

液晶空间光调制器的研究

吕国皎, 吴 非, 杨 艳

(成都电子机械高等专科学校, 四川成都 610031)

摘 要: 空间光调制器的品种繁多, 涉及到的学科范围、理论基础以及工艺技术都十分广泛。文中把空间光调制器归纳为 4 种类型, 对每种类型的基本原理、工作方式和优缺点均进行了讨论, 并列举了几种典型常见的空间光调制器, 分析了它们的结构、工作原理和方式。

关键词: 空间光调制器; 液晶光阀; 电寻址; 光寻址

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** B

Liquid Crystal Spatial Light Modulator Research

LV Guo-jiao, WU Fei, YANG Yan

(Chengdu Electromechanical College, Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: Spatial Light Modulators are varied in many kinds. The subjects, theories and technologies it relates to differs widely. In this essay, SLM is summarized to four kinds, each of which is introduced about its basic principle, working mode, advantages and disadvantages.

Keywords: SLM; LCLV; electronic- addressing; light- addressing

引 言

光电信息处理在现代信息处理技术中具有其独特的地位和价值。液晶空间光调制器是构成实时光学信息处理、光计算和光学神经网络等系统的基本构造单元, 在信息光学研究中发挥重要作用并有着广泛的应用。

1 空间光调制器概述

空间光调制器是利用电或光信号在时间空间上控制另外光源的振幅、相位或行进方向等传播状态的装置。一般地说, 空间光调制器含有许多独立的单元, 它们在空间上排列成一维或者二维的阵列, 每个单元都可以独立接受电学信号或光学信号的控制,

并按此信号改变自身的光学性质, 从而对照射在其上的光波进行调制。空间光调制器因其所具有的并行实时处理特性而被广泛应用于光计算、光学信息处理以及光学神经网络中。空间光调制器的研究和性能对这些应用领域研究的进展具有重要影响。对空间光调制器的要求包括: 高的空间分辨率、高的响应速度、高的对比度、低的开关功耗和丰富的灰度等级。

按编址方式, 空间光调制器分为光寻址和电寻址两种。按光的入射出射方式, 又可分为反射式和透射式两种。在基于各种不同原理的空间光调制技术中, 液晶以其成本低廉、驱动电压低、调制幅度大等诸多优点而倍受青睐。目前, 在以液晶显示技术为代表的一些应用领域中, 液晶空间光调制技术已经得到广泛应用。

2 近年国内外研究趋势

1998年, B·Loiseaux 等人采用光寻址液晶光阀对波长 1.064 μm 、脉宽 10ns、重复频率 30Hz 的激光束进行振幅与相位的控制。光束整形的面积为 1 cm^2 , 液晶分子平行排列, 双折射模式, 光阀的响应时间约为 20ms, 对偏振光的峰值透过率大于 70%, 若用于非偏振光的整形, 透过率减为 35%。

2003年, J·Bourderionnet 等人报道了关于内腔液晶光阀进行激光空间模式控制的实验。被整形的 Nd:YAG 激光采用 808nm 的半导体激光端面泵浦, 得到了 1.064 μm 、800W 光功率、100 μs 脉宽的激光脉冲输出。将液晶光阀放入腔内, 有效地利用了激光器振荡时增益与损耗的平衡, 提高了泵浦能量利用率, 也提高了整形后的激光能量输出。其缺点是光路复杂, 腔内功率密度高, 容易对光阀产生损害。

2005年, N·Sanner 等人使用光寻址液晶光阀进行了飞秒脉冲的光束截面整形。被整形的激光为 Ti:Sapphire 激光, 中心波长 800nm、脉宽 120~130fs、重复频率 76Hz (振荡器) 与 50~250Hz (放大器)、单脉冲能量为 5nJ (振荡器) 与 4 μJ (放大器)。光寻址液晶光阀 14 μm 厚的液晶层及单晶光电导体 BSO (硅酸铋晶体片) 装入到两面透明的电极中, 在其 1cm $\times$ 1cm 的净面积上, 可形成 100 $\times$ 100 个寻址点, 分辨率为 100 μm 。由于没有电寻址方式的“像素”造成的低开孔率问题, 光寻址液晶光阀的传输因子达到 80%。飞秒激光脉冲用望远镜扩束, 并用半波片调节其在液晶光阀上的偏振方向, 蓝光 (450nm) 的相位分布图经 256 $\times$ 256 的视频投影屏投射到液晶光阀上, 经过液晶光阀衍射后的光束被取样, 取样部分由相位传感器测量其相位, 再经过适当的光学反馈以实时校正衍射相位图, 从而取得更好的效果。

