

BaTiO₃ 自泵浦相位共轭镜*

张治国 王大地 于群力** 胡刚 张时明 叶佩弦
(中国科学院物理研究所)

提 要

首次报道用国产光折变晶体 BaTiO₃ 制成的反射率大于 50% 的自泵浦相位共轭镜 (SPPCM)。并使用它成功地完成了畸变像复原实验。文中给出了自泵浦相位共轭信号的建立与入射光强度、入射光和晶体晶轴夹角的依赖关系及其擦洗速率的实验结果。文中还首次提出了一种使用单块 BaTiO₃ 晶体, 使多束入射光同时获得各自相位共轭波的方法。

关键词: 光折变效应, 相位共轭。

近年来, 有关相位共轭波的研究, 已经成为非线性光学最活跃的研究领域之一。人们除用简并器波混频方法, 对不同的非线性介质, 根据它们各自的物理机制, 在介质中建立起折射率光栅(例如: 热光栅, 布居栅, 分子取向栅、光折变效应栅等), 从而成功地在固体、液体、气体、液晶、等离子体中获得了相位共轭波 (PCM) 输出(见图 1(a))。但这时, 为产生光束 I_3 的相位共轭光束 I_4 , 必须要有相向传播的两束泵浦光 I_1 和 I_2 , 而且它们之中至少有一束光要求与光束 I_3 相干。显然, 用这种方法建立相位共轭镜 (PCM), 在某些应用上将受到限制。但使用光折变晶体 BaTiO₃, 利用它的自泵浦相位共轭效应建立自泵浦相位共轭镜 (SPPCM), 则没有这些限制。亦即在只有一束入射光下, 无需另外两束泵浦光, 在一定的入射角范围内(相对于晶体的晶轴取向), 即可获得高效率的相位共轭镜输出(图 1(b))。

本文报道用 BaTiO₃*** 晶体做成的自泵浦相位共轭镜的实验结果, 用以完成畸变像复原的情况, 以及利用单块 BaTiO₃ 晶体使多束入射光同时获得各自相位共轭波的初步实验。

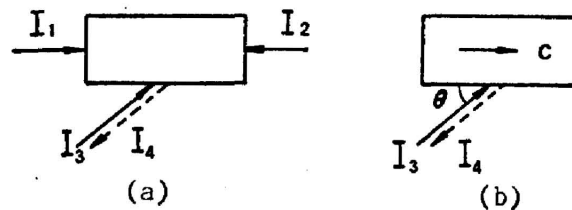


Fig. 1

- (a) Four-wave mixing phase conjugator:
 I_1, I_2 —two pump beams; I_3 —signal beam I_4 —phase conjugate beam
(b) Self-pumped phase conjugate mirror:
 I_3 —incident beam; I_4 —SPPCW; c indicates crystal axis

收稿日期: 1988年9月14日; 收到修改稿日期: 1988年11月10日

* 国家自然科学基金会资助的课题。

** 陕西师范大学物理系。

*** 由我所首次生长成功的单畴 BaTiO₃ 其晶体尺寸为 3.4 mm × 4.6 mm × 6.6 mm 其晶轴 c 平行于 6.6 mm 边。

一、自泵浦相位共轲镜实验

在 BaTiO₃ 晶体中, 相位共轲镜的输出是由于光折变效应形成的。当一激光束相对于晶体晶轴以一定角度入射到 BaTiO₃ 晶体时, 由于扇形效应^[2], 入射光束将在晶体的正 θ 方向分岔^[3], 使光束折向晶体的某一棱角, 光束在晶体棱角上的内全反射, 将形成一个光线环路。从入射光分岔出的两束光, 将在这个环路中相向传播, 四波混频就在这个环路中产生。相位共轲镜将在与入射光共线而传播方向相反的方向输出。此外, 由于 BaTiO₃ 晶体的光折变效应对极低功率即可存在响应, 因此对极低功率的连续波激光即可获得高效的相位共轲镜输出。

