

一种近贴式微通道板空间光调制器

梁振宪 侯洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

提 要

对由光电阴极、微通道板、网电极及斜切电光晶体 LiNbO_3 组成的新型全近贴式微通道板空间光调制器(MSLM)进行了系统地研究. 详述了该器件的设计考虑及关键工艺过程. 研制出了一种对紫外光响应的开放式MSLM样管. 并用其实现了二维光强度空间调制.

关键词 空间光调制, 光电成像, 电光晶体, 光学信息处理.

1 引 言

空间光调制器是一类实现将光(或电)载信息施加到二维光学数据场上并能进行运算处理的器件,是光学信息处理系统中最基本的硬件之一. 在近二十年内得到了迅速的发展,已有五十多种器件方案问世^[1].

Warde 等人于 1978 年提出的微通道板空间光调制器是一种光电成像敏光的电光空间光调制器^[2]. 具有灵敏度高(适合微光条件下应用)、存储时间长、种类多、适应性广等突出的性能优势. 并具有独特的本征信息处理功能,如减运算、对比度翻转、可调阈值限幅及同步检测等^[1,3,4]. 经过近十年的发展形成了微通道板空间光调制器系列^[5,6,7]. 特别是日本滨松公司(Hamamatsu Photonics K. K.)在其倒像式像增强器基础上推出了几种微通道板空间光调制器实用化器件. 所有这些器件在光学信息处理系统中得到了广泛的应用. 已成为空间光调制(SLMS)技术中相当活跃的一个分支.

本文报道了近几年来采用国产材料及设计的专用工艺研制全近贴聚焦式微通道板空间光调制器的结果. 并对存在的问题作了讨论.

2 器件原理

图 1 是光寻址微通道板空间光调制器的基本工作原理示意图. 器件由封在真空管内的光电阴极、微通道板、网电极及带有介质膜、透明导电膜的电光晶片等功能部件所组成. 工作分为写入和读出两个过程. 输入的(相干或非相干)光学图像

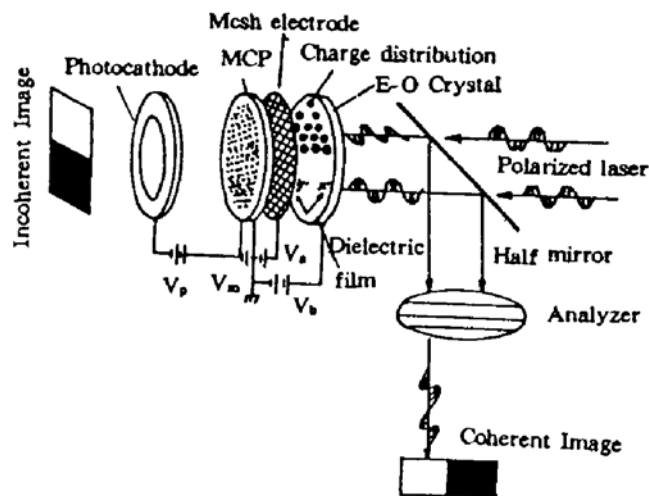


Fig. 1 Operating principle of the MSIM

投射到光电阴极上产生光电子图像. 经加速后通过微通道板得以束流放大. 网电极上的电压 V_0 控制微通道板输出图像电子的上靶能量. 利用电光晶体输入面(面向微通道板)上介质膜具有的次级电子发射特性, 通过调整 V_0 、 V_1 可以使前述电子图像以正电荷或负电荷形式积累在介质层中. 这样输入的图像以电荷密度空间分布被记录(写入). 这一电荷层将在电光晶体中引起对应的静电场分布. 具有普克耳斯效应的电光晶体在该电场中其光学性能特别是折射率将发生变化. 变化大小则与输入光强成比例. 让一宽光束通过该晶体并利用必要的光学系统则可对其强度进行二维调制(即为读出过程). 图 1 所示的读出过程利用了晶体的电致双折射效应并以正交偏振系统实现折射率变化到光强分布的转化. 其次还利用介质膜的全反射使光束两次通过晶片形成反射读出模式.

