

电寻址铁电液晶空间光调制器 及其驱动电源研制

周学武 徐克璜 肖胜安 吕瑞波 乐永康 陈维军

(复旦大学物理系 上海 200433)

提要 介绍了 64×64 点阵铁电液晶空间光调制器(FLCSLM)及其驱动电路。该调制器对比度大于 $60 \cdot 1$, 帧速大于 27 帧/s, 在计算机控制下可以驱动 FLCSLM 显示动态图像。

关键词 铁电液晶, 空间光调制器, 扫描

1 引 言

空间光调制器作为光学图像处理和光计算中的关键器件, 已经引起人们的广泛注意^[1-3]。帧速和对比度是空间光调制器的两个重要参数, 人们一直在寻求新型的液晶和较好的驱动方式以改善其性能。80 年代末和 90 年代初国外研制成的光寻址和简单矩阵寻址的 FLCSLM, 对于中等像素数(如 128×128) 大小的电寻址 FLCSLM, 其帧速为 25~40 帧。近两年发展起来的硅基 FLCSLM, 利用大规模集成电路的成熟工艺, 将铁电液晶直接灌注在硅集成电路的顶部, 利用大规模集成电路的功能元件对 FLC 层施加驱动电压和提供控制和处理每个像素信号的功能, 大大提高了器件的性能。我们研制了一个 64×64 电寻址的铁电液晶空间光调制器, 利用简单矩阵寻址, 其对比度大于 $60 \cdot 1$, 帧速大于 27 帧/s, 像素大小为 $80 \times 80 (\mu\text{m})$ 。并且自行研制了驱动电源, 在计算机控制下可以驱动 FLCSLM 显示动态图像。

2 原 理

2.1 表面稳定模式

铁电液晶表面稳定模式理论由 N. A. Clark 小组提出^[4], 其基本思想是: 采用平行定向方法使液晶分子平行于基板面(如图 1), 当液晶盒厚比铁电液晶分子螺距小得多时, 液晶分子的螺旋形结构被抑制, 分子排列成两种状态, 从而产生向上和向下的宏观极化强度。通过外电场, 我们可以控制这两种状态的切换, 由图 1 可知, 在一定电场的作用下, 液晶分子呈一定方向排列。如果将液晶盒放在正交偏振片中间, 使这一状态的分子排列方向(光轴方向)平行于起偏方向, 此时, 透射光强为零, 即暗态; 加上反方向电场, 分子转动 2θ 角, 透射光强为 $I = I_0 \sin^2(2\theta) \sin^2(\pi \Delta n d / \lambda)$, I_0 为入射光强, $\Delta n = n_e - n_o$, d 为液晶盒厚度, λ 为光波长。如果选择适

当的铁电液晶材料使 $\theta = 22.5^\circ$, $\Delta n \times d = \lambda/2$, 就可获得最大对比度。我们利用特种聚合物加摩擦的方法对 CS-1024 定向, 其 θ 值为 25° , Δn 为 0.15 (25°C, 589 nm 处); 利用倾斜蒸镀 SiO 超薄膜对 SCE-13 定向, 其 θ 值为 21.5° , Δn 为 0.1 (20°C, 589 nm 处)。

2.2 液晶盒的制备

铁电液晶比普通液晶的响应速度快 3 个数量级, 并且具有良好的记忆功能, 因此在显示上具有重要的应用前景。用它做成的空间光调制器, 也是光学图像处理 and 光计算的关键器件。但是, 制作铁电液晶器件最大的难点在于如何克服各种可能出现的缺陷, 得到均匀的、双稳性能良好的铁电液晶分子定向^[5]。我们采用两种方法, 均得到了良好的效果。