实验中所用光源是连续多模 Ar⁺ 激光器, 输出波长为 514.5 nm, 最大输出功率为 1 W, 入射到晶体上的束斑直径为 1.2 mm。

1. 自泵浦相位共轲镜反射率

用图 2 实验配置测量了自泵浦相位共轲镜反射率。图中 I_p 为入射光强度, I_{pc} 为其相位共轲波输出强度, g 为一平行度和平面度均良好的薄玻璃片, I_{pr} 为 I_p 在 g 上的反射光强度, I_{pr1} 为 I_{pc} 在 g 上的反射光强, 我们用 LPE-1A 型功率计对各光束进行绝对测量, 测得自泵浦相位共轲镜反射率为

$$R = \frac{I_{pr}}{I_p} \approx \frac{I_{pr1}}{I_{pr2}} \geq 30\% \quad (\text{在 } \theta_0 \text{ 附近})$$

因为测量中, 我们没有计及 I_p 在晶体表面的反射 I_{pr1} , 所以实际上自泵浦相位共轲镜反射率将大于 30%。

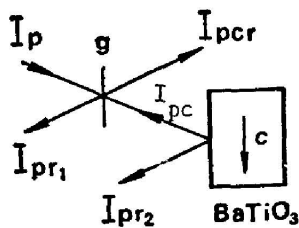


Fig. 2 The scheme of SPPCW measurement

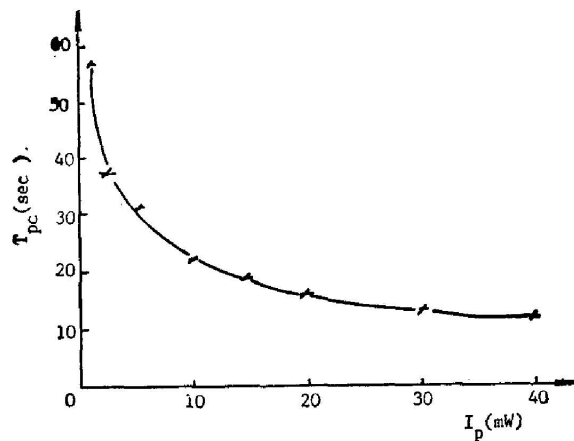


Fig. 3 The build-up time of SPPCM vs. incident beam power

2. 自泵浦相位共轲信号建立时间与入射光强度的依赖关系

图 3 是用 PIN 光电二极管和 3066 型记录仪测得的自泵浦相位共轲镜建立时间 (自泵浦相位共轲输出达到 $(1/e)$ 倍饱和值的时间) 与入射光功率的关系曲线, 从图中可以看出, 随着入射光增强, 自泵浦相位共轲信号建立时间将缩短。在我们实验条件下, 在入射光功率为 40 mW 时, 建立时间为 12 sec。

3. 自泵浦相位共轭波输出与入射光相对于晶轴不同夹角的依赖关系

在入射光强一定时, 自泵浦相位共轭波输出与入射光相对晶轴夹角 θ (见图 1(b)) 的依赖关系如图 4 所示, 从图中可见, 对于给定的晶体, 入射光存在一个相对晶轴的最佳入射角 θ_b , 对应这个角度入射可获得最大的相位共轭波输出。对于这块晶体, 在以 θ 角 29° 为中心的 10° 范围里, 反射率超过 30%。从图中还可以看出, 在一定的角度范围 (15° 到 46°) 内, 皆可获得相位共轭波输出。

