

多模 TEA CO₂ 激光位相复共轭的实验研究

邹海兴 陈兰英 张宝富

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文报导了 TEA CO₂ 激光在谐振吸收介质 SF₆ 和增益 CO₂ 介质中的多模位相复共轭效应。实验上我们获得了与单模情况相近的位相复共轭波反射率。

Experimental study on phase conjugate of multimode TEA CO₂ lasers

Zou Haixin, Chen Lanyin, Zhang Baofu

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

Abstract: In this paper, we report the phase conjugate effects of multimode TEA CO₂ lasers in saturable absorber SF₆ and active medium CO₂. The reflectivity of multimode phase conjugate wave is close to that of the longitudinal monomode.

一、引言

自 Zel'dovich 等^[1] 首先讨论受激布里渊散射产生位相复共轭反射波的概念以来, 在非线性和物质相互作用过程中, 诸如受激喇曼散射、三波混频、四波混频都可产生位相复共轭反射波。共轭反射波的位相分布将严格地等于进入严重畸变介质之前的入射波面。因此, 位相复共轭反射具有自动补偿位相畸变的功能。这在许多重要场合, 都将得到应用, 受到人们的重视。Hellwarth^[2] 提出了简并四波混频获得复共轭波的概念, 使实验大大简化。Abrams 和 Lind^[3] 提出了吸收介质(包括增益介质)的四波混频理论, 推动了实验工作向多样化、高效率方面发展。

Lind^[4] 在 SF₆ 中观察到单纵模 CO₂ 激光的简并四波混频效应。Fisher^[5] 等在 TEA CO₂ 激光器内 CO₂ 增益介质中观察到单纵模的简并四波混频的位相复共轭波及其放大效应。在强激光应用上, 更有意义的是多纵模, 甚至是多横模, 或多波长的位相复共轭效应。为此, 我们进行了单横模多纵模 TEA CO₂ 激光的位相复共轭研究。由于复共轭效应是 SF₆ 和 CO₂ 增益介质本身的, 因此, 在 10.4 微米带 P₁₀(20) 线附近, 波长效应不显著。

二、实验考虑及其实验布置

我们仅进行单一谱线、单横模、多纵模的

收稿日期: 1982年2月1日。

位相复共轭实验研究。一般而言,都需在 TEA CO_2 激光器腔内加一光栅进行波长选择。我们的实验证明^[6],自由振荡 TEA CO_2 激光器输出谱一般是在高增益 $P_{10}(20)$ 线附近几根谱线振荡,并且一般是单一谱线输出,因此,无需采用光栅选支措施。

对于谐振吸收介质 SF_6 的位相复共轭的实验,只要控制单横模即可。但在增益 CO_2 介质中简并四波混频,为提高位相复共轭效率,必须控制 TEA CO_2 激光器腔内的振荡功率密度。当腔内功率密度远大于介质的饱和功率密度时,光栅效应消失,就不能获得位相复共轭效应。为此,我们需控制腔内振荡功率密度小于饱和功率密度(在我们器件条件下约 1 兆瓦/厘米²)。我们采用增大腔内损耗的办法来控制,如采用非布氏角的 NaCl 窗口(见图 2),并在全反射镜 1 处,加入斜置的 ZnSe 衰减片 2。使腔内振荡功率密度控制在 0.6 兆瓦/厘米² 到 1 兆瓦/厘米² 之间。在 CO_2 增益介质复共轭实验中,返回激活介质的激光,是经过一次或二次放大后进入简并四波混频区(即振荡区)的,因此,对返回信号必须加以控制:(1)激光输出必须经衰减后才进入 TEA CO_2 激光器里去,以便使进入作用区的信号光远小于泵浦光(即振荡光);(2)进入作用区的信号光离开输出口后所经过的光程长度必须小于激光相干长度。本实验所用器件脉宽限制的相干长度约 30 米,而由谱线频率宽度所决定的相干长度约 5 米左右^[7]。

