

基于晶体双折射效应的光学逻辑处理器*

彭海峰 殷耀祖 刘立人 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 利用晶体的双折射效应, 发展起一种具有紧凑结构的光学逻辑处理器, 实现对两个输入图像的所有 16 种逻辑操作。具有体积小, 性能稳定及高包装密度等优点。也给出了实验结果。

关键词 双折射, 逻辑处理器, 包装密度。

1 引 言

近年来, 光学计算机因其在信息处理方面的高效性而得到广泛的研究^[1, 2], 它具有并行性, 高速性及串扰小等特点。同样作为构成光学计算机系统的最基本单元——光学逻辑处理器的研究也受到人们的普遍重视。迄今, 利用多种物理原理及物理效应, 人们已发展起多种逻辑处理器, 一般可分为如下两类: 一类是利用光学非线性双稳或多稳器件实现逻辑操作, 典型的有自电光效应器件(S-SEED)^[3], 双稳透射吸收标准具器件(BEAT)^[4]等。另一类则是通过对输入信息的非线性编码实现, 其中包括阴影投影^[5], 多重成像^[6, 7]及空间滤波^[8]等方法。在第二类实现方法中, 由于把对器件的非线性要求转移到对信息编码的非线性上, 保持了光学系统的线性性, 同时也降低了对器件的要求。

利用晶体的双折射效应, 可实现光束的分束及组合。于是本文作者通过不同偏振光学元件(晶片, 旋光片等)的适当组合, 发展起一种光学逻辑处理器, 它具有结构紧凑, 受环境影响小等优点。所有逻辑操作的选择通过一控制板进行。

2 处理器原理

单轴晶体具有双折射效应^[9]。当一束单色光垂直入射到一晶体表面且与晶体光轴成 θ 角时, 一般地, 出射光可分为 o 光及 e 光两束, 且 e 光对 o 光的偏移距离 Δ 为

$$\Delta = kt. \quad (1)$$

式中 t 为晶片厚度, k 值与 θ 角有关。调节晶片厚度 t 的大小可获得不同的偏移距离 Δ 值。这是用晶体双折射效应实现逻辑操作的基础。实验中, 利用自然切割的方解石晶片, 与其对应的 k 值约为 0.108。

图 1 为该逻辑处理器的结构示意图。它由三片方解石晶片(CP_1, CP_2, CP_3), 两片 45° 石

* 国家自然科学基金资助课题及国家科委 863 高技术项目。

收稿日期: 1994 年 6 月 9 日; 收到修改稿日期: 1994 年 8 月 22 日

英晶体旋光片 (PR₁, PR₂), 控制板 CP, 解码板 SM 及图像输入器件 (SLM₁, SLM₂) 组成。各方解石晶片厚度相同且它们的光轴取向如图所示。控制板及图像输入器件为 2-D 空间光调制器。逻辑操作的选择由控制板实现。

为实现逻辑操作, 以编码盒对输入图像 A, B 进行双轨编码, 输入图像每一像素对应于一编码盒, 每一编码盒由四个子像素构成, 其子像素中心距为输入图像像素中心距的一半, 如图 2 所示。实际上, 每一编码盒中有两个子像素是没有利用。编码后的输入图像 A 由 SLM₁ 输入, 经方解石晶片 CP₁ 后, 由于光束的 Y 向分解, 每一编码盒中的四个子像素可表为 A, A, \bar{A} , \bar{A} 。在控制板 CP 上, 与每一编码盒对应地有一由四个关状态 k₁—k₄ 可任意控制的子像素构成的控制盒, 且控制板上所有控制盒的控制状态相同。于是经控制板后, 其对应输出为 k₁ \bar{A} , k₂A, k₃ \bar{A} 及 k₄A。经 45° 旋光片 PR₁ 及 X 向分束的方解石晶片 CP₂ 后, 形成像的叠加, 其输出如图 3(a) 所示。选取其中间部分输出 (k₁ \bar{A} + k₂A) 及 (k₃ \bar{A} + k₄A) 作为后续部分的输入。编码后的输入图像 B 由 SLM₂ 输入, 则经 SLM₂ 后的输出为 (k₁ \bar{A} + k₂A)B 及 (k₃ \bar{A} + k₄A) \bar{B} 。经 45° 旋光片 PR₂ 及 Y 向分束的方解石晶片 CP₃ 后, 又产生图像的叠加, 对应输出如图 3(b) 所示。利用解码板 CP (其对应像素中心距为编码盒中子像素中心间距的两倍), 考虑到控制板