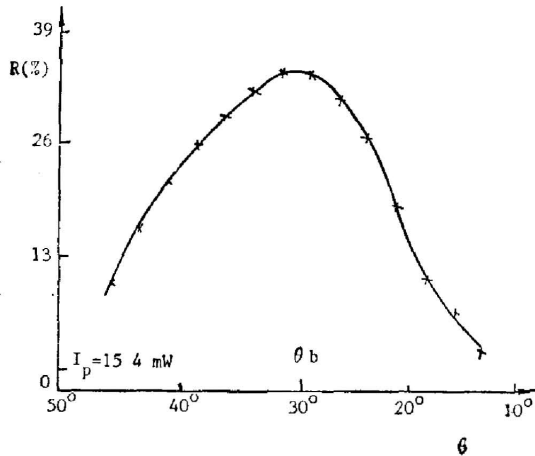


Fig. 4 The relationship between SPPCW power and angle θ

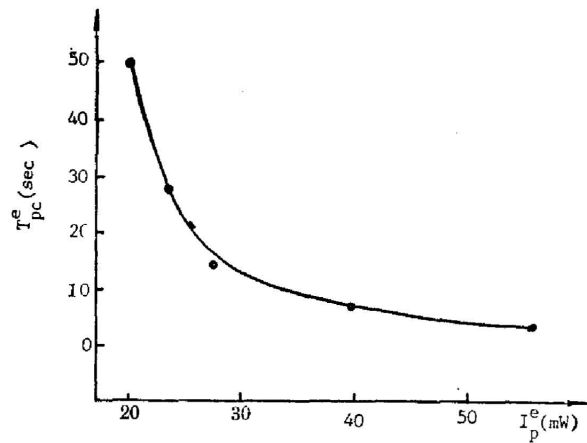


Fig. 5 The erasure rate of SPPCM vs. erasing beam power

4. 自泵浦相位共轭镜的擦洗速率

根据在光折变晶体 $BaTiO_3$ 中建立的折射率栅, 在入射光去掉以后具有的存储特性, 但用一定强度的均匀光场辐照即可迅速地将它擦除。实验中我们先用光强低于擦涤光束一个数量级以下的弱光束作为入射光, 经长时间作用并在晶体中建立起稳定的自泵浦相位共轭镜(用 PIN 光电二极管和记录仪监测相位共轭镜的建立过程)。然后, 同时打开擦洗光束进行擦洗(即置晶体于均匀光场辐照之下), 并继续用 PIN 光电二极管和记录仪测量那束弱入射光的相位共轭镜衰减过程。由于这个过程比前个自泵浦相位共轭镜的建立过程快得多, 因此它即可视为自泵浦相位共轭镜的擦洗过程。图 5 给出了擦洗时间 T_{pc}^e 随洗束功率 I_p^e 变化曲线, 从图中可以看出, 随着擦洗束功率的增加, 自泵浦相位共轭镜的擦洗时间明显缩短。

二、畸变像复原实验

图 6(a) 给出了畸变像复原实验配置图。激光束经空间滤波并扩束后通过幻灯片 S (女孩头像底片), 然后, 载像束经透镜 L_2 、反射镜 M_3 、分束片 BS 及畸变介质 D 入射到 $BaTiO_3$ 晶体上。载像束经畸变介质后, 像产生了畸变, 其畸变像由镜 M_4 反射到屏上。由 $BaTiO_3$ 晶体产生的相位共轭镜经畸变介质 D 后, 使畸变像复原, 复原像由分束片 BS 反射到光屏上。图 6(b) 是畸变像和复原像照片。