图 1 和图 2 分别为 SF_6 和 CO_2 增益介质的简并四波混频实验布置图。TEA CO_2 激光器是一台紫外光预电离的激光器。在 SF_6 实验中采用内腔形式,在 CO_2 增益介质实验中,器件两端采用 NaCl 窗口,外腔结构。选取单横模,均采用 $\phi 8$ 毫米小孔光阑。在内腔时,输出 $P_{10}(20)$ 线,0.2 焦耳,脉宽 100 毫微秒,外腔时, $P_{10}(20)$ 线输出 60~100 毫焦耳,脉宽 100 毫微秒。

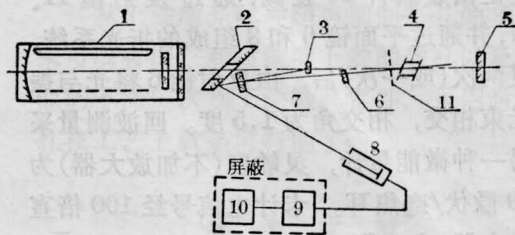


图 1 SF_6 简并四波混频实验示意图

1—TEA CO_2 激光器; 2、5、11—全反射镜; 3、7—ZnSe 平板; 4— SF_6 吸收池; 6—NaCl 畸变板; 8—微能量计; 9—放大器; 10—数字电压表

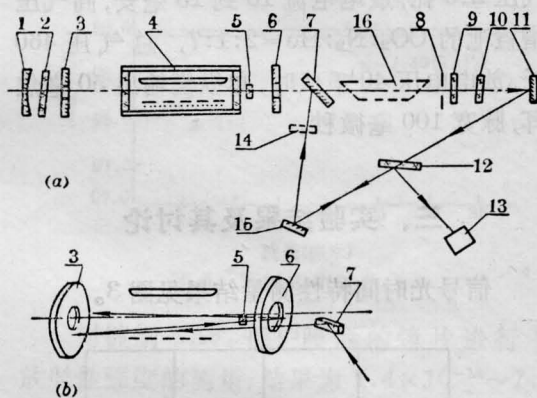


图 2 CO_2 增益介质简并四波混频实验示意图

(a) 光路平面图; (b) 多程折光示意图

1—全反射(R10米); 2—ZnSe; 3、6—中心开孔平面镜; 4—TEA CO_2 激光器; 5—NaCl 畸变板; 7—条形反射镜; 8—光阑; 9—锗窗口; 10— CaF_2 衰减片; 11、15—反射镜; 12—ZnSe 分束器; 13—微能量计; 14—全反射镜; 16—低压 CO_2 增益池

图 1 所示为 SF_6 位相复共轭实验。激光束经 ZnSe 分光后,一束进入 SF_6 吸收池(由 NaCl 做窗口,玻璃间隔圈距离 2.3 到 3.0 厘米),再由全反射镜反射返回,形成两束相向传播的泵浦光束。另外一束经 ZnSe 反射,通过 NaCl 畸变板进入吸收池作探测光。探测器为微能量计,输出信号由光电式毫微伏放大器放大,数字电压表进行数字显示,灵敏度为 0.81 伏/毫焦耳。

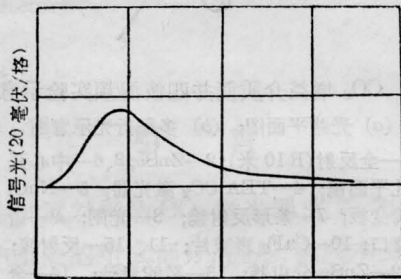
图 2 为 CO_2 增益介质位相复共轭实验。腔内往复振荡光场自动形成两束泵浦光。探

