

# 电子束寻址微通道空间光调制器的实验研究

贾欣志 李集田 张秀萍 牛惠辉 赵林娣 檀慧明

**摘要** 近年来,光学信息处理和光计算技术的发展促进了二维空间光调制器的发展。目前已有多种采用不同结构和工作原理的二维空间光调制器。本文报告一种真空可拆卸的电子束寻址微通道空间光调制器的某些初步的实验结果,并对目前所存在的问题及进一步改进方法进行讨论。

## 一、前 言

近年来实时光学信息处理和光计算技术的发展很快,作为其关键器件的二维空间光调制器技术也在迅速发展。空间光调制器的主要功能是将非相干光图像转换为相干光图像,以便进一步实现并行的光学图像处理。目前已有多种采用不同结构和原理的空间光调制器,其中发展较快的有液晶空间光调制器,磁光空间光调制器,变形镜式空间光调制器及微通道空间光调制器等。各种类型空间光调制器的性能特点也有所不同,目前看,液晶空间光调制器的发展很快,而且不论性能方面(如分辨率),还是工艺方面都比其它类型显出较明显的优越性。微通道空间光调制器出现的历史较早,虽然其分辨率明显不如液晶空间光调制器,而且工艺难度较大,但由于这种空间光调制器可以通过器件内部的电子光学方面的功能,实现某些特殊的图像处理操作,因此,微通道空间光调制器目前仍不失为一种有价值的空间光调制方案。微通道空间光调制器有两种寻址方法,一种是光寻址型<sup>[1,2,3,4]</sup>,一种为电子束寻址型<sup>[5]</sup>。本文所研究的是一种真空可拆卸式的电子束寻址型的空间光调制器。这种器件不仅能将非相干光图像转换为相干光图像,而且本身就具有若干图像处理功能,如图像相加,图像相减,对比度改善,边缘增强等,此外,还可用这种器件进行各种二进制逻辑运算,如:“与”,“或”,“与非”,“或非”,“异或”等。这种器件可用于雷达、声纳、微波全息及光计算机等方面。

## 二、装置结构与工作过程

本文所涉及的实验装置由无油超高真空系统,可拆卸的电子束寻址微通道空间光调制器实验样管,非相干光学图像写入系统,相干光学图像读出系统,各种高低压电源及电子学控制系统所组成。其中,实验样管的结构如图1所示。它由标准一寸电子枪,电磁聚焦与偏转线圈,微通道板(MCP),微细栅网(33线/mm),铌酸锂电光晶体等组成。电子枪与电磁聚焦线圈相结合用于提供聚焦的电子束。偏转线圈在电子线路的作用下形成标准一寸的扫描光

