

# 光折变晶体中光互联的研究\*

张家森 高 宏 窦硕星 朱 镛 叶佩弦

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

**摘 要** 对光折变晶体中的光互联进行了研究, 提出一种利用桥式互泵浦位相共轭器在同一种光路下实现光开关、广播式、合成式及点点式光互联的方法, 同时研究了利用光折变两波耦合进行光互联的强度和um间特性。

**关键词** 光互联, 桥式位相共轭器, 光折变两波耦合。

## 1 引 言

一个光互联器联接一个光学输入矢量和一个光学输出矢量。输入矢量可以是一维或二维光纤、激光或空间光调制器的阵列, 输出矢量通常是光纤或探测器的阵列。每一个矢量代表一个由传感器和接收器组成的状态或终端。光互联有四种基本的操作模式: 1) 广播式——一点与多点联接; 2) 合成式——多点与一点联接; 3) 点点式——一点与一点联接; 4) 交叉式——多点输入多点输出。

光折变材料由于有大的电光系数, 相当弱的光也能发生有效的相互作用, 在这些材料中光束耦合的效率非常高, 从而可以制成一些新颖的光子学器件。Weiss 等<sup>[1]</sup>利用互泵浦位相共轭器分别实现了光开关、广播式及点点式光互联, Owechko 等<sup>[2]</sup>利用自泵浦位相共轭器实现了用于光学神经网络的光互联, Cronin-Golomb<sup>[3]</sup>利用互泵浦位相共轭器制成可重新编程动力学光互联器。光信息并行处理过程中, 经常要用到空间光调制器作为互联屏, 入射光通过空间光调制器后, 被相应的光探测器所接收或经过光学处理后被探测器接收。假设互联屏由  $N \times N$  阵列的投射窗口组成, 当它被用作交叉开关时, 大部分光能将被互联屏所吸收, 其透射效率仅为  $1/N$ , 随互联屏维数的增加, 光能的损失将很严重。利用光折变两波耦合效应可以提高能量的透射效率, Yeh 等<sup>[4]</sup>利用光折变两波耦合提高了交叉式光互联的耦合效率, 耦合效率达 20%。

本文提出一种利用桥式互泵浦位相共轭器在同一种光路下实现光开关、广播式、合成式及点点式光互联的方法, 得到了较高的互联效率。同时进行了利用光折变两波耦合效应提高光互联透射效率的研究, 得到了很高的透射效率, 给出其强度和um间特性。

\* 国家科委 863 高科技项目。

收稿日期: 1995 年 9 月 12 日; 收到修改稿日期: 1995 年 12 月 12 日

## 2 实验装置和方法

### 2.1 利用桥式互泵浦位相共轭器的光互联

在桥式互泵浦位相共轭器中<sup>[5]</sup>，入射光利用了两波耦合较强的方向有较高的反射率，因此选用桥式互泵浦位相共轭器的组态来研究光互联，并提出一种能够在同一种光路下实现光开关、广播式、合成式及点点式光互联的实验路线，如图 1 所示。氩离子激光器的全谱线输出作为泵浦光  $A_0$ ，经棱镜后不同波长在空间分开，经透镜 L 聚焦后入射到  $45^\circ$  异型切割的  $BaTiO_3$  晶体的 + c 面上。另外，氩离子激光器的 515 nm 的输出作为探测光  $A_1$ 、488 nm 的输出作为探测光  $A_2$ ，经聚焦后入射到晶体的一个面上，并与同一波长的泵浦光在同一水平面内。由于探测光与泵浦光是不相干的，同一波长的泵浦光和探测光之间形成桥式互泵浦位相共轭器，位相共轭信号即为输出信号，经半反镜反射并由探测器  $D_1$ 、 $D_2$  接收。

