

光折 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 空间光调制器*

赵明君 李育林 王 昭

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

提 要

本文利用光折晶体 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 的非简并和简并多波混频实现非相干-相干转换; 波长转换和相干图象与非相干图象的并行相减运算, 并给出了实验结果。

关键词: 光折晶体, 四波混频。

一、引 言

能够对光的空间信息包括振幅、偏振、位相、乃至波长等进行调制的器件或装置统称为空间光调制器。这种操作由一种分布的光信息所决定, 称为光寻址空间光调制器。在光信息处理和光计算系统中能够利用光的快速、并行处理和高度互连的能力。因之, 越来越受到人们的关注。目前普遍使用的空间光调制器有液晶光阀, 可变反射镜, 微通道板空间光调制器, 半导体多量子阱, 磁光等器件^[1~2]。利用光折晶体 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) 作为空间光调制器件, 起初是 PROM 器件 (Pockels readout optical modulator)^[3] 后来在关于 BSO 的光折非线性效应研究的基础之上, Shi 等人^[4] 提出用光折晶体的简并四波混频加上非相干光调制实现把非相干图象转换成相干图象, 此即 PICOC (photorefractive incoherent-to coherent optical converter)。这就为空间光调制器的研制和应用研究增添了新的内容^[5]。

本文报道作者在对国产 BSO 晶体光折变性能测试研究的基础上^[6], 首次利用其简并和非简并多波混频, 实现非相干-相干图象转换, 并进一步利用此系统完成图象存贮; 波长转换; 以及相干与非相干图象并行相减运算, 并给出了实验结果。

二 光折效应和四波混频转换操作

图 1 为光折晶体四波混频示意图, 其中泵浦波 E_1 和信号波 E_3 在光折晶体内形成周期性的光强分布, 由光照产生的光生载流子由亮处向暗处迁移 (扩散和漂移), 然后建立起空间电荷场:

$$E_{sc} = E_q \left[\frac{E_a^2 + E_d^2}{E_a^2 + (E_d + E_q)^2} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

式中 E_q 为最大电荷场; E_d 为扩散场; E_a 为外加电场。周期性电场通过电光效应调制晶体的折射率形成周期性的分布,

收稿日期: 1990年11月8日; 收到修改稿日期: 1991年2月5日

* 国家自然科学基金资助的项目。

$$\Delta n = (1/2)n_0^3 r_{\text{eff}} E_{\text{sc}} \tag{2}$$

式中 n_0 为晶体的折射率; r_{eff} 为有效电光系数。其光折效应过程如图 2 所示。

如果用与 E_1 相反的泵浦波 E_2 作读出波, 则得到 E_3 的复共轭波 E_4 。这就构成了所谓四波混频系统。

如果(1)中的 $E_a > E_b$, 且有 $E_q > E_a$, 即外加电场占主导, 则有 $E_{\text{sc}} \propto E_a$ 。故外加电场与折射率的变化成正比, 进一步的讨论光折 BSO 晶体相位共轭和体全息光栅衍射效率可参见文献[6]。

BSO 晶体属于立方晶体, 点群 23, 具有显著的电光效应和光电导效应, 其响应时间比 BaTiO₃、LiNbO₃ 晶体快三个数量级^[7~8]。图 3 为光折晶体 BSO(10×10×3 mm³)多波混频进行非相干到相干转换的原理图, 其外加电场

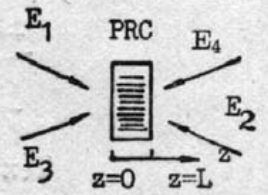


Fig. 1 Schematic diagram of photorefractive four-wave mixing

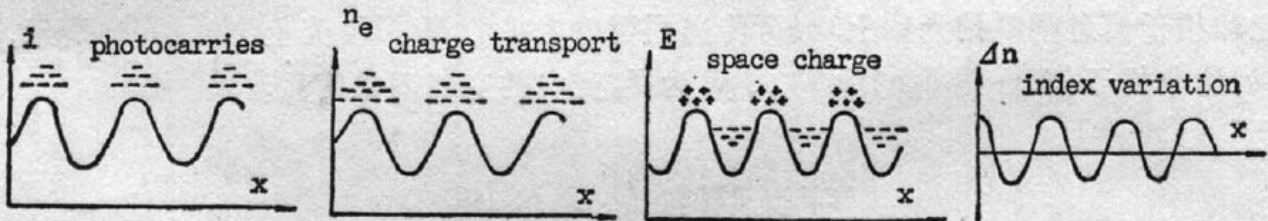


Fig. 2 Photorefractive effect process

(沿 001 轴)与光栅矢量平行。如果用与 E_1 和 E_3 非相干光或白光成像到晶体上, 此非相干光便对 E_1 和 E_3 形成的体光栅进行空间调制, 调制后的结果便把非相干光携带的信息载到空间光栅上, 再同时用相干泵浦波 E_2 读出光栅, 则输出的第四个共轭波 E_4 携带着非相干光的信息。这样便完成了从非相干图象到相干图象的转换。