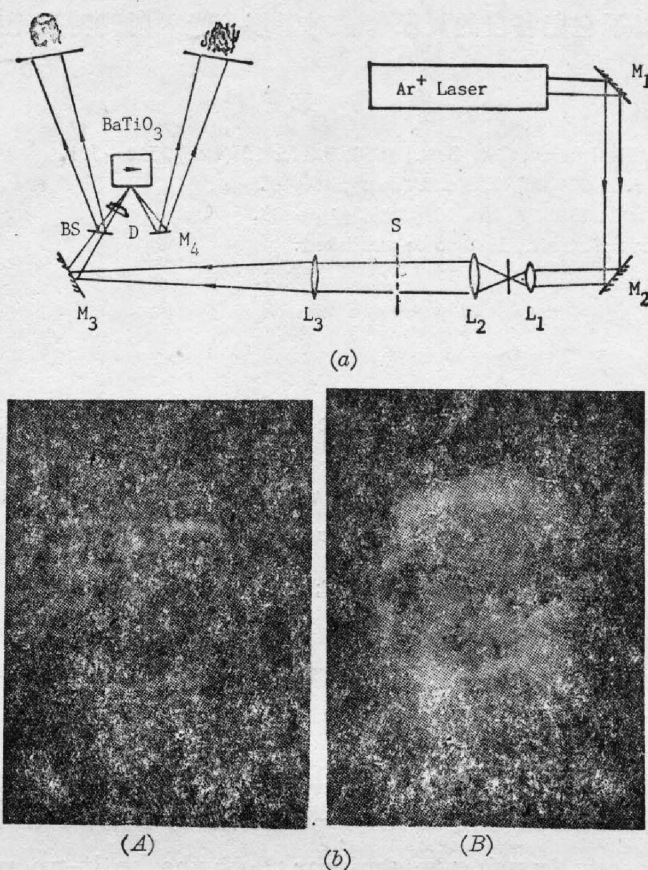


Fig. 6

- (a) Experimental set-up for correction of distorted image by SPPCM
 (b) The example of image correction (a beautiful girl!):
 (A) recovered one (B) distorted one

三、多束相位共轭镜输出

根据本文提出的物理模型，可以用单块 BaTiO₃ 晶体使两束或多束入射光同时获得各自的相位共轭波输出，但在这些入射光束中只需有一束光满足自泵浦相位共轭条件^[4]。图 7 给出了两束入射光情况下的实验配置图，当这两束光单独存在时，只有其中一束光存在自泵浦相位共轭输出。在这一实验中，分别在两束入射光中载有不同像，在它们通过畸变介

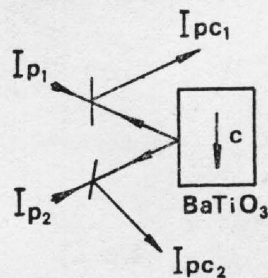


Fig. 7 Scheme for a nonexternally pumped device to generate two phase conjugate signals simultaneously, requiring only one of the incident beam has self-pumped phase conjugate

质后,我们成功地获得了它们各自的复原像。对于多束光入射时情况无疑是类同的。

参 考 文 献

- [1] J. Feinberg, R. W. Hellwarth; *Opt. Lett.*, 1980, **5**, No. 12 (Dec), 519~521.
- [2] J. Feinberg; *J. O. S. A.*, 1982, **72**, No. 1 (Jan), 46~51.
- [3] J. Feinberg; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, No. 10 (Oct), 486~488.
- [4] Zhiguo Zhang *et al.*; *Opt. Lett.*, 1989 to be published.

A self-pumped phase conjugate mirror (SPPCM) with BaTiO₃

ZHANG ZHIGUO, WANG DADI, YU QUNLI, GANG HU, ZHANG SHIMING AND YE PEIXIAN
(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing*)

(Received 14 September 1988; revised 10 November 1988)

Abstract

In this paper, we report for the first time the a selfpumped phase conjugate mirror (SPPCM) with reflectance of more than 30% has been made using photorefractive crystal BaTiO₃ grown in China. An experiment to recover a distorted image has been performed successfully using this mirror. Both the built-up process of the self-pumped phase conjugate signal, which depends on the intensity of the incident beam, and the angle between the incident beam and the crystal axis and the erasure rate of the SPPCM have been measured. We report also for the first time a device which can generate two or more reflected phase conjugate signals simultaneously for two or more incident beams respectively using only one SPPCM.

Key words: photorefractive effect; phase conjugation.