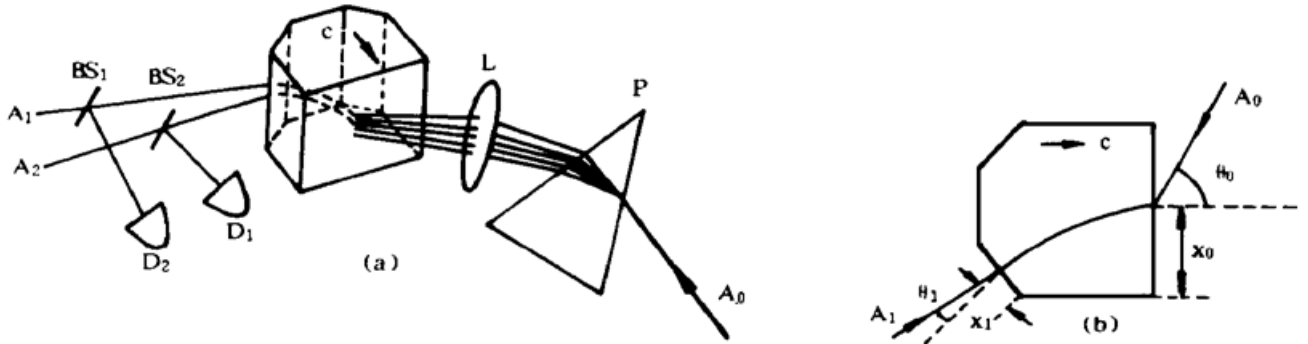


Fig. 1 Schematic diagrams of the experimental setup of optical interconnection using bridge phase conjugator's configuration (a) and the light path (b). In the experiments,  $\theta_0 = 68^\circ$ ,  $\theta_1 = 3^\circ$ ,  $x_0 = 3$  mm,  $x_1 = 1.5$  mm. The pump power was 20 mW, including 7.6 mW of 515 nm power and 6.5 mW of 488 nm power

打开泵浦光的同时，如果只打开一束探测光，即可实现双向的光开关；打开所有探测光时，可实现广播式光互联；打开所有探测光且在泵浦光一侧接收信号时，可实现合成式光互联；而分别打开探测光时，可实现点点式光互联。由此可见，在同一种光路下，可以实现几种模式的光互联，光互联的强度和时间特性可以通过研究位相共轭信号的特性来得到。

### 2.2 利用光折变两波耦合进行光互联

实验装置如图 2 所示。氦氖激光器的 633 nm 的输出作为光源，BS 为一低反射率的分光镜，主光束经 BS 分出一束弱光作为探测光，经  $L_1$ 、 $L_2$  组成的平行光系统扩束后入射到空间光调制器 SLM 上，实验中空间光调制器是一个  $4 \times 4$  的二维光调制器，调制信号经透镜  $L_3$  聚焦后入射到  $BaTiO_3$  晶体中与主光束进行两波耦合，从而输出一个被放大的信号，信号功率与泵浦功率之比即为转换效率。实验中泵浦光与 + c 方向夹角为  $10^\circ$ ，探测光与 + c 方向夹角为  $35^\circ$ ，光束直径约为 2 mm。输出光可用相应的探测器进行接收或经一定的光学系统进行运算后再接收。用斩波器对光束进行时域上的调制，从而研究快信号的光互联特性。

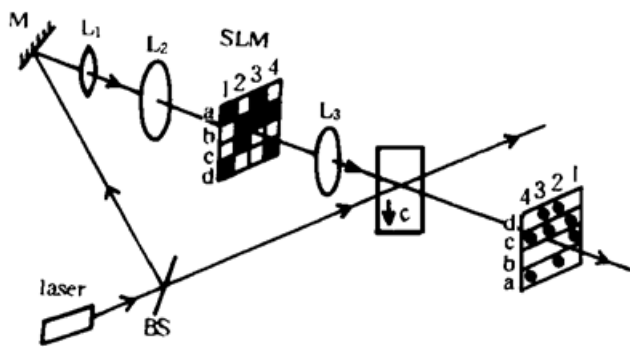


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup of optical interconnection using photorefractive two beam-coupling