测光是由衰减片 10 衰减, 通过反射镜 11、15、7, 并通过平面镜 6 和 3 组成的折光系统, 往复两次(或一次)后, 由反射镜 6 将光与振荡光束相交, 相交角为 1.5 度。回波测量采用另一种微能计, 灵敏度(不加放大器)为 12.9 微伏/毫焦耳。卡计电信号经 100 倍直流放大器, 由 PZ8 电压表显示。

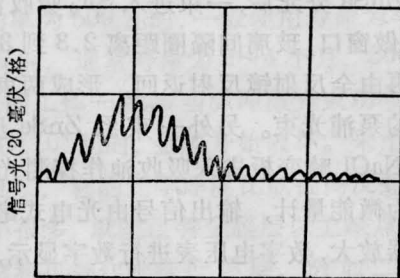
为比较单纵模与多纵模在 CO_2 增益介质中位相复共轭之间差别, 我们采用混合激光器选单纵模^[8]。低气压增益池长 80 厘米, 内径 $\phi 20$ 毫米, 当 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:2:7$, 总气压 2.3 托, 放电电流 10 到 15 毫安, 高气压增益池的 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=2:1:7$, 总气压 460 托, 放电电压 40 千伏时, 单纵模输出 50 毫焦耳, 脉宽 100 毫微秒。

三、实验结果及其讨论

信号光时间特性测量结果见图 3。



(1) 单纵模



(2) 多纵模

图 3 信号光时间谱

信号光及回波的空间特性测量。测量方法采用在微能计前加一狭缝(缝宽 1.5 毫米), 作一维扫描测量场分布, 步距 1.5 毫米。测信号光时, 在 SF_6 位相复共轭实验中, 用平面反射镜 11 把信号光挡回原光路(见图 1); 在 CO_2 增益介质实验中, 用平面反射镜 14 把信号光挡回原光路(见图 2); 在所有实验中, 畸变板都用 NaCl 经水严重腐蚀过。在 SF_6 介质中回波空间分布示于图 4, 在 CO_2 增益介质中位相复共轭波空间能量分布示于图 5。其中信号光人为地用直径为 1 毫米导线对称拦截, 将光斑分为左右两斑。

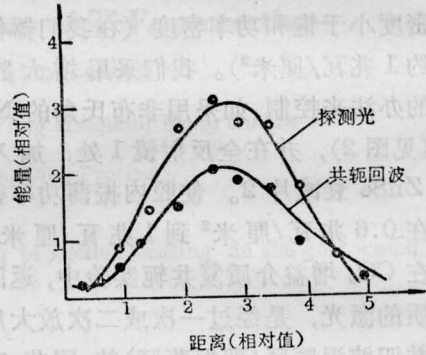


图 4 SF_6 介质位相复共轭波空间能量分布

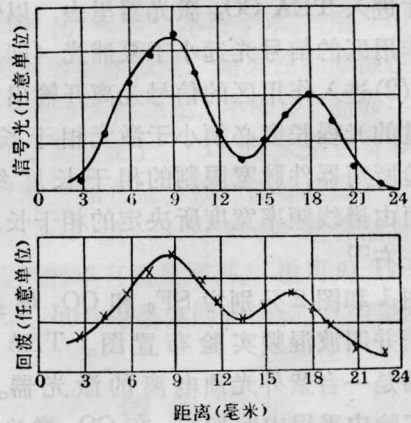


图 5 信号光和回波的空间分布

为判断位相复共轭效应, 我们还在 SF_6 介质实验中测量存在畸变介质和不存在畸变介质时, 共轭波和探测光在相同情况下(如在接收器前均加直径 13 毫米的光阑)的能量

衰减比。结果是：加入或未加入畸变板的探测光信号能量分别为 0.293 毫焦耳和 2.56 毫焦耳，衰减比为 8.7 倍。共轭回波情况下，分别为 22 微焦耳和 28 微焦耳，衰减 21%。