3 器件设计

图 2 为设计的全近贴式微通道板空间光调制器结构图^[8]. 器件设计要点包括

3.1 材料选取

微通道板空间光调制器中的光电阴极确定了器件的输入响应谱及输入动态范围. 典型的输入窗/光电阴极组合覆盖 110~1200 nm 波长范围^[9]. 而微通道板本身直接对紫外和软 X 射线光子有响应, 在该波段可以免去光电阴极. 常用的是适用于钨灯、发光二极管(655 nm)或 He-Ne 激光写入的可见光响应的高效率 S-20 光电阴极; 微通道板是一种电子图像倍增元件, 可使器件工作于量子噪声限制区且在很大程度上影响器件的输入灵敏度及工作速度. 对微通道板空间光调制器来说为提高工作速度希望微通道板有尽可能高的输出电流^[8]. 该器件中应用普通微通道板, 其传递电流一般处于 4~15 μA ; 附着于电光晶片输入面上的复合介质膜主要用作读出光束的全反射, 其次应具有大的次级电子发射系数. 该器件中选择 $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ 膜系并设计对 633 nm 有最大的反射. 另外在其上附加一层 MgF_2 以提高膜系的次级电子发射系数. 电光晶片输出面要求有均匀透光的导电层(与 V_0 连接), 选取 ITO($\text{Sn}:\text{In}_2\text{O}_3$) 可满足这一要求; 电光晶体是以一片状形式应用于器件中, 它是微通道板空间光调制器的核心. 选择斜切[(Z) 55°]高纯 LiNbO_3 晶体作这一调制介质^[10,11,12]; 器件采用陶瓷/金属封接管壳可较好满足平行度要求; 网电极则选用 30 lines/mm 的镍金属网.

3.2 结构参数

近贴式像管具有结构紧凑、均匀性好、成像面积大、适于平面像输入/输出等优点. 目前转移密封技术业已成熟. 微通道板空间光调制器中的结构参数包括阴极到微通道板的距离 l_1 、微通道板到网电极距离 l_2 、网电极到晶片距离 l_3 、晶片厚度 l_4 、以及径向尺寸(成像面积). 其中前三个距离主要影响电子图像的传递质量, 而 l_4 则影响电光调制转换过程的性能指标. 已有分析表明微通道板空间光调制器的分辨率主要受晶片厚度制约^[8]. 考虑工艺水平选取 $l_4 = 300 \mu\text{m}$. 其余 l_1 、 l_2 、 l_3 均取 0.5 mm. 微通道板空间光调制器是一面成像器件, 选用 $\phi 25 \text{ mm}$ 微通道板标准产品. 其余尺寸则与之配合. 这样输入/输出通光孔径、网电极、晶片均为 $\phi 18 \text{ mm}$.

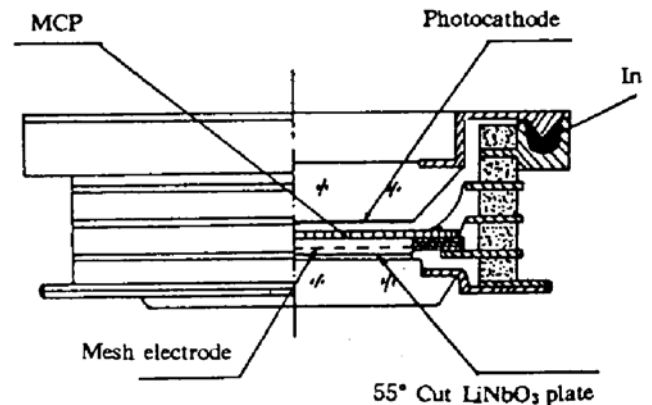


Fig. 2 The proximity-focused microchannel spatial light modulator

4 器件制作

微通道板空间光调制器制作依赖于常规的光电成像器件工艺. 其特殊过程有:

4.1 超薄 LiNbO_3 晶片的加工

微通道板空间光调制器利用晶体的体效应, 按要求应加工成一圆形理想的平行平板. 其几何尺寸为: $0.3 \text{ mm} \times \phi 18 \text{ mm}$. 光学质量为: $N \leq 1$, $\Delta N \leq 0.1$, $\theta \leq 2.5''$, $P = 1 \text{ V}$. 考虑其超薄的几何形状, 研制中采用不同种类不同粒度的混合抛光料(典型的如 $\text{Cr}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 1 : 1$) 在兼顾面形及光洁度要求前提下达到上述工艺指标.