用斩波器对光束进行时域上的调制，从而研究快信号的光互联特性。

### 3 实验结果和讨论

#### 3.1 桥式互泵浦位相共轭器光互联的实验结果和讨论

在图 1 的实验中观察到, 同时打开两束探测光时, 信号光之间并没有交叉影响, 这一点有助于提高互联的信噪比及稳定度。信号功率和共轭光的反射率随探测功率的变化关系如图 3 所示, 可以看到, 当探测功率在一个很大范围内变化时均能得到一定强度的信号输出, 随着探测功率的增加, 信号功率趋于饱和; 随着探测功率的减小反射率增大, 在小的探测功率下绿光反射率达 128%, 蓝光反射率达 47%。反射率的这种变化有助于实现弱光光开关及光互联。图 4 给出共轭反射率随泵浦光及探测光之比的变化关系。在图 5 和图 6 给出了响应时间及弛豫时间随探测功率的变化。为了得到较短的响应时间, 增加输入功率是必要的。而信号弛豫时间, 由于泵浦功率不变, 则变化不明显。和绿光相比, 由于蓝光的吸收较大, 响应时间稍短一些。

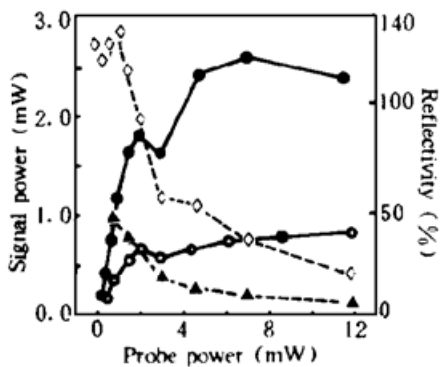


Fig. 3 Signal powers of the green light (●) and the blue light (○), phase conjugate reflectivities of the green light (◇) and the blue light (▲) of the optical interconnection using bridge phase conjugator's configuration versus the probe power

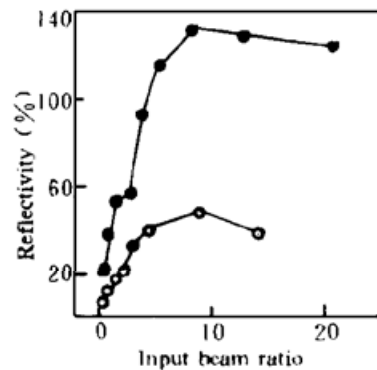


Fig. 4 Phaser conjugate reflectivities of the green light (●) and the blue light (○) of the optical interconnection using bridge phase conjugator's configuration versus the ratio of the pump power and the probe power

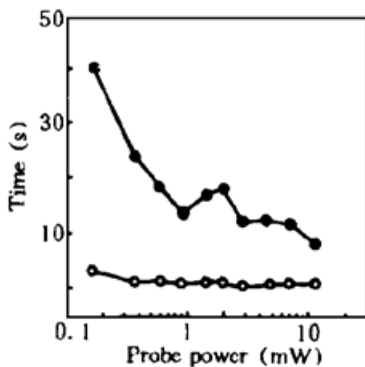


Fig. 5 Setup time (●) and decay time (○) of the green light signal of the optical interconnection using bridge phase conjugator's configuration versus the probe power

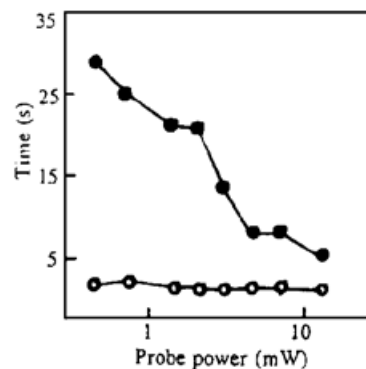


Fig. 6 Setup time (●) and decay time (○) of the blue light signal of the optical interconnection using bridge phase conjugator's configuration versus the probe power

利用本文提出的方法, 使不同波长的激光在空间垂直方向上分开, 避免了不同波长激光空间上重叠引起的两波耦合增益的降低, 同时也不会产生不同波长之间的交叉干扰。另外, 此方法也适用于其它互泵浦位相共轭的方式, 如双相位共轭镜、鸟翼式和蛙腿式等。