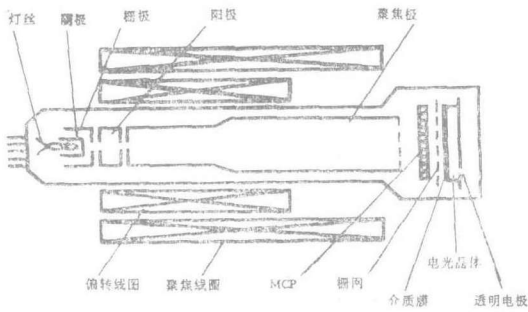


图1 实验样管结构原理图

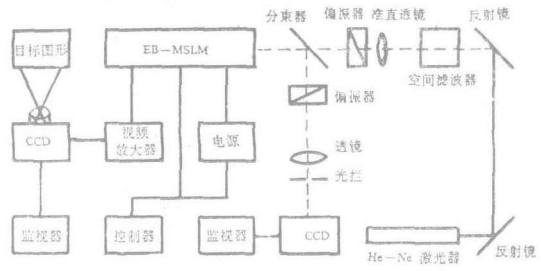


图2 实验系统方框图

栅。MCP用来对扫描电子束电流进行倍增，从而使系统具有高的灵敏度。MCP的电子增益可由外加偏压来控制。工作时MCP的输入电极与电子枪场网相联。严格地说，为消除MCP输入面二次电子发射对图像分辨率的影响，应使MCP输入面电位略低于电子枪场网电位。MCP输出面加有约1kV的正偏压，微细栅网加有约3kV电压。栅网的作用是可以电压变换实现某些特殊的逻辑操作。当管内无此栅网时也可以实现系统的某些功能。电光晶体采用铌酸锂材料，此种材料有较高的电光调制效应，同时不易潮解。本实验中所采用的铌酸锂晶片的厚度为370 $\mu\text{m}$ ，晶片的切割方向为晶片法线处于 $(-y, z)$ 平面内，同时法线应与 $z$ 轴成 $55^\circ$ 角。这种切割的优点是晶体具有最小的纵向半波电压。抛光好的晶片一个表面涂透明导电膜，另一个表面蒸涂由 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{ZrO}_2$ 交替蒸发而成的多层介质反射膜，该膜层的作用有三方面，一是作为读出激光束的反射镜，要求对632.8nm波长的He—Ne激光具有尽可能高的反射率，二是作为电子图像的转换介质，即将扫描电子束所携带的图像信息，通过膜层的二次电子发射作用，留到介质膜上，一般希望该介质膜表面有尽可能高的二次电子发射系数，因为这样可以获得较快的写入或擦除时间。三是作为电荷存贮介质，即使得留于其上的图像电荷有足够长的存贮时间，而不扩散。目前，铌酸锂电光晶片的有效工作直径为15mm。在实验样管中，MCP输出表面到栅网，及栅网到铌酸锂电光晶片输入面之间的距离均为0.5mm。

整个系统由图2中的方框图所示。工作过程中，电子束寻址微通道空间光调制器实验样管处于超高真空状态。非相干光学写入系统由目标图形，CCD摄像机、图像监视器，视频放大器等部份组成。被放大的视频信号通过负载电阻加到电子束寻址微通道空间光调制器电子枪阴极上，用以调制扫描电子束。电子枪的电子发射，聚焦，偏转，以及MCP，栅网和电光晶体等所需的各种不同电压由一组综合电源供给，其中有些应受到电子学控制系统的控制。例如，电子束何时到达电光晶体的输入面是通过控制电子枪的栅极和MCP的偏压来实现的。当携带图像信息的电子束落到电光晶体表时，就把图像电荷留到了电光晶片表面的介质膜中，晶片的另一个表面加有直流偏压，这样，在晶片上便加上了空间调制的纵向电场，从而使晶片的折射率受到空间调制。系统的相干光学读出系统由外腔式He—Ne激光器，空间滤波器，光束准直器，晶体起偏器，光束分离器，晶体检偏器，光学透镜及光栏，CCD摄像机，监视器等部份组成。当平行的偏振激光束从电光晶片透明电极一侧进入晶片后被介质镜反射回来，再次通过晶片。由于激光束通过电光晶体时产生双折射效应，在两倍晶片厚度的路程上 $O$ 光和 $E$ 光的相位差受到了空间调制。当激光束由晶片出射后再次通过晶体检偏器时，这种相位的空间调制就被转换为振幅的空间调制。因此，通过第二个CCD摄像机和监视器可以观察到相干光图像。

### 三、电子图像的写入与擦除

铌酸锂电光晶体介质膜表面的电荷可以通过该膜层表面的二次电子发射特性来控制。在图3中， $E$ 为入射到电光晶体表面的电子能量， $\delta$ 为二次电子发射系数，它是所收集的二次电子与入射的初电子数之比。 $E_1$ 、 $E_2$ 分别为对应于二次发射系数 $\delta$ 为1的两个初电子能量，这两个点有时称为第一与第二交叉电位。当初电子能量 $E < E_1$ 时或 $E > E_2$ 时， $\delta < 1$ ，晶体表面带负电荷。相反，当 $E_2 > E > E_1$ 时， $\delta > 1$ ，晶体表面带正电荷。

