



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104049424 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 17

(21) 申请号 201410300626. 4

(22) 申请日 2014. 06. 26

(71) 申请人 安徽大学

地址 230039 安徽省合肥市肥西路 3 号

(72) 发明人 沈川 刘凯峰 倪蕾 祖慈 韦穗

(74) 专利代理机构 合肥天明专利事务所 34115

代理人 奚华保

(51) Int. Cl.

G02F 1/1343 (2006. 01)

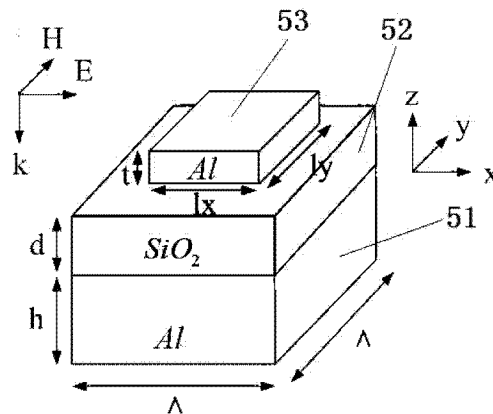
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构

(57) 摘要

本发明提供一种用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构,包括像素电极层,所述像素电极层由第一金属电极层、电介质层和第二金属电极层构成,所述电介质层覆盖第一金属电极层,所述第二金属电极层位于电介质层上,由多个金属纳米块依次间隔排列构成;所述多个金属纳米块,其在入射偏振光磁场方向上的尺寸相同,其在入射偏振光电场方向上的尺寸各异。本发明利用金属纳米结构,将 LCOS 器件的像素单元划分成多个子单元,通过改变各个子单元的相位调制,产生梯度相位分布,将入射光反射至全息视频显示所需的一级衍射,从而提高 LCOS 器件的衍射效率。



1. 用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构,包括像素电极层,其特征在于:所述像素电极层由第一金属电极层、电介质层和第二金属电极层构成,所述电介质层覆盖第一金属电极层,所述第二金属电极层位于电介质层上,由若干个金属纳米块依次间隔排列构成;所述金属纳米块,其在入射偏振光磁场方向上的尺寸相同,其在入射偏振光电场方向上的尺寸各异,并满足以下条件:

$$L_H < P_H/N_H,$$

$$L_{E_n} \leq P_E/N_E, \quad n = 1, 2, \dots, N_E,$$

其中, L_H 表示各个金属纳米块在入射偏振光磁场方向上的尺寸, P_H 表示第一金属电极层在入射偏振光磁场方向上的尺寸, N_H 表示在入射偏振光磁场方向上每一行金属纳米块的个数, L_{E_n} 表示在入射偏振光电场方向上每一行的第 n 个金属纳米块在该方向上的尺寸, P_E 表示第一金属电极层在入射偏振光电场方向上的尺寸, N_E 表示在入射偏振光电场方向上每一行金属纳米块的个数。

2. 根据权利要求 1 所述的用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构,其特征在于:所述第一金属电极层采用铝电极层,所述电介质层采用二氧化硅层,所述金属纳米块采用铝纳米块。

用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构

技术领域

[0001] 本发明涉及信息光学及微纳光学应用技术领域,具体是一种用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构。

背景技术

[0002] 三维 (3D) 感知在人类的信息获取中占有极其重要的地位。为了满足现代 TV、医学成像、地质勘探、娱乐、军事、科学等方面的需求,把显示技术从高清推向 3D 是必然的趋势。全息视频显示可以动态实时为观察者提供逼真的三维体验,可能是 3D 可视化工具的最终目标。空间光调制器是全息视频显示系统的核心器件,通过动态地加载全息图对入射光进行调制,实现波阵面重构。在论述基于离散像素结构 SLM 实现全息视频显示的技术要求时,大多采用傅里叶光学中的空间带宽积概念,依据这一概念,最终 3D 显示技术是否能在离散像素结构 SLM 的基础上建立仍然是一个挑战。