在国内, 2005年丁磊等人研究了反射式液晶光阀用于激光束整形的可行性, 他们认为, 与透射式 TFT-LCD 液晶光阀相比, 以 LCOS 为代表的反射式液晶光阀有着明显的优势, 效率达到 42%, 远远优于透射式液晶光阀 10% 的效率, 从而能够实现系统的大幅简化, 是一种非常有潜力的空间光调制器件。但是, 论文似乎回避了黑栅效应, 缺少这方面的数据。

2006年, 刘伯晗等人以美国 BNS 公司生产的 LCSLM 作为核心部件, 研究了纯相位空间光调制器动

态控制激光光束偏转的问题。从理论上讲, 以纯相位方式操作 LCSLM, 通过类似于二元光学的原理是能够完成激光束的切趾平顶操作的, 可惜文中没有提及。

3 空间光调制器的分类及其原理

空间光调制器一般按照读出光的读出方式, 可以分为反射型和透射型; 而按照输入控制信号的方式, 又可分为光寻址和电寻址, 其示意图如图 1 所示。

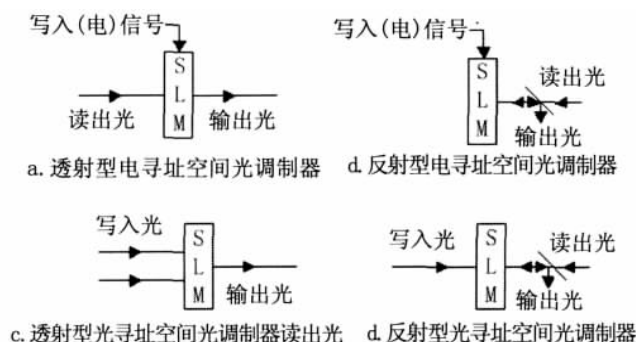


图1 空间光调制器的分类

这里需要指出的是：(1)光寻址时, 实际上是利用适当的光学系统把一个二维光强分布成像在空间光调制器的像素平面上, 便可以使写入信号的像素与调制器的像素在空间上一一对应, 以实现寻址。因为在时间上所有像素的寻址是同时完成的, 所以光寻址是一种并行寻址方式。其特点是寻址速度最快, 而且像素的大小原则上只受寻址光学成像系统分辨率的限制。但要防止写入光和读出光之间的串扰 (crosstalk), 通常空间光调制器做成反射式的, 在其中有一个隔离层, 使两束光互不干扰; 也可以使用不同波长的光, 利用滤光片消除它们之间的串扰。(2)电寻址时, 一对相邻的行电极和一对相邻的列电极之间的区域构成像素, 由于电信号是串行信号, 所以电寻址是串行寻址, 一旦在光信息处理链中有一个电寻址, 二维并行串行处理就被一维串行处理代替, 处理速度立即降下来。另外, 电寻址是通过条状电极来传递信息的, 电极尺寸的减小有一个限度, 所以像素尺寸也有限度, 即有一个分辨率极限。由于电极本身不透明, 所以像素的有效通光面积与像素总面积之比——开口率 (fill factor) 较低, 光能利用率不高。

3.1 硫化镉的空间光调制器

CdS 空间光调制器是发展较早的一种光学调制混合场效应器件, 它采用 CdS 作为光敏材料, 光

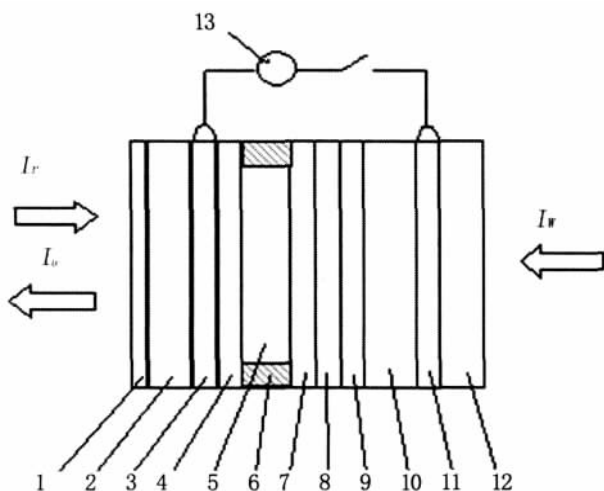


图2 硫化镉液晶光阀结构图

阀结构如图2所示。

- 1——增透膜；
- 2、12——平板玻璃；
- 3、11——ITO 透明电极，厚度为工作波长的 $1/2$ ；
- 4、7——液晶分子取向膜层，使与之接触的液晶分子沿面排列；
- 5——一种联苯脂的向列型液晶；
- 6——隔圈；
- 8——多层介质膜反射镜；
- 9——隔光层，材料为 CdTe；
- 10——光敏层，材料为 CdS；
- 13——5~10V 的交流电源。