### 3.2 两波耦合光互联的实验结果和讨论

在这个实验中首先得到能量转换效率随泵浦功率的变化关系，如图 7 所示。随着泵浦功率的减小，泵浦束耗尽得越多，因此转换效率越高。在泵浦功率为 0.35 mW 时，转换效率达 28.6%，且没有校正由于吸收和表面反射引起的能量损失。图 8 给出能量转换效率随探测功率的变化关系，在固定的泵浦光功率下，增加探测光的功率，可以引起泵浦光能更多地被耗尽，所以转换效率增加。同时还给出不同探测功率和泵浦功率下，两波耦合的响应时间及关掉探测光后信号的弛豫时间。由图 9 可以看到增加探测光功率，响应时间变短，而弛豫时间变长，这是因为探测功率增加使光折变栅的强度增加，在同一擦写功率下，擦写时间增加。

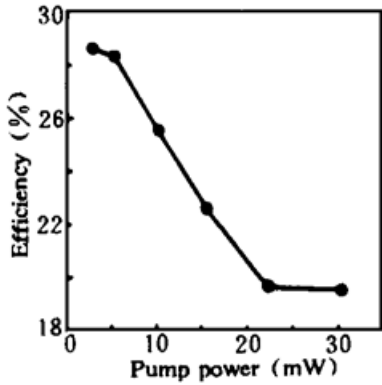


Fig. 7 Energy efficiency of the optical interconnection using photorefractive two-beam coupling versus the pump power when the probe power was 44  $\mu\text{W}$

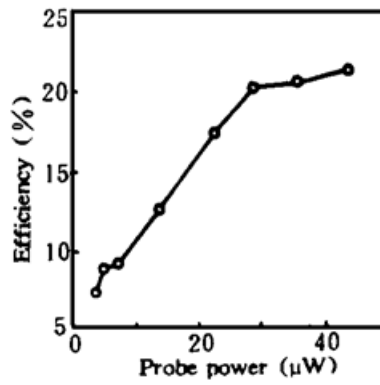


Fig. 8 Energy efficiency of the optical interconnection using photorefractive two-beam coupling versus the probe power when the pump power was 23 mW

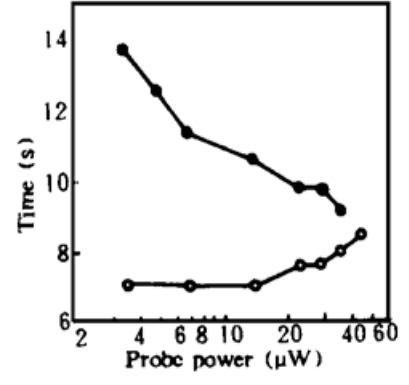


Fig. 9 Setup time (●) and decay time (○) of the optical interconnection signal using photorefractive two-beam coupling versus the probe power when the pump power was 23 mW

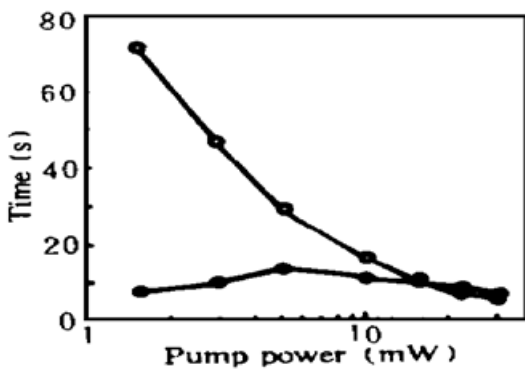


Fig. 10 Setup time (●) and decay time (○) of the optical interconnection signal using photorefractive two-beam coupling versus the pump power when the probe power was 44  $\mu\text{W}$