[0003] 液晶技术具有惊人的资源和多功能性。大多数液晶 SLM 采用电寻址方式,可以用于形成透射或反射装置。作为液晶 SLM 的一种,硅基液晶 LCOS 在基于强度调制的 2D 显示应用领域,与液晶显示器 LCD 相比没有突出的优势,但是在全息显示、自适应光学、光束偏转、激光材料加工等领域,LCOS 具有广泛的应用前景。LCOS 嫁接了 LC 与 CMOS 两种技术优势,具有物理尺寸小、分辨率高、填充率高等诸多优点,通过将全息衍射和液晶光电物理相结合,其有望成为实现全息视频显示的关键器件。但是,目前该技术只能提供概念性验证系统,市场上已有的 LCOS 的信息容量和视场角无法满足高质量 3D 重构的需要。

[0004] 基于衍射成像的全息视频显示期望得到较大的视场角,这就要求 LCOS 器件的像素单元尺寸足够小,比较理想的尺度为可见光的波长尺度 ($<1\ \mu\text{m}$)。而目前商业上销售的主流 LCOS 的像素尺寸达到 $6.4\ \mu\text{m}$ 。近期开发的 LCOS 的像素尺寸为 $3.74\ \mu\text{m}$ 。与此同时,面向全息视频显示的 LCOS 器件期望得到较高的衍射效率 (1 级)。在其它参数 (如照明光源波长、液晶材料等) 确定的情况下,目前的 LCOS 器件面临的问题是,随着像素单元尺寸的减小引发的 1 级衍射效率降低。这对于实现全息视频显示是不利的。

[0005] 近期,得益于表面等离子体特殊的电磁特性,金属纳米结构在实现微型化和高效率的光学元件方面具有显著的优势。利用表面等离子体的高度局域性和亚波长特性,基于金属纳米结构可以有效地实现对光场的操控和调节。为了满足全息视频显示的要求,LCOS 器件需要提供较大的衍射角以及较高的衍射效率 (1 级)。将金属纳米结构引入 LCOS 器件的制作中,从而改变相应的能量分布,对于设计制造面向全息视频显示的高衍射效率 LCOS 器件将发挥重要的促进作用。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构,其像素电极结构简单,一级衍射效率高。

[0007] 本发明的技术方案为:

[0008] 用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构,包括像素电极层,所述像素电极层由第一金属电极层、电介质层和第二金属电极层构成,所述电介质层覆盖第一金属电极层,所述第二金属电极层位于电介质层上,由若干个金属纳米块依次间隔排列构成;所述金属纳米块,其在入射偏振光磁场方向上的尺寸相同,其在入射偏振光电场方向上的尺寸各异,并满足以下条件:

$$[0009] \quad L_H < P_H/N_H,$$

$$[0010] \quad L_{E_n} \leq p_E/N_E, \quad n=1, 2, \dots, N_E,$$

[0011] 其中, L_H 表示各个金属纳米块在入射偏振光磁场方向上的尺寸, P_H 表示第一金属电极层在入射偏振光磁场方向上的尺寸, N_H 表示在入射偏振光磁场方向上每一行金属纳米块的个数, L_{E_n} 表示在入射偏振光电场方向上每一行的第 n 个金属纳米块在该方向上的尺寸, p_E 表示第一金属电极层在入射偏振光电场方向上的尺寸, N_E 表示在入射偏振光电场方向上每一行金属纳米块的个数。

[0012] 所述的用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构,所述第一金属电极层采用铝电极层,所述电介质层采用二氧化硅层,所述金属纳米块采用铝纳米块。

[0013] 本发明将金属纳米结构应用到 LCOS 的像素电极设计中,充分利用了现有的 LCOS 技术的工艺,易于器件生产;本发明利用金属纳米结构,将 LCOS 器件的像素单元划分成多个子单元,通过改变各个子单元的相位调制,产生梯度相位分布,将入射光反射至全息视频显示所需的一级衍射,从而提高 LCOS 器件的衍射效率。