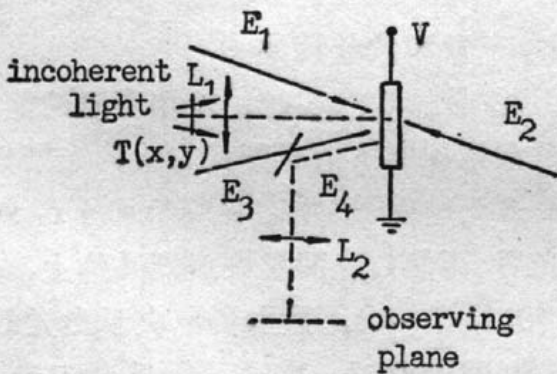


Fig. 3 Experimental setup for PICOC in FWM with BSO crystal

在本文的实验当中, 四波混频使用 Ar⁺ 激光为相干光源 ($\lambda = 514.5 \text{ nm}$), 非相干图象用白炽灯或幻灯机通过透镜 L_1 ($f_1 = 22 \text{ cm}$; $\phi = 5 \text{ cm}$) 成像到 BSO 晶体上, 晶体上施加高压电场 $E_0 = 8 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$, 图 4 为一转换结果。

图 5(a)是利用非简并多波混频来完成 PICOC 操作, 从 Ar⁺ 激光器(514.5 nm)来的 I_1

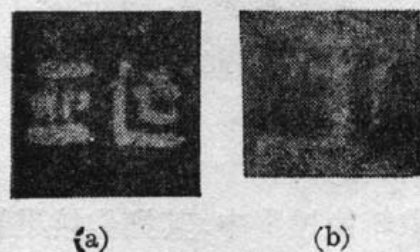


Fig. 4 The results of PICOC operation

(a) input an incoherent image; (b) output a negative replica of the input image

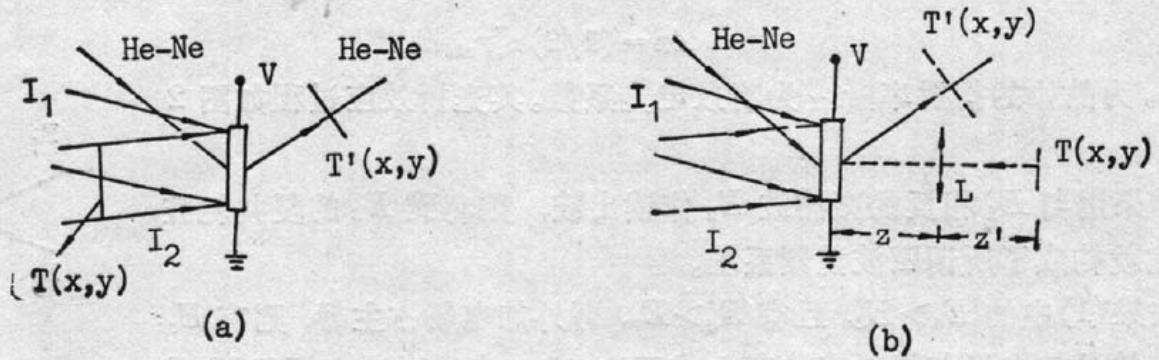


Fig .5 PICOC is performed by using real-time holography

(a) Green image (514.5 nm) was stored, it can be readout by red light (632.8 nm); (b) White image was stored, it can be readout by red (632.8 nm) or green (514.5 nm) light

和 I_2 在外场作用下, 在 BSO 内建立体光栅, 另一束 He-Ne 激光(632.8 nm)在满足布拉格条件下, 入射到 BSO, 衍射出第四束光为 He-Ne 光。如果 I_1 或 I_2 包含有空间信息; 或者把其它非相干信息调制到光栅上, 则可传递到衍射出来的 He-Ne 光上, 如图5(b)所示, 其中 $T(x, y)$ 为非相干信息; 图 5(a)中 $T(x, y)$ 为 I_2 光中的空间图象信息。