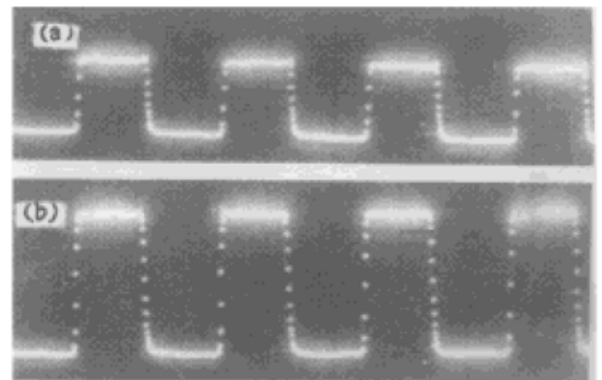


Fig. 11 Probe beam shape (a) and signal beam shape after undergoing two-beam coupling (b) when the laser beam was modulated by a chopper. Vertical scale= 50 mV/div, horizontal scale= 10.24 ms/div

从图 10 可以看到，固定探测光功率而改变泵浦光功率，响应时间有一个最大值。这是因为一方面功率的增加将增加自由载流子密度加快了写栅的速度；另一方面功率的增加使得栅的强度增加，需要移动的载流子的数量增多，从而加长了写栅的过程。这两方面综合的结果使得随着泵浦功率的改变有一响应时间的极大值。利用这一特点适当调整泵浦功率可缩短响应时

间。随着泵浦功率的增加栅的擦洗时间减小。图 11 给出了经斩波器调制后的探测光和信号光的波形, 可以看到, 输出光束在时域上的失真也很小。

## 4 结 论

1) 由实验结果可以看到, 利用作者提出的在互泵浦位相共轭器中实现光互联的方法, 同一光路下可分别实现双向的光开关、广播式光互联、合成式光互联和点点式光互联。且由于利用到了两波耦合强度较高的方向, 得到了较高的互联效率。而响应时间的缩短除可适当增加入射功率外, 还依赖于探索响应快的新的光折变材料, 这方面的研究正在进行中。另外利用含有更多波长的激光光源, 例如用宽带染料激光器, 可以实现更多路的光互联。

2) 通过光折变两波耦合可以有效地提高空间光调制器的透过率, 得到了比文献[4]中报道的更高的透射效率。同时对光互联的时间特性进行了研究, 这些研究有助于改善光互联的时间特性, 进一步的研究正在进行中。通过比较经斩波器调制后的探测光和信号光的波形, 可以看到, 输出光束在时域上的失真也很小, 由此说明利用两波耦合对快信号进行光互联是可行的。

## 参 考 文 献

- [1] S. Weiss, M. Segev, S. Sternklar *et al.*, Photorefractive dynamic optical interconnects. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(16): 3422~ 3428
- [2] Y. Owechko, B. H. Soffer, Optical interconnection method for neural networks using self-pumped phase-conjugate mirrors. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(9): 675~ 677
- [3] M. Cronin-Golomb, Dynamically programmable self-aligning optical interconnect with fan-out and fan-in using self-pumped phase conjugation. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**(22): 2189~ 2191
- [4] P. Yeh, A. E. T. Chiou, J. Hong, Optical interconnection using photorefractive dynamic holograms. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(11): 2093~ 2095
- [5] D. Wang, Z. Zhang, Y. Zhu *et al.*, Observation on the coupling channel of the mutually incoherent beams without internal reflection in BaTiO<sub>3</sub>. *Opt. Commun.*, 1989, **73**(6): 495~ 500

## Studies of Optical Interconnection in Photorefractive Crystals

Zhang Jiasen    Gao Hong    Dou Shuoxing    Zhu Yong    Ye Peixian  
(*Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

(Received 12 September 1995; revised 12 December 1995)

**Abstract** The optical interconnections in photorefractive crystals is studied and a method is proposed to perform optical switch, broadcasting interconnection, combining interconnection, and point to point interconnection at the same configuration by using bridge phase conjugator's configuration. The intensity and temporal properties of the optical interconnection are discussed under the configuration of photorefractive two-beam coupling.

**Key words** optical interconnection, bridge phase conjugator, photorefractive two beam-coupling.