

# 异型 BaTiO<sub>3</sub> 自泵浦相位共轭镜实验研究\*

张冶国 李 卓\*\* 朱 镛 王大地 张时明 叶佩弦

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

## 提 要

本文首次演示了一种高效异型 BaTiO<sub>3</sub> 自泵浦相位共轭镜, 用该相位共轭镜的 45° 角和 135° 角切面获得其共轭反射率分别大于 60% 和 40%, 文中还给出了其它实验结果和结论。

关键词: 相位共轭, 自泵浦, 异型 BaTiO<sub>3</sub> 晶体。

## 一、引 言

有关相位共轭波的研究是非线性光学中极为活跃的研究领域之一, 而对产生相位共轭波的高效相位共轭镜的研究是一个重要方面。光折变晶体特别是光折变效应极强的 BaTiO<sub>3</sub> 晶体的出现, 使人们在获得相位共轭反射镜方面有了新的进展。1982年 Feinberg 首先利用 BaTiO<sub>3</sub> 晶体的全内反射制成了自泵浦相位共轭镜<sup>[1]</sup>, 之后, 这种常规相位共轭镜已在很多领域投入使用并获得了成功<sup>[2~4]</sup>。

本文将首次报道一种在 45° 角和 135° 角切割的 BaTiO<sub>3</sub> 自泵浦相位共轭反射镜的性能研究结果。实验中使用一块 45° 角和 135° 角切割的 BaTiO<sub>3</sub> 自泵浦相位共轭镜, 在正交或准正交光路系统中, 分别获得相位共轭反射率大于 60% 和 40% 的相位共轭波输出。与常规相位共轭镜相比, 这种异型镜具有反射率高、高反射域宽、便于调整的特点。

## 二、基本 原 理

### 1. 最佳工作状态

众所周知, 由于 BaTiO<sub>3</sub> 晶体比其它光折变晶体具有更大的普克耳斯 (Pockels) 系数, 从而使 BaTiO<sub>3</sub> 晶体相对其它光折变晶体显现出更强的光折变效应, BaTiO<sub>3</sub> 晶体中非零电光系数是  $\gamma_{13} = 24 \text{ Pm/V}$ ;  $\gamma_{33} = 80 \text{ Pm/V}$ ;  $\gamma_{42} = 1640 \text{ Pm/V}$ <sup>[5]</sup>。显然, 为获得强的相位共轭波输出, 人们必须充分考虑如何有效地利用上述电光系数, 其中特别是  $\gamma_{42}$  的作用。据此, Feinberg 在考虑了有效地使用  $\gamma_{42}$  之后, 计算给出了在入射光束为水平偏振光的情况下, 耦合强度  $r$  随入射光线和晶体 +O 方向之间的夹角的关系曲线<sup>[1]</sup>, 从该关系曲线可以看出, 当晶体内的传输光线与晶体 +O 方向呈近 45° 角时, 其耦合强度将最大。在通常情况下, 由于 BaTiO<sub>3</sub> 晶体的折射系数较大 ( $n_o = 2.505$ ,  $n_e = 2.434$ )<sup>[5]</sup>, 致使外界入射光束在晶体内折

收稿日期: 1990年6月25日; 收到修改稿日期: 1990年11月11日

\* 国家自然科学基金会资助的课题。

\*\* 河南大学物理系。

射后,其传输方向一般很难达到与晶体  $+C$  方向呈近  $45^\circ$  角配置。即通常的常规  $\text{BaTiO}_3$  相位共轭镜并未在最佳工作状态。显然,如果有办法能使相位共轭镜具有上述近  $45^\circ$  角配置,那么它将会具有比现在更高的相位共轭反射率。

