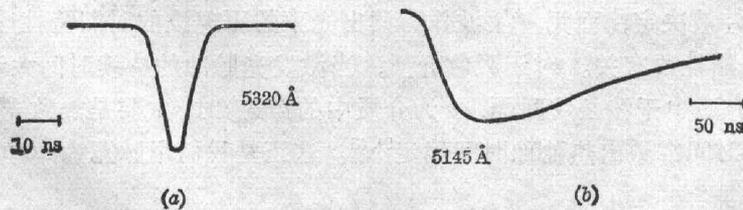


图 4 再现波的时间特性

Fig. 4 Time character of the reconstructed waves

三、讨 论

若参与四波混频的各个波表示为平面波的形式,即

$$\mathbf{E}_i(\mathbf{r}_i, t) = \frac{1}{2} \mathbf{A}(\mathbf{r}_i) e^{i(\omega t - \mathbf{k}_i \cdot \mathbf{r}_i)} + C.C.$$

按照文献[3]的假设,我们可以把感生的极化强度表示为

$$\mathbf{P} = \varepsilon \chi(\mathbf{E}) \mathbf{E},$$

其中非线性极化强度 \mathbf{P}^{NL} 可表示为

$$\mathbf{P}^{NL} = \varepsilon_0 \chi^{(3)} \{ (\mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2) \cdot (\mathbf{A}_3 + \mathbf{A}_4)^* + (\mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2)^* \cdot (\mathbf{A}_3 + \mathbf{A}_4) \\ (\mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2 + \mathbf{A}_3 + \mathbf{A}_4) + C.C. \}.$$

将此表达式展开后得

$$\mathbf{P}^{NL} = \varepsilon_0 \chi^{(3)} [(\mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{A}_3^*) \mathbf{A}_2 + (\mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{A}_3^*) \mathbf{A}_1 + (\mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{A}_4^*) \mathbf{A}_2 \\ + (\mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{A}_4^*) \mathbf{A}_1 + \dots],$$

式中括号中的第一项表示场 \mathbf{E}_1 和 \mathbf{E}_3 相干涉, 在非线性质中形成一组体光栅, 这个光栅用场 \mathbf{E}_2 读出; 第二项表示场 \mathbf{E}_2 和 \mathbf{E}_3 相干涉形成体光栅, 这个光栅用场 \mathbf{E}_1 读出; 类似地, 第三项表示场 \mathbf{E}_1 和场 \mathbf{E}_4 相干涉形成体光栅, 这个光栅用场 \mathbf{E}_2 读出; 第四项表示场 \mathbf{E}_2 和 \mathbf{E}_4 相干涉形成体光栅, 这个光栅用场 \mathbf{E}_1 读出, 等等。对于二重简并的四波混频, $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_3$ 波与 $\mathbf{E}_2, \mathbf{E}_4$ 波是使用不同波长的, 因此不存在第二项和第三项引起的体光栅, 第一项正是 5145 \AA 的再现波, 第四项为 5320 \AA 再现波, 如图 5 所示。这表明第一项引起的再现波 \mathbf{E}_4 与读出波 \mathbf{E}_2 相干涉, 形成一组体光栅, 用原来的写入光束 \mathbf{E}_1 作为此光栅的读出光束, 从而得到 5320 \AA 再现波。在普通的简并四波混频中, 上述各项所产生的后向波混在一起无法分辨, 因此后面这一项的贡献往往被人们所忽略。

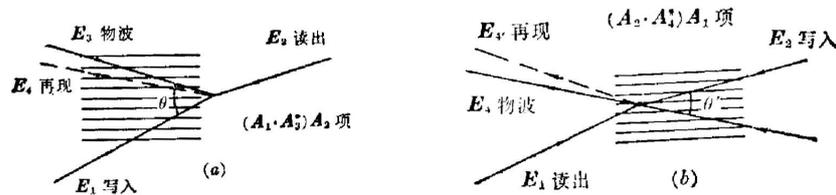


图 5 二重简并四波混频中双波长再现全息照相模拟

Fig. 5 Formal analogy between two-wavelength reconstructed waves in doublet degenerate four-wave mixing and holography

由于 \mathbf{E}_2 波为连续波, \mathbf{E}_1 和 \mathbf{E}_3 波为脉冲波, 因此用 \mathbf{E}_1 波作为读出光束的再现波的时间特性主要由 \mathbf{E}_1 波决定, 而用 \mathbf{E}_2 波作为读出光束的再现波的时间特性应与 \mathbf{E}_1 和 \mathbf{E}_3 波相干涉形成的光栅性质有关。对于吸收介质, 当激发光脉冲的持续时间大于特征时间 $T = \lambda/v$ (式中 λ 为介质中干涉条纹间隔, v 为介质中的声速) 时, 主要是热致光栅效应, 它按指数衰变, 其衰变时间常数由热弛豫时间确定^[4,5]。这正是我们用脉宽为 10 ns 激发光脉冲所得到的实验结果。

在二重简并的四波混频中, 由于不同波长的再现波沿着不同的方向传播, 因此很容易把它们分开。

作者对胡企铨同志在实验上所给予的许多帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] A. Yariv; *IEEE J. Quantum Electronics*, 1978, **QE-14**, No. 9 (Sep), 650.
- [2] 吴存恺, 范俊颖, 王志英; 《中国科学》, 1980, **11**, (Dec) 1111.
吴存恺, 范俊颖, 王志英; *Scientia Sinica*, 1981, **24**, No. 3 (Mar), 425.
- [3] 范俊颖, 吴存恺, 王志英; 《物理学报》, 1980, **29**, No. 7 (July), 897.
- [4] G. Martin, R. W. Hellwarth; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**, No. 6 (15 Mar), 371.
- [5] 庞胜敏, 姚敏言, 郭奕理; 《清华大学学报》, 1982, **22**, No. 4 (Dec), 1.

Two-wavelength reconstruction in doublet degenerate four-wave mixing

WU CUNKAI CHOU FENG AND WANG ZHIYING

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

(Received 6 June 1983, revised 4 August 1983)

Abstract

The demonstration of two-wavelength backward reconstructed waves is reported for the first time in this paper. In doublet degenerate four-wave mixing, using laser pulses from SH of the Q-switched Nd:YAG laser system as a writing-beam and an object-beam, and a continuous Ar⁺-laser as a readout-beam, a reconstructed wave at 5320 Å is obtained besides a reconstructed wave at 5145 Å which was observed in common doublet degenerate four-wave mixing. These reconstructed waves with different wavelengths propagate along different directions and the time characterd of them are different. These results are in agreement with theoretical analysis.

《四川激光》改名为《激光杂志》

《四川激光》于1975年创刊, 1979年复刊。开始为内部发行, 1981年经四川省人民政府有关部门批准为公开发行人。为了更好地适应我国激光科学技术发展的需要, 经编委(扩大)会讨论决定更改刊名。现经中共四川省委宣传部和四川省科委审查批准, 从1984年1月起改名为《激光杂志》, 仍以反映激光应用为主, 国内外公开发行人。欢迎投稿并订阅。

本刊编辑部通讯地址: 重庆市 2314 信箱。国内由重庆市邮局总发行, 各地邮局均可办订阅手续。国外由北京中国出版对外贸易总公司办理订阅手续。

《激光杂志》编辑部启(原《四川激光》)

一九八四年元月