2.2.1 利用特种聚合物膜加摩擦的方法, 对 CS-1024 铁电液晶定向^[6], 得到了对比度为 140·1 的铁电液晶池, 在 $\pm 10 \text{ V}/\mu\text{m}$ 的双极脉冲的驱动下, 上升时间为 $92 \mu\text{s}$, 下降时间为 $64 \mu\text{s}$ 。图 2(a), (b) 是测量它的光电响应特性的存储示波器照片。其铁电液晶具有良好的双稳特性。图 2(c) 中用 0.6 ms 的双极脉冲驱动, 电压撤去后, 光信号持续 30 ms 光电响应特性不衰减, 在实际测量中, 48 h 无明显变化。

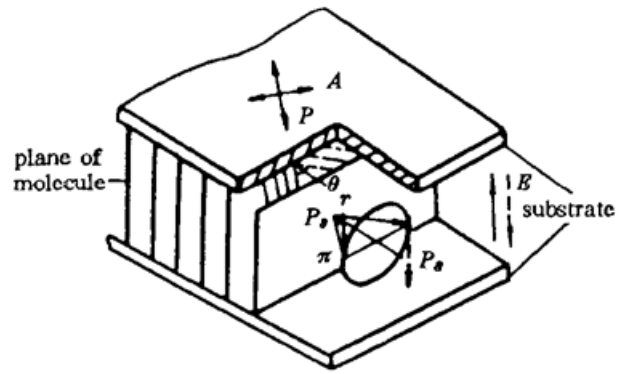


图 1 表面稳定模式铁电液晶作用原理

Fig. 1 Shows the principle of surface-stabilized ferroelectric liquid crystal

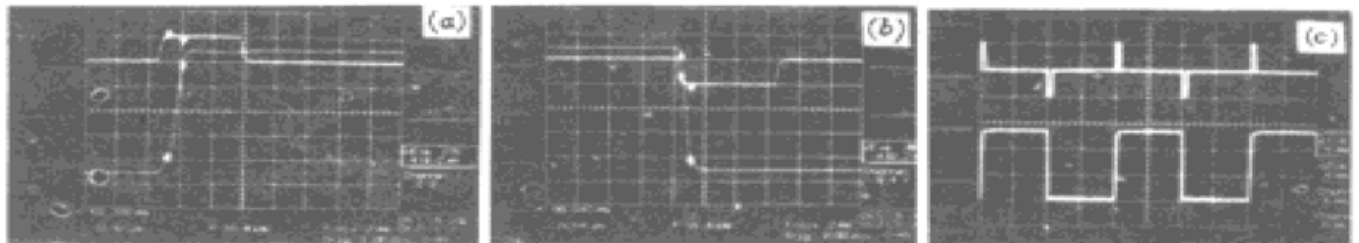


图 2 铁电液晶在双极脉冲驱动下的反转时间的测量

(a) 上升时间; (b) 下降时间; (c) 双稳特性

Fig. 2 Shows the response time when a bipolar external voltage is applied

(a) rise time: $92 \mu\text{s}$; (b) decay time: $64 \mu\text{s}$; (c) bistable electro-optic feature

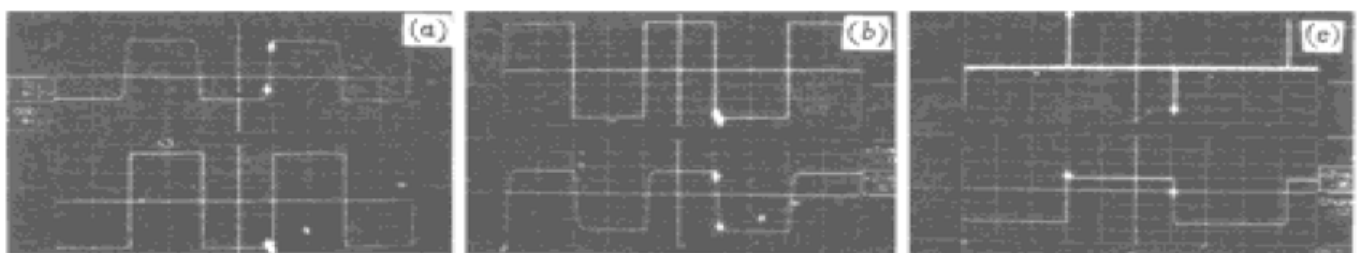


图 3 铁电液晶在方波脉冲驱动下的反转时间的测量

(a) 上升时间; (b) 下降时间; (c) 双稳特性

Fig. 2 Shows the response time when a square external voltage is applied

(a) rise time: $60 \mu\text{s}$; (b) decay time: $50 \mu\text{s}$; (c) bistable electro-optic feature