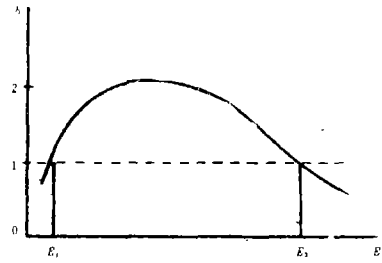


图3 介质表面的二次电子发射特性

假设MCP和电光晶片间的栅网电压为 $V_m$ ，晶片透明电极电位为 $V_b$ ，晶片介质反射膜表面电位为 $V_s$ 。实验中 $V_m = 2\text{kV}$ （相对于MCP输出表面而言），此 $V_m$ 值所对应的电子能量 $E_m$ 接近 $E_2$ 之值，但可能大于或小于 $E_2$ ，这无关紧要。工作开始前，无电荷上靶，此时 $V_s = V_b$ ，如此时外加的 $V_b = V_m + V_{\lambda/2}$ （ $V_{\lambda/2}$ 为铌酸锂电光晶体片的纵向半波电压，约 $1.2\text{kV}$ ），则当电子束打开时，电子会以与此 $V_b$ 值相应的能量 $E_b$ 入射到晶体表面， $E_b$ 远大于 $E_2$ ，所以 $\delta < 1$ ，结果 $V_s$ 逐渐降低，直至 $V_s \approx V_m$ 为止，这时整个晶片表面带有均匀的负电荷。同时晶片两个表面间的电位差为 $V_{\lambda/2}$ 。由于此时整个表面具有均匀电位，无电荷图像存贮，因而可以说处于被擦除状态。如果此时进一步将 $V_b$ 切换到 $V_b = V_m$ ，则 $V_s = V_m - V_{\lambda/2}$ ，因为此时 $V_s$ 所对应的电子能量 $E_s$ 处于 $E_1$ 与 $E_2$ 之间， $\delta > 1$ ，所以当为图像调制的电子束扫描靶面时， $V_s$ 逐渐上升至 $V_s \approx V_m$ 为止。这样，电荷图像就被写入到电光晶体表面。如此形成的是一种倒的负电荷图像。如果在起始扫描时所采用的电子束是受到图像调制的，并使介质膜表面电位 $V_s$ 的下降得到控制，则可得到负电荷图像的写入。同样道理，根据 $V_b$ 初始值设置的不同，还可以得到正电荷图像和倒的正电荷图像的写入与擦除，此处不再赘述。

### 四、实验结果及讨论

利用可拆卸的电子束寻址微通道空间光调制器系统已经完成了非相干光图像到相干光图像转换的基本空间光调制功能。结果如图4所示。图4中，(a)、(b)、(c)、(d)分别为两个不同的原始非相干光电视屏幕图像的照片及其相应的相干光电视屏幕图像的照片。此外，也进行了某些图像处理方面的实验，如图像相加，图像相减等，并得到了相应的结果。上述这些实验结果是很初步的。整个系统及某些关键部件仍在改进之中。

目前系统成像质量不高，从图像中可以看出转换后的图像比较粗糙，造成这种情况的因素较多。实验过程中曾将荧光屏放在铌酸锂晶片的位置取而代之，使整个电子束扫描系统工作，此时所得的荧光屏上的图像是正常的，并无粗糙现象，同时，对投射的相干光束所进行的单独检测也并未出现明显的不均匀现象，这些实验事实说明图像粗糙主要是铌酸锂电光晶体引起的。铌酸锂晶片两表面的平行度及表面光洁度等都是至关重要的，目前的晶体加工工艺仍需进一步改进才能获得较好的结果。影响图像分辨率的因素也很多，如原始图像的对比度、视频放大系统带宽，电子枪的工作状态，电光晶片的绝对厚度，MCP，栅网及电光晶片