这种光阀的主要功能是实现图像的非相干/相干转换。其工作过程是将待转换的非相干图像通过光学系统(作为写入光 I_w)从器件右侧成像到光敏层上,同时有一束线偏振相干光(作为读出光 I_r)从器件左侧射向液晶层,其偏振方向与液晶层左端的分子长轴方向一致,由于高反射膜的作用,这束光将两次通过液晶层,最后从左方射出,通过一个偏振轴方向与 I_r 偏振方向相垂直的检偏器,得到输出光 I_o 。

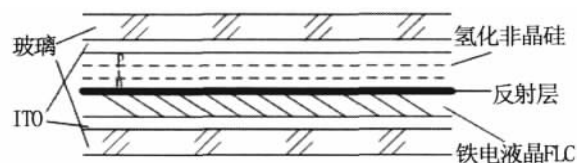
这种空间光调制器的分辨率约为 40~100lp/mm,响应时间在 30~40ms。

硅液晶光阀与硫化镉液晶光阀十分相似,也是一种光学编址的空间光调制器,而且同样是利用混合场效应以反射工作形式对读出光波进行调制。但是,硅液晶光阀的光敏层采用了半导体硅,而不是硫化镉,这一改变带来的好处是,除了硅有较好的光电灵敏度和时间响应特性之外,还可以利用成熟的 MOS 工艺,把光敏层做成 MOS 结构中的一个组成部分。硅

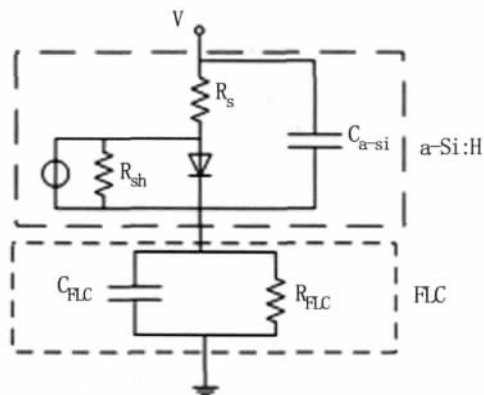
液晶光阀的空间分辨率、对比度等指标都与硫化镉的相近,但其灵敏度和响应时间却有较大的改善。

3.2 氢化非晶硅/铁电液晶(α -Si:H/FLC)器件

氢化非晶硅光敏层具有良好的空间分辨率、光灵敏度和光谱响应特性,而且响应时间能够与铁电液晶相匹配,使 α -Si:H/FLC 器件的整体性能显著提高,能够进行二维信息实时输入和处理,因而在光信息处理及光计算等研究中有很大的潜力。其结构如图3所示。

图3 α -Si:H/FLC 器件结构图

α -Si:H 是一种优良的光电材料,其吸收系统在太阳光能谱峰附近远高于单晶硅,光/暗电导比大于 10^4 。本征 α -Si:H 光生载流子扩散长度较短,横向扩散小,利于提高分辨率,但纵向扩散短则不利于这类基于少子运动的器件。因此设计了 α -Si:Hpin 二极管结构光敏层,使光生载流子的运动形式由扩散为主变为漂移为主,从而弥补其纵向扩散小的不足,大大提高空间光调制器的响应速度。铁电液晶 FLC 具有响应速度快、双稳态等特点。

图4 α -Si:H/FLC 等效电路图

在如图4的等效电路中, C_{FLC} 和 R_{FLC} 分别表示电容和电阻 R_s 为包括 α -Si 的本体电阻和对应导电膜之和 R_{sh} 表示光电二极管的反向漏电阻 $C_{\alpha-si}$ 是光电二极管的电容。在理想状态下,当电压 V 为正值(正偏)时,光电二极管导通,电压降主要分压在液晶层上,这种状态定义为 OFF 态,而反偏时,若无光照,光电二极管不导通,则液晶层上基本无电压降,故保持