2.2.2 利用倾斜蒸镀 SiO 超薄膜对铁电液晶 SCE-13 进行定向。蒸镀方向与底面法线成 80° 。

经过适当处理,得到了对比度为 150 ·1 的铁电液晶池,其光电响应特性见图 3 (a), (b), 用 ± 10 V/μm 的方波驱动,上升时间为 60 μs,下降时间为 50 μs。图 3(c) 显示了它的良好双稳特性,在驱动电压撤去后,光电响应持续 30 ms 不衰减,在实际测量中,48 h 无明显变化。

在此基础上,我们用两种定向方法均研制成功了电寻址铁电液晶空间光调制器,像素数为 64×64,像素大小为 80×80 (μm),膜厚为 1.5 μm,对比度大于 60 ·1,帧速大于 27 帧/s。图 4 分别是它的亮态和暗态的偏光显微镜照片。

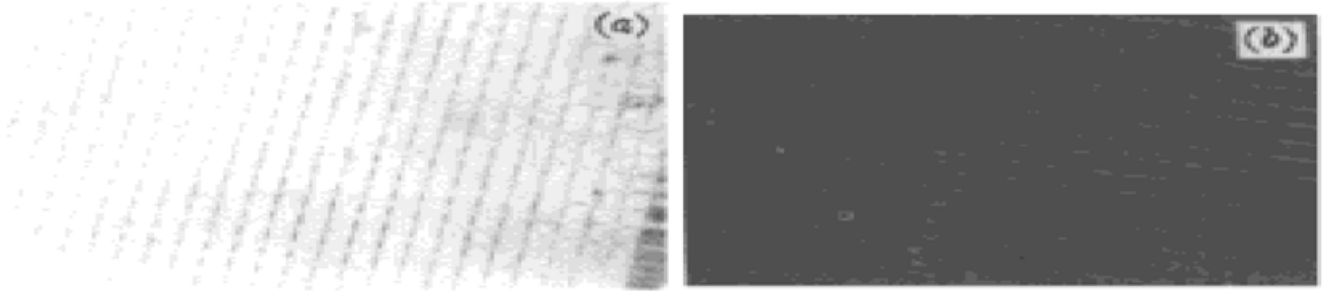


图 4 64×64 点阵铁电液晶空间光调制器状态
(a) 亮态; (b) 暗态

Fig. 4 Shows the 64×64 pixels FLCSLM state
(a) up state; (b) down state

2.3 驱动电源

我们研制了电寻址铁电液晶空间光调制器的驱动电源。图 5 是这一驱动电路的方框图。在这一电路的驱动下,可在我们研制的 FLCSLM 上以视频速度显示动态图形。

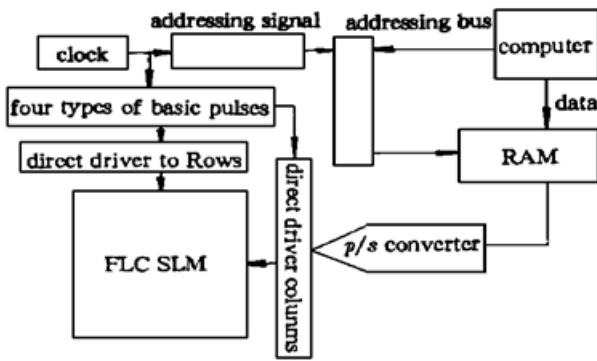


图 5 铁电液晶驱动器原理图

Fig. 5 Schematic diagram of the driver of the FLCSLM

铁电液晶的驱动电压比普通液晶高(± 10 V/μm),我们研制的驱动电路要与计算机相联,能由计算机控制铁电液晶空间光调制器显示动态图像。复杂程度和难度都较高。它由三部分组成。