人们注意到, Feinberg 在其文章中只给出了晶体内的传输光束与晶体  $+C$  方向成锐角 ( $\alpha < 90^\circ$ ) 入射时耦合强度  $r$  与  $\alpha$  角之间的关系曲线,但从给出的数学表达式可知,当晶体内的传输光束与晶体  $+C$  方向呈钝角 ( $\alpha > 90^\circ$ ) 入射时,将会存在另一组耦合强度  $r$  与  $\alpha$  角之间的关系曲线,且当  $\alpha = 135^\circ$  时,其耦合强度也为最大。显然,要想在这样大的入射角度下获得高效相位共轭波输出,对于一般常规  $\text{BaTiO}_3$  相位共轭镜是很难做到的。

## 2. 异型 $\text{BaTiO}_3$ 相位共轭镜的制作

根据上述分析,为了使入射光束在晶体内传输时,能极容易地满足与晶体  $+C$  方向呈

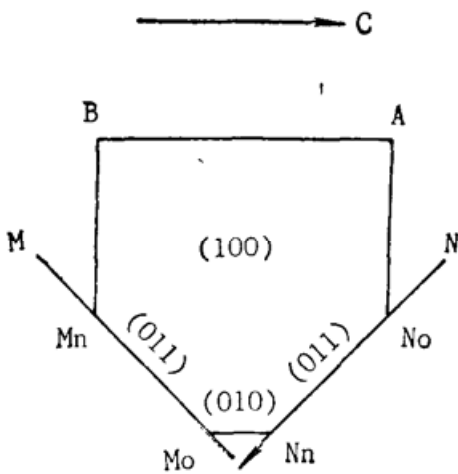


Fig. 1. Schematic of self-pumped phase conjugate mirror in a special-shaped crystal of  $\text{BaTiO}_3$

近  $45^\circ$  角或近  $135^\circ$  角的配置以获得最佳耦合的目的,作者设计加工了一块在  $45^\circ$  角和  $135^\circ$  角切割的  $\text{BaTiO}_3$  相位共轭镜。方法是对一块  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5.2\text{ mm}$  ( $C$  轴平行  $5.2\text{ mm}$  边) 的  $\text{BaTiO}_3$  晶体,把  $z$  方向取为晶体  $+C$  方向,然后对这块晶体再切割一个  $(011)$  面和一个  $(01\bar{1})$  面,  $(01\bar{1})$  面相对的角称为  $A$  角,  $(011)$  面相对的角称为  $B$  角,如图 1 所示。当入射光束在晶体  $(100)$  面内近垂直  $(0\bar{1}1)$  面或  $(011)$  面分别射向晶体的  $A$  角或  $B$  角方向时,即可实现入射光束在晶体内的传输光束与晶轴  $+C$  方向呈近  $45^\circ$  角或近  $135^\circ$  角的配置。如上所述,对于这样一块在  $45^\circ$  角和  $135^\circ$  角切割的  $\text{BaTiO}_3$  晶体,当光束分别在这两个方向入射时,其耦合系数  $r$  将具有最大值,从而使相位共轭镜获得更高反射率的相位共轭波输出。

## 三、实验结果

实验中,当光束在  $(100)$  面内自  $(01\bar{1})$  面向  $A$  角方向入射时,改变晶体中传输光束与晶体  $+C$  方向夹角  $\alpha$  并测量相应的相位共轭反射率;实验中还在不同  $\alpha$  角度下,将晶体  $(01\bar{1})$  面沿一与晶体  $+C$  呈  $45^\circ$  角的  $M$  轴平移(见图),使晶体外的入射光束自晶体  $(01\bar{1})$  面的一个边棱的  $M_0$  点起以一定间隔依次平移至  $(01\bar{1})$  面的另一个边棱的  $M_n$  点,并在  $M_0$  与  $M_n$  区间各点测量其相应的相位共轭反射率。图 2(a) 给出了这一测量结果,图 2(a) 中纵轴表示相应共轭反射率,横轴表示  $M_0 \rightarrow M_n$  的位移间距;图 2(b) 为  $\alpha = 45^\circ$  角时,晶体内的光路分布照片。