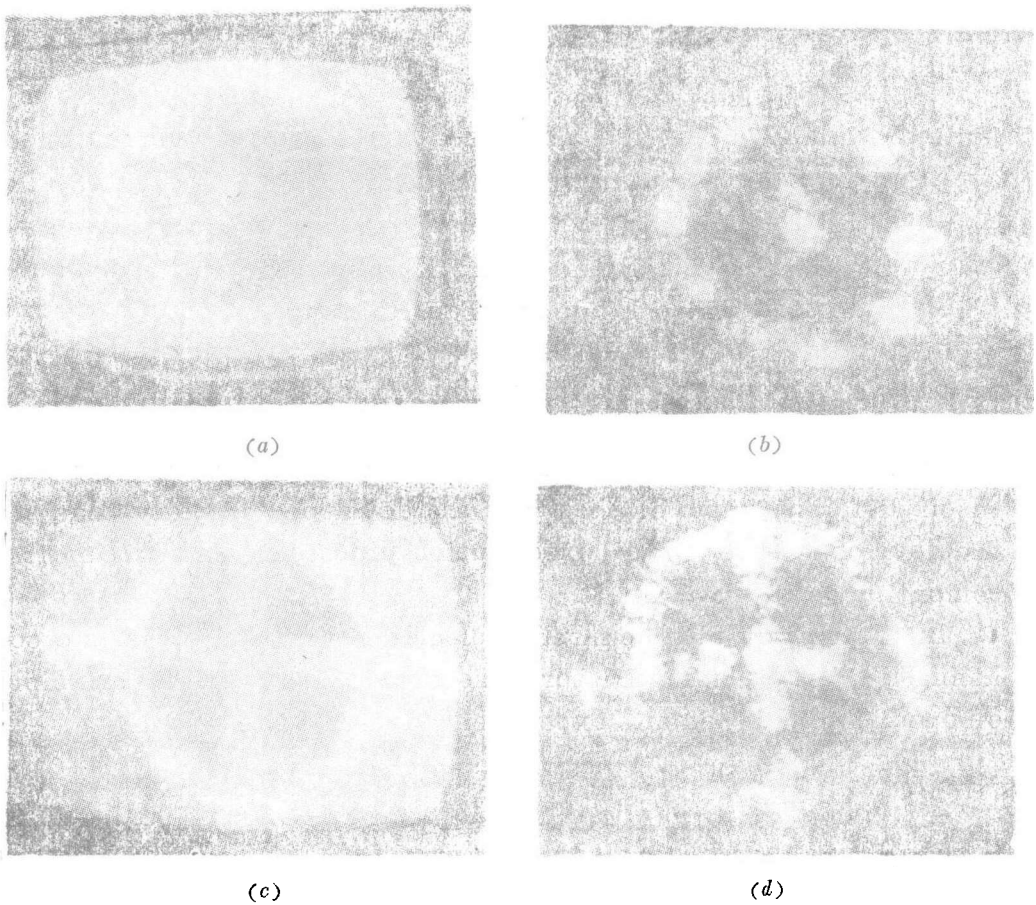


图4 非相干光到相干光转换的初步结果

(a)、(c) 原始非相干图像；(b)、(d) 转换后的相干图像

之间的距离，以及相干光学系统的调整等。现在图像分辨率较低主要还是与图像粗糙有关，待此问题进一步得到解决后，上述其它因素的改进都会对分辨率的提高有所贡献。

该项工作得到国家自然科学基金会和国家应用光学开放实验室的资助。

对尤振明、吴昌和，刘绍武，李桂才等同志对此项工作的帮助表示感谢！

#### 参 考 文 献

- [1] C.Warde, A.M.Weiss, A.D.Fisher and J.I.Thackara; Appl.Opt., 20, 2066(1981)
- [2] C.Warde and J.I.Thackara; Opt.Lett., 7, 244(1982)
- [3] C.Warde and J.I.Thackara; Opt.Eng., 22, 695(1983)
- [4] T.Hara, M.Sugiyama and Y.Suzuki; Adv.E.E.P.64B, 637(1985)
- [5] A.Schwartz, X.Y.Wang and C.Warde; Opt.Eng., 24, 1(1985)

## Experimental Study on the Electron-Beam-Addressed Microchannel Spatial Light Modulator

Jia Xinzhi, Li Jitian, Zhang Xiuping, Niu Huihui,  
Zhao Lindi and Tan Huiming

### Abstract

In recent years, two dimensional spatial light modulators based on different kinds of theories are developed rapidly due to the development of optical information processing and the optical computing.

In this paper, a demountable electron-beam-addressed microchannel spatial light modulator is reported. The design, principle of operation and primary experimental results are given.