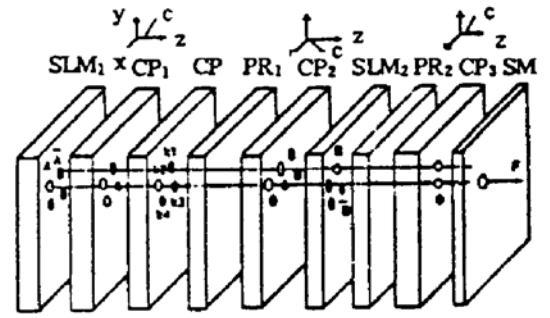


Fig. 1 Schematic diagram of the proposed logic processor

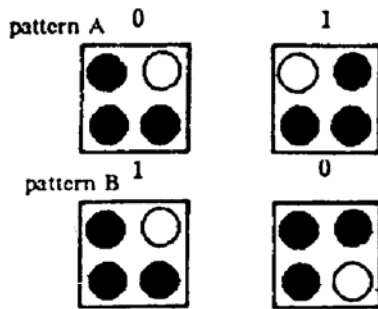


Fig. 2 Encoding of the input patterns

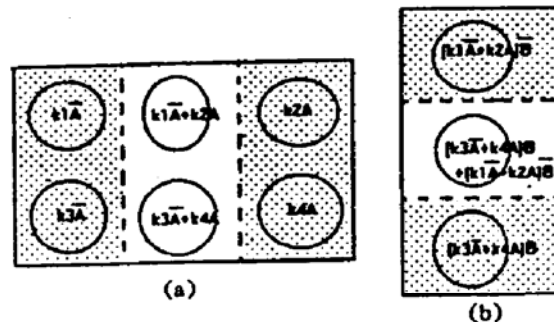


Fig. 3 Diagram of image overlapping

- (a) behind calcite plate CP₂,
- (b) behind calcite plate CP₃

上所有控制盒的控制状态相同, 于是经解码后的逻辑输出 F 为

$$F = k_1 \bar{A} B + k_2 A B + k_3 \bar{A} \bar{B} + k_4 A \bar{B}. \tag{2}$$

因而通过改变控制盒的状态 k₁—k₄, 可实现两输入图像的全部 16 种逻辑操作, 如表 1 所示。

Table 1. All 16 possible combinations of k₁—k₄ and their corresponding logic operations

k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	logic operation	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	logic operation
0	0	0	0	F	1	0	0	0	$\bar{A} \bar{B}$
0	0	0	1	$A \bar{B}$	1	0	0	1	XOR
0	0	1	0	NOR	1	0	1	0	\bar{A}
0	0	1	1	\bar{B}	1	0	1	1	NAND
0	1	0	0	AND	1	1	0	0	B
0	1	0	1	A	1	1	0	1	OR
0	1	1	0	EQV	1	1	1	0	$\bar{A} + B$
0	1	1	1	$A + \bar{B}$	1	1	1	1	T

3 实验结果

利用方解石及石英晶片,以模板代替图 1 中的控制板 CP 及图像输入器件 SLM₁, SLM₂, 对所述逻辑处理器进行了实验研究。实验中,编码盒中子像素中心距为 1 mm,像素直径 0.5 mm;解码板像素中心距 2 mm,像素直径 1 mm。图 4(a)为输入图像 A, B,图 4(b)为两输入图像 A, B 的 XOR 及 AND 逻辑操作,分别对应于 $k_1 = k_4 = 1, k_2 = k_3 = 0$ 及 $k_1 = k_3 = k_4 = 0, k_2 = 1$ 。