三、图象处理举例

利用光折 BSO 晶体的多波混频完成图象处理已有较多报道^[9~10], 但都属于纯相干运算, 在此, 作者基于前述的理论, 把它应用到图象处理, 包括非相干和相干图象, 以及光计算

操作等内容。

1. 图象存贮和波长转换

由于 BSO 晶体具有实时记录和存贮的能力, 更重要的是在外加电场情况下, 有快的光栅建立速度和慢的退化过程^[6], 如图 6 所示, 当 I_1 和 I_2 对晶体曝光后, 再使白光图象聚焦到晶体上, 一般时间较多 (0.1~1sec), 这主要取决于白光的光强, 光越强, 则曝光愈短。这时可断开 Ar^+ 光, 则非相干图象信息被冻结在晶体内。过数分钟到数十分钟, 如果用平面波为 He-Ne 光或 Ar^+ 光束(I_1 或 I_2)读光栅, 则可得到一相干的红光或绿光图象。此即完成了把白光转换成红光($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)或绿光($\lambda = 514.5 \text{ nm}$)波长的图象转换如图 7 所示。在 I_1 和 I_2 的光栅建立过程中, 由于 BSO 晶体的局部响应特性, 如果使 I_1 或 I_2 本身包含有空间信息, 即在 I_1 或 I_2 的光路中放一透明物体, 再用 He-Ne 光读出时, 可得到相应的空间图象, 如图 8 所示, 此即完成了把绿光($\lambda = 514.5 \text{ nm}$)图象转换成红光($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)图象的波长转换*。



Fig. 6 The curve of diffraction efficiency dependence time for grating build up and decay in BSO ($10 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$; $E_s = 6 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$) crystal [6]

操作等内容。

2. 非相干与相干图象并行相减操作

在上面的非相干到相干图象转换过程中, 其操作结果皆是白光图象的负象, 这是由于白光图象的写入本身起到对固有光栅的擦除作用, 故白光图象的写入到读出相当于完成了一

* 此处完成的转换是正象转换。

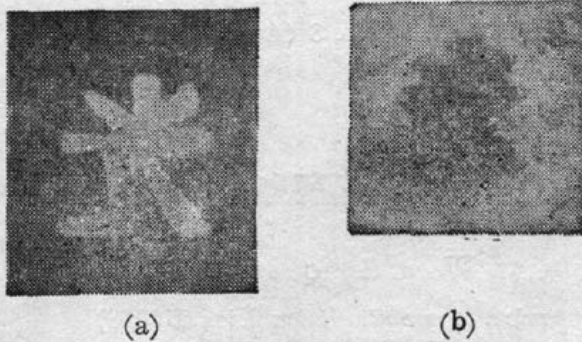


Fig. 7 Image conversion corresponds with Fig. 5(b)

(a) white light image (input); (b) red or green image (output)

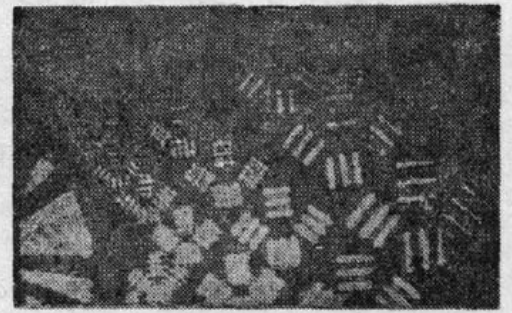


Fig. 8 Image conversion from green image (514.5) to red image (632.8 nm) corresponds with Fig. 5(a)

次“负”运算。而相干光 I_1 (或 I_2) 则是正写入。如果给相干光之一 (I_1 或 I_2) 和非相干各载有图象, 此操作的完成就相当于实现二者的并行相减运算, 其运算结果可用 He-Ne 光读出, 如图 9 所示。类似的可以把此种方法应用光逻辑操作运算当中。