附图说明

[0014] 图 1 是本发明的 LCOS 像素单元原理图;

[0015] 图 2 是光栅衍射示意图;

[0016] 图 3 是本发明的像素电极层结构示意图;

[0017] 图 4 是本发明的单一的金属-电介质-金属 (M-I-M) 结构示意图。

具体实施方式

[0018] 下面,结合附图和具体实施例进一步说明本发明。

[0019] LCOS 器件是一种反射型的空间光调制器,LCOS 结构包括 $M \times N$ 个像素单元(可以为 1024×768 、 1280×1024 或 1920×1080)。如图 1 所示,LCOS 像素单元(二维截面)从上之下依次为玻璃基板层 1、ITO 电极层 2、液晶层 3、取向层 4、像素电极层 5、硅基板层 6。像素电极层 5 包括 M-I-M 结构,从上至下依次为铝纳米块 53、二氧化硅层 52 和铝电极层 51。

[0020] 线性偏振的入射光(以 TM 偏振光为例)照射到 LCOS 器件,先后经过玻璃基板层 1、ITO 电极层 2、液晶层 3、取向层 4 到达像素电极层 5,经像素电极层 5 反射后,再依次经过取向层 4、液晶层 3、ITO 电极层 2、玻璃基板层 1 后从器件出射。LCOS 器件的照明光源要求为相干光或部分相干光(例如激光或窄带的 LED),照明光源的波长为 λ (以氦氖激光器为例, $\lambda = 632.8\text{nm}$)。

[0021] ITO 电极层 2 通常为透明导电薄膜,ITO 是铟锡金属氧化物,具有很好的导电性和透光性,此处作为公共电极。取向层 4 主要由一层取向膜构成,并进行相应的取向处理,提

供液晶分子初始的排列方向。间隔子 7 用于在玻璃基板层 1 与硅基板层 6 之间形成一定的间隙,方便后期灌入液晶。

[0022] 硅基板层 6 中包含扫描驱动、时钟电路、存储器以及寻址开关矩阵等。驱动电压加载至像素电极层 5,从而改变液晶层 3 中液晶分子的指向矢分布,达到产生光程差的目的,实现对入射偏振光的相位调制。液晶层 3 中液晶类型设置为平行取向的向列型液晶。

[0023] 生成相位全息图并加载至像素结构的 LCOS 上,根据不同的相位值分布控制加载至每个像素上的驱动电压值,每个像素代表了相位全息图对应的最小衍射单元,像素之间的干涉形成了最终的衍射图样。衍射图样的分辨率和视场角由像素尺寸决定。

[0024] 为了充分利用 LCOS 的光学数据处理能力,使得生成的相位全息图与 LCOS 相匹配,根据 LCOS 的像素尺寸以及分辨率确定相位全息图的抽样间隔为 Δp 、像素数为 $M \times N$ 。LCOS 可以看成是二维离散光栅像素结构,根据图 2 所示的光栅衍射示意图,简单描述全息再现生成衍射图样的过程,出射角 $\theta_{out,m}$ 与入射角 θ_{in} 之间满足光栅公式:

$$[0025] \quad \sin\theta_{out,m} = m \frac{\lambda}{\Delta p} + \sin\theta_{in} \quad (1)$$

[0026] 其中, m 表示衍射级次(本发明研究 1 级衍射)。

[0027] 如图 1、图 3 所示,本发明的像素电极层 5 设计成金属-电介质-金属(M-I-M)的三层结构,单一的金属纳米结构(3D 结构)单元如图 4 所示,此结构可被看成是一个缝隙表面等离子共振子,可以采用 Fabry-Perot 共振子公式描述其共振位置。考虑到已有的工艺中像素电极层选用铝,为了方便大规模生产,本发明选取铝代替表面等离子技术中常用的贵金属,如金、银等。从上至下依次为铝纳米块 53(厚度 t)、二氧化硅层 52(厚度为 d)和铝电极层 51(厚度为 h)。