2.3.1 产生基本时序及驱动波形部分,包括像点时钟和字节时钟信号;水平同步信号和垂直同步信号;地址扫描信号;驱动 FLC 的行选通、行非选通、列亮、列暗等四种基本波形。行选通与列亮组合,使像素开;行非选通与列暗组合,使像素关。FLCSLM 驱动电源

所产生的四种基本波形见图 6。

第一行为基本时钟信号,它的频率可调;第二行为行选择、第三行为行非选择波形;第四行为列亮波形、第五行为列暗波形。

电路采用行扫描方式,从列电极中输入图形信号(Col. u 和 Col. D),从行电极输入扫描信号(Row. S 和 Row. N)。四种基本波形两两组合,形成以下四种波形,加在每个 FLC 像素上,控制它们的开关状态,如图 7。

选择波形的原则是:(1) 为了保证铁电液晶的稳定性,在一个周期内,加在每一个像素上的正负电荷均等,即图 7 每个波形各自的正负面积(电压×时间)相等;(2) 铁电液晶的反转特

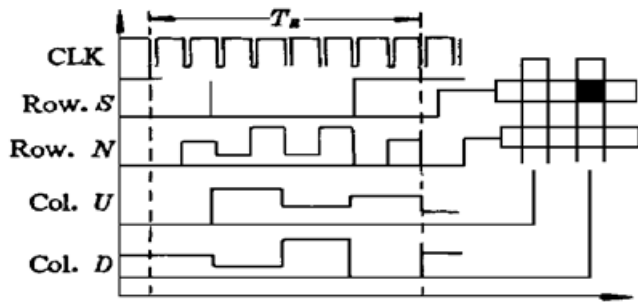


图 6 四种基本驱动波形

Fig. 6 Four basic pulses of the driver

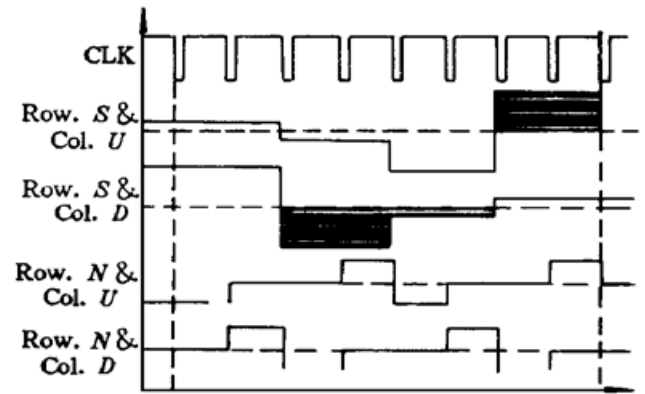


图 7 加在每个像素上的波形

Fig. 7 Voltage applied to each pixels

性与波形面积(电压 \times 时间)有关。即当波形面积大于某个阈值时液晶状态才发生反转。在图 7 中,我们使阴影部分的面积大于该阈值,用来决定像素状态,其它部分小于该阈值,它们对液晶状态不起决定作用。

2.3.2 计算机编程控制电路。CPU 通过一套寻址系统对 RAM 寻址,并将显示数据写入 RAM。然后通过扫描地址信号读出 RAM 相应的数据,再通过并行/串行转换器将数据串行地输入到 FLC 的直接驱动电路上。

2.3.3 FLCSLM 的行和列直接驱动电路。行驱动电路是一组由 64 位移位寄存器控制的模拟开关,在每一时刻,只有一路信号为“选通”,其余 63 路为“非选通”。由像点时钟信号控制移位寄存器送数据给模拟开关,以实现行的扫描。列驱动电路有 80 路模拟开关,它比行驱动电路多一个临时寄存器,由像点时钟信号和水平同步信号控制临时寄存器,该寄存器接受从 RAM 读出的串行信号,并把数据送给输出寄存器,然后控制 80 路模拟开关,以实现列的驱动。