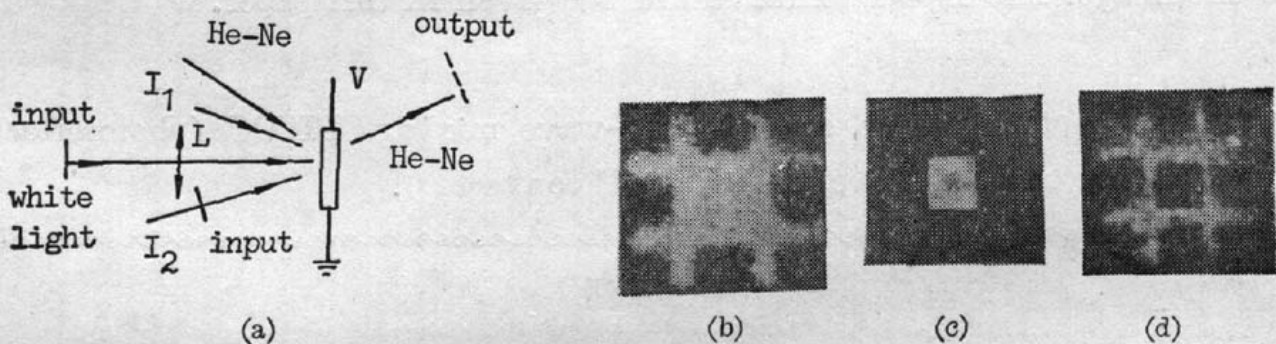


Fig. 9 Parallel image subtraction between coherent and incoherent images

(a) the diagram of image subtraction by FWM and white writing; (b) coherent image for I_2 path inputting; (c) incoherent image for white light image inputting; (d) the result output of subtraction between (b) and (c)

总之, 这种空间光调制器具有结构简单, 可重复使用, 快速响应, 实时操作, 同时并不影响晶体再用于非线性光学和实时全息等性能研究的优点。这对于开发光折变晶体在空间光调制器及光计算的应用研究增添了新的重要的内容。

上海硅酸盐研究所徐良瑛先生提供部分试验晶体; 北京工业大学实习生姚立新同学参加了部分实验工作; 西安光机所朱夕芳、孔玉娥, 姚立等同志给予很大的帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] D. Casasent; *Opt. Engng*, 1978, **17**, No. 4 (Jul/Aug), 307.
- [2] *Spatcal Light Modulations & Applications* 1988.
- [3] R. A. Sprague, P. Nisenson; *Opt. Engng*, 1978, **17**, No. 4 (Jul/Aug), 256.
- [4] Y. Shi, D. Psaltis *et al.*; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 23 (Dec), 3665.
- [5] Scapham, R. W. Eason *et al.*; *Opt. Commun*, 1990, **74**, No. 5, 290.
- [6] Li Yulin, Zhao Mingjun; *Proc. SPIE*, 1990, Vol. 1358
- [7] W. J. Burke, D. L. Staebler *et al.*; *Opt. Engng*, 1978, **17**, No. 4 (Jul/Aug), 308.

- [8] J. P. Huignard, F. Micheron; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**, No. 9, 591.
 [9] N. A. Vainos, R. W. Eason; *J. Modern Opt.*, 1988, **35**, No. 3, 505.
 [10] N. Sze-Keung, Kwong, Y. Tamita *et al.*; *J. O. S. A. (B)*, 1988, **5**, No. 8 (Aug), 1788.

Photorefractive $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ spatial light modulator

ZHAO MINGJUN, LI YULIN AND WANG ZHAO

(Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica Xian 710068)

(Received 8 November 1990; revised 5 February 1991)

Abstract

We used home-made photorefractive crystal $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ as realtime nondegenerate and degenerate four-wave mixing medium, to accomplish incoherent to coherent conversion, wavelength conversion, image subtraction between coherent and incoherent image. The experimental results are given in this paper.

Key words: photorefractive crystal, four-wave mixing, PICOC (photorefractive incoherent-to-coherent optical converter).

补 漏

《光学学报》1991年11卷No.2(Feb), 139~145页的“二值干涉型计算全息图”一文中的参考文献如下。

参 考 文 献

- [1] W. H. Lee; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 13(Jul), 1677.
 [2] W. H. Lee; *Progress in Opt.*, 1978, **16**, No. 1(Jan), 152.
 [3] P. L. Ransom *et al.*; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 12(Dec), 2765.
 [4] J. P. Waters; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**, No. 11, 405.
 [5] J. W. Goodman; 《傅里叶光学导论》(科学出版社, 北京, 1976), 第8章。
 [6] R. J. 科利尔等人; 《光全息学》(机械工业出版社, 北京, 1983)。
 [7] B. P. 拉斯; 《通信系统》, (国防工业出版社, 北京, 1976), 第五章。
 [8] W. H. Lee; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 21(Nov), 3661.
 [9] P. L. Ransom; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 3, 563.