由前面的实验表明，我们在 SF₆ 介质和 CO₂ 增益介质中观察到多纵模位相复共轭波。

位相复共轭波反射率的测量，我们采用如下定义：

$$\text{共轭波反射率} = \frac{\text{共轭波的能量}}{\text{信号光的能量}}$$

测量结果见下表。

介质种类及光路布局	共轭波反射率	
	无畸变板	有畸变板
SF ₆ 介质(多模)		4%
CO ₂ 增益介质(多模, 双程)	42%	30%
CO ₂ 增益介质(多模, 三程)	120~130%	120%
CO ₂ 增益介质(单模, 三程)	130%	
CO ₂ 增益介质(单模, 三程)*	250%	

* 文献[5]的实验结果，其中 TEA CO₂ 激光器增益介质长度 90 厘米。

由共轭波反射率测定结果表明，在 SF₆

(上接第 48 页)

有确定方向的晶界，用劳厄背反射照相确定直的晶界为{100}。

将样品在室温下放置 11 天后测量其中孤立的大晶粒长大速度为 5~20 微米/小时。图 7 明显显示出晶粒长大的情况。图 7(a) 为热锻后显微结构中一颗孤立的大晶粒。(b) 为放置 11 天后在此晶粒周围长大的情况。

B. G. Koepke^[7] 对热锻压 KCl 多晶中晶粒在室温下的长大作了研究，得到室温下绝大多数晶界的迁移速率为 0.1~1.0 微米/每分钟，说明室温下 KCl 热锻块中的晶粒长大的速度是很惊人的。大量的定性实验均说明若在纯的材料中加入少量杂质可以阻碍晶粒间界的迁移。H. Posen^[2] 作了双掺 KCl

谐振增强吸收介质中以及 CO₂ 增益介质中，多纵模 CO₂ 激光的反射率与单模接近。这是由于多模谱为线谱，在我们实验条件下，纵模数不多。另外，各模间二次、三次谐波以及和频、差频分量都要比基频小得多，所以非线性极化率大大下降，因此，各模间相互作用较小。四波混频总效果几乎等于各模单独作用效果之和。

作者对王润文同志的指导表示感谢。对李成富、黄关龙和林康春等同志在实验工作中的帮助表示谢意。

参 考 文 献

- [1] B. Ya. Zel'dovich *et al.*; *Sov. Phys. JETP*, 1972, **15**, 109.
- [2] R. W. Hellwarth; *JOSA*, 1977, **67**, 1.
- [3] R. L. Abrams, R. C. Lind; *Opt. Lett.*, 1978, **2**, 94.
- [4] R. C. Lind *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **39**, 457.
- [5] R. A. Fisher, B. J. Feldman; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, 140.
- [6] 邹海兴, 陈兰英等; 《激光》, 1982, **9**, No. 6, 394.
- [7] A. Gondhalekar, E. Holzhaner; *Phys. Lett.*, 1973, **46A**, 229.

热锻多晶中显微结构稳定性的研究，认为在 KCl 中掺入 1.75 克分子 % RbCl+10 ppm SrCl₂ 时可得到有精细晶粒(小于 10 微米)，且具有高强度及低吸收的热锻块。

参 考 文 献

- [1] 杨昭宝; 《电子通讯》, 1977, No. 1~2, 29~63.
- [2] H. Posen; *Laser Induced Damage In Optical Materials*, 1976, 82~86.
- [3] C. A. Edwards; *J. Iron Steel Inst.*, 1939, 341.
- [4] N. J. Petch; *J. Iron Steel Inst.*, 1953, **174**, 25.
- [5] P. F. Becher; AD-744998, 1972.
- [6] R. H. Anderson; *Lasser Induced Damage In Optical Materials*, 1976, 87~91.
- [7] B. G. Koepke; *J. Appl. Phys.*, 1974, **45**, No. 2, 967~968.
- [8] D. 麦克林; 《金属中的晶粒间界》, 科学出版社出版, 1965, 77~81.