4.2 LiNbO_3 晶片/输出窗的真空扩散法焊接^[13]

LiNbO_3 晶片不能作为器件的输出窗. 必须附着于一支撑衬底上. 该器件结构上选用 K_1 玻璃与 4J29 可伐环电极封接后形成输出窗, 而将晶片贴合其上. 两者之间除要求机械上的牢靠连接外还要求 LiNbO_3 晶片上镀有的 ITO 层与金属电极环相连. 制管工艺中的热处理工序及器件真空工作环境给焊接工艺提出了一些限制^[13]. 该器件研制时独创性地应用 $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{ITO} \cdot \text{Al}$ 膜环/铝箔环/Al 膜环. 窗玻璃结构的真空扩散焊工艺完成这一加工. 典型的处理条件为: $450^\circ\text{C}/30 \text{ min}$, 真空度为 $1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$. 焊缝与电极环则靠银膜连接.

制成的器件裸管外形为 $14 \text{ mm} \times \phi 42 \text{ mm}$, 有效输入/输出成像面积为 $\phi 15 \text{ mm}$.

5 性能实验与讨论

图 3 为测试装置示意图. 测试样管是一只无阴极的开放式微通道板空间光调制器. 将该管与一真空系统连接形成工作需要的真空环境. 利用微通道板对紫外光响应的特性, 采用汞灯发出的 254 nm 光刺激微通道板. 输入图形掩膜放置于微通道板的输入面电极环上. 读出光为 He-Ne 激光, 经扩束/准直以及偏振读出系统在屏上观察调制结果. 起、检偏器均可绕轴线转动形成所需要的放置方位.

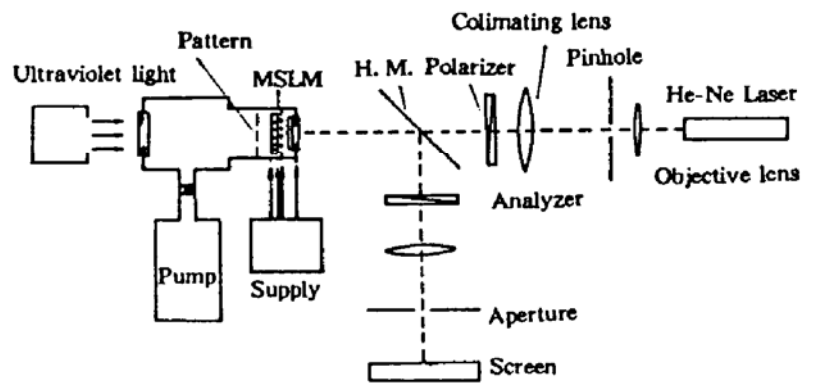


Fig. 3 Experimental arrangement

图 4 为二维光强度调制输出结果. 其中图 4(a) 为带有输入图形掩膜的微通道板空间光调制器样管, 图 4(b), 图 4(c) 分别为正交和平行偏振读出时在屏上观察到的结果. 证明了该器件空间调制光强的功能.

对于两种不同的读出方式输出光场有几个特点: 1) 光场具有不同的背景亮度. 这是由于两种方式遵循不同的输出光强~相位延迟变化规律, 如图 5 所示. 对于自然双折射率引入的相同相位延迟 Γ_0 则有不同输出光强; 2) 当电荷图像形成后则会引起相位延迟变化. 对 Γ 增大的情况, 如图 5 中的箭头所示, 两种输出光强的变化出现了相反趋向, 如图 4(b), 图 4(c) 所示. 如果外加一平面补偿器使初始相位延迟点 Γ_0 处于一些特殊点即可进行许多有用的运算操作.