从图 2(a) 可以看出,当  $\alpha$  角相对晶体  $+C$  方向呈锐角配置时,  $\alpha = 43^\circ$  对应的相位共轭反射率最高。此外,所测曲线还表明,  $\alpha$  角在  $41^\circ$  角至  $45^\circ$  区间皆为相位共轭镜高反射区 ( $R > 50\%$ ),这一性能无疑将使这种异型相位共轭镜具有反射率高、高反射域宽、易调整等特点。从图 2(b) 给出的照片可以清晰的看出光束在晶体内的耦合通道,其光能相当集中、散

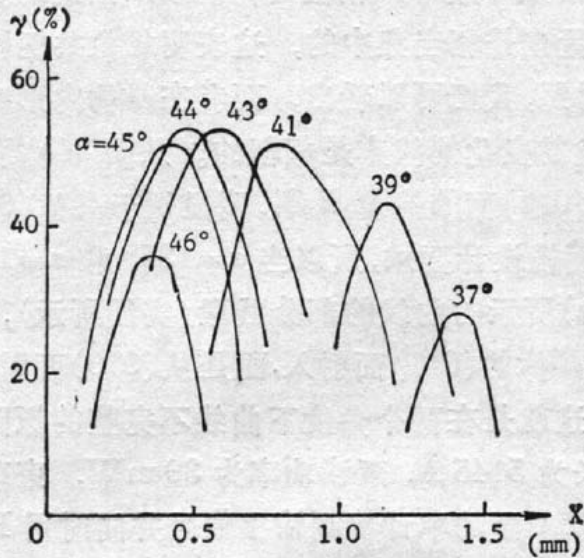


Fig. 2(a) Phase-conjugate reflectivity ( $\Gamma$ ) as a function of the incident position ( $X$ ) of crystal with different incident angles ( $\alpha$ ), ( $X_0 \rightarrow X_N$  corresponds to  $M_0 \rightarrow M_N$ ).



Fig. 2(b) Photograph of the characteristic loop of light found in the crystal at  $\alpha = 45^\circ$

射很弱, 这表明相位共轲镜的效率是很高的。另外, 从照片上也不难看出, 实验所用的晶体质量并不太好, 因为晶体内含有许多包裹物(照片中星星斑点所示), 同时在  $45^\circ$  角和  $135^\circ$  角切割面加工精度亦欠佳(即相当于  $(01\bar{1})$  面和  $(011)$  面部分)。

实验中, 当光束在  $(100)$  面内自  $(011)$  面向  $B$  角方向入射时, 此时晶体内传输光束与晶体  $+C$  方向呈钝角 ( $\alpha > 90^\circ$ ) 配置。在这种条件下, 进行了上述在  $A$  角方向相类同的测试, 图 3(a) 给出了这一测量结果, 图 3(a) 中纵轴表示相位共轲反射率, 横轴表示  $N_0 \rightarrow N_m$  的位移间距; 图 3(b) 为  $\alpha = 135^\circ$  时晶体内的光路分布照片。

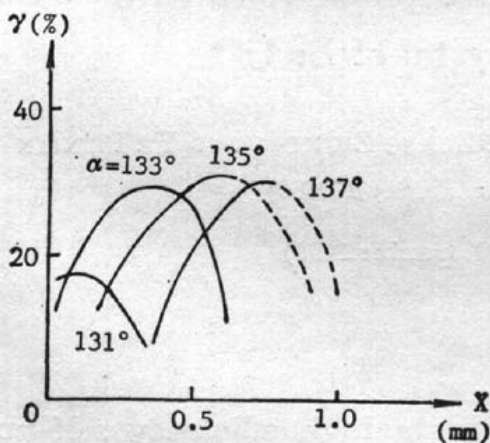


Fig. 3(a) Phase-conjugate reflectivity ( $\Gamma$ ) as a function of the incident position ( $X$ ) of crystal with different incident angles ( $\alpha$ ), ( $X_0 \rightarrow X_N$  corresponds to  $N_0 \rightarrow N_N$ )



Fig. 3(b) Photograph of the characteristic loop of light found in the crystal at  $\alpha = 135^\circ$