OFF 态 若有光照,则在光电二极管作用下使反向电压降加在了液晶层上,从而使光照区域成为 ON 态。这样就可以通过写入光束和电压极性得到 OFF 和 ON 两种状态。在实际应用中,一方面应使 $R_S \ll R_{FLC}$,使正偏时液晶层上电压接近于 V_+ ,同时又保证反偏无光照时 FLC 上的电压降最小;另一方面应使 $R_{sh} \gg R_{FLC}$,这样反偏无光照时才能使 FLC 上的电压接近于零,否则在 FLC 上引起的负电压会使 FLC 在无光照时也处于 ON 态。另外,在对称方波电压下,若 $C_{\alpha-Si} > C_{FLC}$,则会使二极管阻抗下降,而液晶层上的分压增加,也会使无光照时液晶处于 ON 态。因此,在光电二极管的结构设计中,应保证 $R_S \ll R_{FLC}$, $R_{sh} \gg R_{FLC}$ 和 $C_{\alpha-Si} > C_{FLC}$,即应该使 $\alpha-Si:H$ 的电阻电容尽量小而反向漏电阻尽量大。总之应合理地匹配器件的整体结构、特性参数,并选择合理的非对称驱动电压及工作频率,使对比度和响应速度等综合性能达到最佳。

3.3 BSO 的空间光调制器

BSO 晶体具有显著的电光特性和光电导特性,这些特性的同时存在使 BSO 晶体成为研制实时空间光调制器(SLM)、非相干-相干变换器(ICC)、普克耳读出光调制器(PROM)的重要光学材料。BSO 晶体属立方晶系 23 点群,是 Bi_2O_3 与 SiO_2 的化合物,光学窗口宽,透过性能好,可拉制出大尺寸单晶,因此被认为是制作空间光学功能性器件的理想晶体,在光信息处理、光通信、光计算等方面有着重要应用。

BSO 晶体的禁带宽度 $E_g=3.25\text{eV}$,在波长 $\lambda < 380\text{nm}$ 的紫外光照射下,晶体具有显著的光电导效应。在无光照时,其电导率 σ_d 低达 $1.6 \times 10^{-15} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 。

基于光学晶体的线性电光效应,光寻址空间光调制器的光信息写入、读出过程均需要通过 BSO 晶体的线性电光效应,对光的偏振态进行调制。由于 BSO 晶体旋光效应的存在,使得透射光偏振态在电

光调制的基础上偏振方向又发生了一定角度的偏转,从而使得空间光调制器性能不稳定,输出光强发生相应的变化。

4 结 论

总结国内外在 SLM 上的研究成果,不难发现,反射式 SLM 由于引入了介质反射镜,与液晶中多层界面的多次反射所产生的法布里干涉,引入了随机分布的干涉条纹,而这种条纹是难以消除的。电寻址 SLM 由于一般采用 TFT 模式,使得开口率低,导致透过率偏低,分辨率也难以提高。所以,光寻址透射式的 LC SLIM 具有能量利用率高,结构简单等优点,将会是 SLM 的大势所趋。光寻址透射式光敏材料的选择,以及光敏层和液晶材料的适配,将是研究的重点。

参考文献

- [1]陈怀新,隋展等.采用液晶空间光调制器进行激光光束的空间整形,光学学报,2001.09,21(9).
- [2]赵尊达,张怀玉.空间光调制器.北京理工大学出版社,1992.02
- [3]葛爱明,隋展,苏俊宏.反射式液晶器件振幅调制特性的研究,中国激光,2005.03,32(3).
- [4]Brigitte Loiseaux, etc. "Optically addressed liquid crystal light valves for adaptive control of amplitude and phase of laser beam" Proc. SPIE 3297, 1998(37).
- [5]Jerome Bourderionnet, etc. "Intracavity liquid-crystal light valve for spatial mode control of a Nd:YAG laser" Proc. SPIE 4829, 2003(670).
- [6]丁磊,赵润昌等.反射式液晶光阀用于激光束空间整形可行性研究,强激光与粒子束 2005.06,17(6).

作者简介:吕国皎(1985-),男,籍贯四川,电子科技大学硕士,研究方向为电子科学与技术,E-mail: Lpzscv@163.com。

(上接第 42 页)

通过自动黑电平补偿,实现偏置微调,补偿因温度变化而产生的漂移、ADC 差异而导致的误差。

参考文献

- [1]余兆明.数字电视和高清晰度电视[M].北京:人民邮电出版社,1998:246-247.
- [2]吴佳新,余松煜.高端液晶电视驱动电路的设计与实现[J].

电视技术,2005(5):16-19.

- [3]齐文渊,李博.基于 FLI32626H 芯片的平板电视 ADC 快速校正方法[J].中国有线电视,2009(02):137-142.

作者简介:叶耀斌(1975-),男,广东威创视讯科技股份有限公司,研究方向为显示技术及应用,E-mail: yeyaobin@vtron.com。