对于两种不同的读出方式输出光场有几个特点: 1) 光场具有不同的背景亮度. 这是由于两种方式遵循不同的输出光强~相位延迟变化规律, 如图 5 所示. 对于自然双折射率引入的相同相位延迟 Γ_0 则有不同输出光强; 2) 当电荷图像形成后则会引起相位延迟变化. 对 Γ 增大的情况, 如图 5 中的箭头所示, 两种输出光强的变化出现了相反趋向, 如图 4(b), 图 4(c) 所示. 如果外加一平面补偿器使初始相位延迟点 Γ_0 处于一些特殊点即可进行许多有用的运算操作.

这里可以看到该器件均匀性特性较差. 考虑输出背景, 任一点处的 $\Gamma_0(x, y)$ 是自然双折射

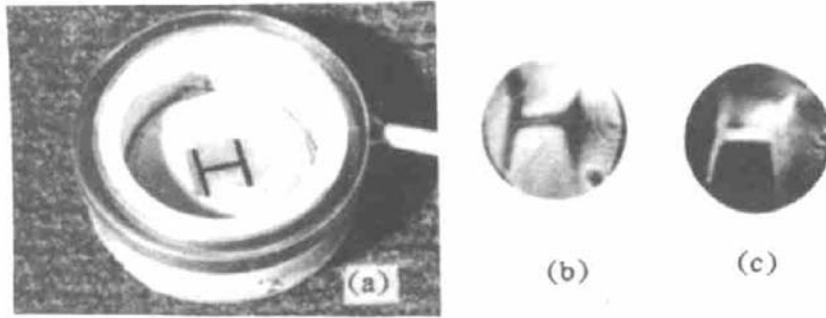


Fig. 4 Two-dimensional light-intensity spatial modulation. (a) prototype MSIM with pattern mask (b) readout with crossed polarizers, and (c) readout with parallel polarizers

率差 $\Delta n_0(x, y)$ 及晶片厚度 $l(x, y)$ 的乘积. Δn_0 及 l 的不一致都会引起背景光强的不均匀. 当有电荷图像写入时电致双折射率差 $\Delta n_e(x, y)$ 为 $S_0\sigma(x, y)$, 其中 S_0 为定义的电荷灵敏度, 其数值大小与各点处电光系数有关. 这时总的相位延迟正比于 $(\Delta n_0 + \Delta n_e)$. 电光系数的不均匀则会引起图像强度的不均匀. 在有影响的三个因素中 Δn_0 , S_0 是与材料本身的光、电参数有关的, 而 l 则受加工精度的限制. 对于所使用的几种国产晶体不同程度地都表现出参数的径向不一致. 晶片的加工困难主要是由于超薄要求引起的. 从器件制作角度来看应加强选材及解决高精度抛光工艺.

微通道板空间光调制器本身有 4 种写入/擦除模式^[14]. 其核心是电子图像以极性(正、负)不同的电荷形式存储在写入面复合介质层中. 实验中测得复合膜系有 5.8 的峰值次级电子发射率, 高于单纯 $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]$ 介质反射镜的数值. 图 3 所示的系统只能进行正电荷图像及负电荷图像两种写入/擦除模式实验. 在 $V_w = 2 \text{ kV}$, V_r 分别在 $0 \sim 2 \text{ kV}$, $2 \text{ kV} \sim 4 \text{ kV}$ 偏压条件下方便地实现了图像极性的变化及相应的擦除操作. 从写入/擦除的时间测量中得出在上述条件下次级电子发射过程的平均发射系数 $\bar{\delta} = 1.8$.

调制组件电光效应测量表明 55° 斜切 LiNbO_3 的反射半波电压 $V_{\pi RL} = 1.2 \text{ kV} \pm 0.1 \text{ kV}$, 与理论计算一致.

在上述实验系统测得样管的响应时间分别为 500 ms (正电荷写入)和 620 ms (负电荷写入). 对已存入电荷图像的样管, 在高真空条件下保持 24 hr 后进行读出仍清晰地观察到调制输出图像. 证明该器件有长于 1 天的存储能力.