从图 3(a) 可以看出, 在  $\alpha$  角相对晶体  $+C$  方向呈钝角配置, 当  $\alpha = 135^\circ$  时共轲反射率最高; 曲线还表明  $\alpha$  角在  $133^\circ$  至  $137^\circ$  之间皆为相位共轲镜高反射率区域 ( $R \sim 30\%$ )。异

型镜在这样大的  $\alpha$  角下, 获得高效相位共轭波输出是一般常规相位共轭镜难以做到的。从图 3(b) 给出的照片所显示的光学通道表明, 其能量也是相当集中的, 这表明相位共轭镜的效率是高的, 用图 3(b) 与图 2(b) 给出的照片相对照, 我们可以看出, 两者在晶体内形成的光学通道形状是类同的, 相位共轭镜反射率随  $\alpha$  角的变化规律亦是相似的。从图 3(b) 给出的照片还可以看出, 由于晶体加工上的原因, 晶体(011)面的边棱  $N_0N_n$  明显短于晶体(01 $\bar{1}$ )面的边棱  $M_0M_n$ 。由于  $N_0N_n$  棱边长度未达到反射镜设计要求, 所以当  $\alpha=135^\circ$  和  $\alpha=137^\circ$  时, 对应光线自  $N_0$  平移至  $N_n$  时仅给出了如图 3(a) 所示的曲线的部分线段(实线所示), 而当光线继续前移超过  $N_n$  点后, 外界光线不再是从晶体的(011)面射入, 而是从(010)面射入, 在这个方向入射是不会获得相位共轭波输出的, 这就是在两个角度下曲线不完整的原因。

实验中使用一台多模氩离子激光器, 输出波长为  $5145 \text{ \AA}$ , 泵浦功率为  $30 \text{ mW}$ , 束斑直径为  $0.3 \text{ mm}$ , 输出光束为水平偏振光。用 LPE-1A 型功率计检测输出信号并同时用 PIN 光电二极管及 3066 型双线笔式记录仪记录输入及输出信号, 实验中使用在  $45^\circ$  角和  $135^\circ$  角切割异型共轭反射镜, 在  $\alpha=45^\circ$  角附近获得的最高反射率大于  $60\%$ , 而在  $\alpha=135^\circ$  角附近获得的最高反射率大于  $40\%$ 。如果进一步选用优质  $\text{BaTiO}_3$  晶体制做  $45^\circ$  角和  $135^\circ$  角切割异型镜并且保证加工精度, 相信异型相位共轭反射镜的反射率还会进一步提高。

### 参 考 文 献

- [1] J. Feinberg; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, No. 10 (Oct), 486~488.
- [2] M. C. Gower; *Phys. Bull.* 1987, **38**, No. 6 (Jun), 220~222.
- [3] Pochi Yeh; *Opt. Eng.*, 1989, **28**, No. 4 (Apr), 328~343.
- [4] 张治国等;《光学学报》, 1989, **9**, No. 7 (Jul), 598~602.
- [5] G. O. Valley; *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1987, **B4**, No. 1 (Jan), 14~19.

## Experimental study of self-pumped phase conjugate mirror in a special-shaped crystal of $\text{BaTiO}_3$

ZHANG ZHIGUO, LI ZHUO, ZHU YONG, WANG DADI, ZHANG ZHIMING AND YE PEIXIAN

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

(Received 25 June 1990; revised 11 November 1990)

### Abstract

In this paper we demonstrate for the first time a high efficiency self-pumped phase conjugate mirror with twoway outputs by using a special-shaped crystal of  $\text{BaTiO}_3$ . Over  $60\%$  conjugate reflectivity on  $45^\circ$ -cut face and  $>40\%$  on  $135^\circ$ -cut face are obtained with this phase conjugate mirror. Some other experimental results and conclusion are given.

**Key words:** phase conjugateon, self-pumped, special-shaped crystal of  $\text{BaTiO}_3$ .