因为是对一列像素同时送出控制信号,所以帧速与列的数目没有关系。扫描一帧的时间为:

$$T = N \times T_R$$

式中, N 为调制器的行数, T_R 为驱动波形周期(图 6)。 T_R 的选择与液晶的在一定电压下的响应时间有关。前面所测得的上升下降时间为 T_R 的选择提供了依据。

3 测试结果

在以上基础上,我们研制了 64×64 点阵铁电液晶空间光调制器,1995 年 11 月 20 日通过上海市测试技术研究所测试,结果如下:

调制器以透射方式工作。

能产生亮暗图像。

像素数为 64×64 。

像素面积为 $80 \times 80 (\mu\text{m})$, 像素间隔为 $20 \mu\text{m}$, 分辨率为 10 线/mm。

帧速为 27 帧/s。

反差为 $60 \cdot 1$ (在 632.8 nm 处)。

工作温度为室温(上限 35°C)。

在自行研制的电路的驱动下, FLCSLM 在计算机控制下能显示亮暗动态图像。

该调制器具有下列优点: (1) 可由计算机编程控制 FLCSLM, 以视频速度显示动态图像; (2) 对响应特性不同的 FLC 有一定的宽容度, FLC 的开关与否由驱动波形的脉宽与脉冲高度的积决定。本电源可以通过改变基本时钟信号来改变驱动脉冲的宽度, 以适合不同开关特性的 FLC。驱动电压为 $\pm 17\text{ V}$, 最高帧速为 40 帧/s; (3) 为扩大 FLCSLM 的像素数打下了基础。该电路可以直接用来驱动 64×80 像素, 列增加不降低帧速, 用两个行驱动电路和两个列驱动电路和两个 RAM, 可以比较方便地扩展到 128×160 列, 这相当于驱动一个袖珍的 FLC 电视显示屏。

参 考 文 献

- 1 N. Collings W. A. Crossland, P. J. Ayliffe *et al.*. Evolutionary development of advanced liquid crystal spatial light modulators. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(22) : 4740~ 4747
- 2 K. M. Johnson, C. C. Mao, G. Moddel. High-speed, low-power optical phase conjugation using a hybrid amorphous silicon/ferroelectric-liquid-crystal device. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(20) : 1114~ 1116
- 3 Kristna M. Johnson, Douglas J. McKnight, Ian Underwood. Smart spatial light modulators using liquid crystals on silicon. *IEEE J. of Quant. Electr.*, 1993, **QE-29**(2) : 699~ 714
- 4 N. A. Clark, S. T. Lagerwall. Submicrosecond bistable electro-optic switching in liquid crystal. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**(11) : 899~ 901
- 5 J. Dijon, C. Ebel, C. Vaucheur *et al.*. High-speed SmC* mixture: an evaluation of their performance. SID'88 Digest of Technical, 1988, 246~ 249
- 6 沈 浩, 肖胜安, 徐克琇. 铁电液晶单池的制备与电开关特性研究. 中国激光, 1994, **A21**(11) : 904~ 907

Preparation of Matrix-addressed Ferroelectric Liquid Crystal Spatial Light Modulator and Its Driver

Zhou Xuewu Xu Keshu Xiao Shengan Lu Ruibo Le Yongkang Chen Weijun
(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract Spatial light modulators are a fundamental device in optical information processing and optical computing. We have developed a matrix-addressed ferroelectric liquid crystal spatial light modulator (FLCSLM) with 64×64 pixels, the dimensions of each pixel are $80 \times 80 (\mu\text{m})$, its contrast ratio exceed 60:1 and the frame rate exceed 27 Hz. The driver of FLCSLM also has been manufactured. It enables the FLCSLM to realize display in video rate under the control of computer.

Key words FLC, FLCSLM, scan