6 结 论

利用国产材料及设计的专用工艺程序制作了一种近贴式微通道板空间光调制器, 成功地进行了二维光强度空间调制实验. 证明了所设计的器件结构及工艺过程的可行性. 实验结果说明该器件具有独特的本征信息处理能力及高灵敏度、高速、长存储时间等特点. 改进器件性能的工作仍在进行中.

器件研制过程中得到李同民、莫美霞研究员及试制工厂的大力支持. 在此谨表谢意

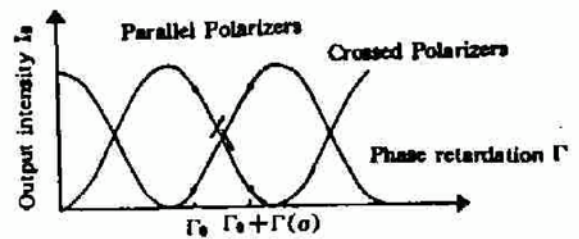


Fig. 5 Polarization readout characteristics as a function of phase retardation

参 考 文 献

- [1] A. D. Fisher, J. N. Lee, The current status of two-dimensional spatial light modulator. *Proc. SPIE*, 1986, **634** : 352~371
- [2] C. Warde, A. D. Fisher, D. M. Cocco *et al.*, Microchannel spatial light modulator. *Opt. Lett.*, 1978, **3**(5) : 196~198
- [3] C. Warde, J. Thackara, Operating modes of the microchannel spatial light modulator. *Opt. Eng.*, 1983, **22**(6) : 695~703
- [4] J. A. McEwan, A. D. Fisher, J. N. Lee, Four special functions of a microchannel spatial light modulator. *Digest of the conference on Lasers and Electro-Optics(CLEO)*, Washington, DC., OSA, 1985, PD-1
- [5] A. Schwatz, X-Y. Wang, C. Warde, Electron-beam-addressed microchannel spatial light modulator. *Opt. Engng.*, 1985, **24**(1) : 119~123
- [6] R. F. Dillon, C. Warde, X-ray imaging characteristics of the vacuum-demontable microchannel spatial light modulator. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(2) : 269~273
- [7] A. D. Fisher, L-C. Ling, J. N. Lee *et al.*, Photoemitter-membrane light modulator. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(2) : 261~268
- [8] 梁振宪, 微通道板空间光调制器的研究, 博士论文, 西安:中国科学院西安光学精密机械研究所, 1992
- [9] A. H. Sommer 著, 侯 洵译, 光电发射材料:制备、特性与性用, 北京:科学出版社, 1979
- [10] 梁振宪, 侯 洵, 微通道板空间光调制器中电光调制的传递特性. *高速摄影与光子学*, 1990, **19**(4) : 365~376
- [11] Z-X. Liang, X. Hou, Influence of LiNbO₃ crystal orientation on the characteristics of the microchannel spatial light modulator. *Appl. Opt.*, (accepted)
- [12] 梁振宪, 侯 洵, 电光晶体在微通道板空间光调制器中的应用. *光子学报*, 1992, **21**(1) : 85~89
- [13] 梁振宪, 侯 洵, 超薄 LiNbO₃ 晶片与光学玻璃的真空扩散焊接. *光子学报*, 1994, **23**(1)
- [14] T. Hara, M. Sugiyama, Y. Suzuki, A spatial light modulator. *Proc. 8th Symposium on Photoelectronic Imaging Devices*, Imperial college, London, UK., 1983

A proximity-focused microchannel spatial light modulator

Liang Zhenxian Hou Xun

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068)

(Received 14 September 1992; revised 18 January 1993)

Abstract

A proximity-focused microchannel spatial light modulator that consists of a photocathode, a microchannel plate, a mesh electrode, and an oblique-out LiNbO₃ plate [(ZXI) 55°] is investigated. This paper describes the design consideration and the fabrication techniques. A prototype device optically addressed with ultraviolet light from a mercury lamp has been built and the two-dimensional He-Ne laser light-intensity modulation experiments were performed.

Key words MSLM, photo-electronic imaging device, electro-optic crystal, optical information processing.