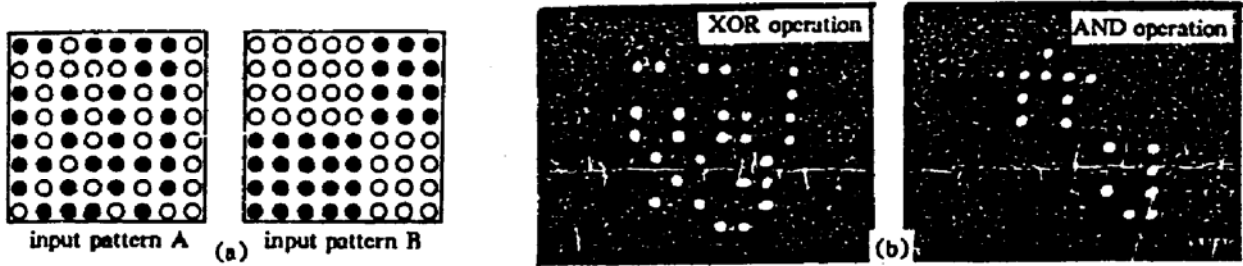


Fig. 4 Experimental results

(a) input patterns A and B, (b) logic results of A XOR B and A AND B

4 讨 论

由图 1,可知该处理器的包装密度(输入器件 SLM₁ 及 SLM₂ 单位面积像素数)由一旋光片及一方解石晶片的组合决定。45°石英旋光片厚度约 2.5 mm。考虑到衍射扩展的影响,在入射光波长为 0.63 μm 时,当输入子像素直径约为 78 μm,方解石晶片厚约 1.45 mm 时,可获得约 40/mm² 的包装密度。若利用厚 0.5 mm 的电控波片代替石英旋光片,则选取输入子像素直径约为 45 μm,方解石晶片厚为 0.9 μm 时,可获得大于 100/mm² 的包装密度。目前已研制出分辨率超过 500×500 的空间光调制器,满足上述输入器件及控制板要求。

在该逻辑处理器中,所有逻辑操作的选择是通过改变控制盒中 $k_1 - k_4$ 的开关状态实现。对于空不变逻辑操作而言,控制板上所有控制盒的控制状态相同,于是通过四根信号线可控制 16 种逻辑。若逐个控制各控制盒的控制状态,也可实现空变逻辑操作,但控制较复杂。

结 论 利用晶体的双折射效应,通过不同偏振光学元件的适当组合,发展起一种具有高度紧凑结构的光学逻辑处理器,所有逻辑操作可通过改变控制板上控制盒的控制状态实现。它具有体积小,包装密度高及抗环境干扰等特点。

参 考 文 献

- [1] A. Huang, Architectural considerations involved in the design of an optical digital computer. *Proc. IEEE*, 1984, 72(7): 780~786
- [2] T. E. Bell, Optical computing; a field in flux. *IEEE Spectrum*, 1986, 23(8): 34~57
- [3] A. L. Lentine, H. S. Hinton *et al.*, Symmetric self-electrooptic effect device; optical set-reset latch, differential logic gate and differential modulator/detector. *IEEE J. Quantum. electron.*, 1989, QE-25(8): 1928~1936
- [4] R. G. A. Craig, G. S. Buller *et al.*, All optical programmable logic gate. *Appl. Opt.*, 1990, 29(14): 2148~2152
- [5] Y. Ichioka, J. Tanida, Optical parallel logic gates using shadow-casting system for optical digital computing. *Proc. IEEE*, 1984, 72(7): 787~801

- [6] L. Liu, X. Liu, Cascadable binary pattern logic processor using multiple imaging. *Opt. Commun.*, 1991, 82(5): 446~452
- [7] Z. Zhang, L. Liu, Programmable optical triple-in logic processor using multiple imaging. *Opt. Commun.*, 1994, 100(1): 33~38
- [8] H. Bartelt, A. W. Lohmann, E. E. Sicre, Optical logical processing in parallel with theta modulation. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1984, 1(9): 944~951
- [9] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, New York, Pergamon press, 1975, 665~716

Optical Logic Processor Based on Birefracton

Peng Haifeng Yin Yaozu Liu Liren Wang Zhijiang

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

(Received 9 June 1994; revised 22 August 1994)

Abstract Based on the birefracton of crystals, a compact optical logic processor, which can perform all 16 logic operations of two input images, is developed. It is compact in structure, insensitive to environmental disturbance, effective in performance as well as high packaging density. Experimental results are given.

Key words birefracton, logic processor, packaging density.