[0028] 以 TM 偏振光(电场 E 方向平行于 x 轴,磁场方向 H 平行于 y 轴)入射为例,底部的铝电极层 51 和中间的二氧化硅层 52(考虑 2D 截面图)在 x 方向上连续,它们在 x 方向上的尺寸大小均等于一个像素单元在 x 方向上的尺寸大小 p_E ,上层的铝纳米块 53 在 x 方向上每一行的个数为 N_E ,且这 N_E 个铝纳米块在 x 方向上的宽度各异,记为 Lx_n , ($n = 1, 2, \dots, N_E$)。同理,铝电极层 51 和中间的二氧化硅层 52 在 y 方向上连续,它们在 y 方向上的尺寸大小均等于一个像素单元在 y 方向上的尺寸大小 p_H ,上层的铝纳米块 53 在 y 方向上每一行的个数为 N_H ,且这 N_H 个铝纳米块在 y 方向上的长度相同,记为 Ly 。最终,将一个像素单元划分成 $N_E \times N_H$ 个金属纳米结构单元,若 $p_E = p_H = p$, $N_E = N_H$,则有 $p_E/N_E = p_H/N_H = \Lambda$, Lx_n 、 Ly 需满足条件: $Lx_n \leq \Lambda$, $Ly < \Lambda$ 。

[0029] 考虑图 4 所示的金属纳米结构单元,在照明光源的照射下,两层铝金属材料中产生诱导电流形成磁响应。控制上层每个铝纳米块的宽度 Lx_n ,可以使反射光产生 0 到 2π 之间不同的相位偏移。每个金属纳米单元的相位调制量 $\Phi(x)$ 为关于对应 Lx_n 的非线性分布函数。通过设置铝/二氧化硅/铝的三层结构,在原先尺度为 p 的像素电极中产生相位梯度 $\psi = 2\pi/p$,当入射光照射至像素电极层 5 的不同金属纳米结构单元时,所产生的辐射场相位互不相同,呈现线性分布,根据广义 Snell 定理,得到反射角 θ_r 大小为

$$[0030] \quad \theta_r = \sin^{-1}(\sin\theta_i + \psi/k_0) \quad (2) \quad \text{其中, } \theta_i \text{ 为入射角, } \psi \text{ 为相位梯度项, } k_0 \text{ 为波矢。}$$

[0031] 当采用本发明的 LCOS 器件进行全息视频显示时,液晶指向矢变化引起的相位调

制单元尺度由像素电极层 5 决定,对应相应的全息重构光场。而像素电极层 5 中的金属纳米结构改变了全息重构光场的能量分布,类似于闪耀光栅的功能,将入射光反射至由公式 (1) 决定的特定 ($m = 1$) 衍射级次,从而获得较高的一级衍射效率。此时,LCOS 器件仍然通过 $M \times N$ 个像素单元寻址,可以有效地利用现有 LCOS 工艺的驱动技术。

[0032] 同理,当 TE 偏振光(电场 E 方向平行于 y 轴,磁场方向 H 平行于 x 轴)入射时,设计上层铝纳米块 53 的宽度一致为 L_x ,长度分别为 L_{y_n} , ($n = 1, 2 \cdots, N_H$),且满足 $L_x < \Lambda$, $L_{y_n} \leq \Lambda$ 。

[0033] 综上,本发明将 MIM 结构引入到现有 LCOS 器件的像素电极设计中,在每个像素单元中构建多个金属纳米结构单元,通过控制金属纳米块的尺寸,确定相应的参数,改变金属纳米结构单元的相位调制,产生梯度相位分布,将入射光反射至全息视频显示时像素决定的一级衍射,从而提高 LCOS 器件的衍射效率。

[0034] 以上所述实施方式仅仅是对本发明的优选实施方式进行描述,并非对本发明的范围进行限定,在不脱离本发明设计精神的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案作出的各种变形和改进,均应落入本发明的权利要求书确定的保护范围内。

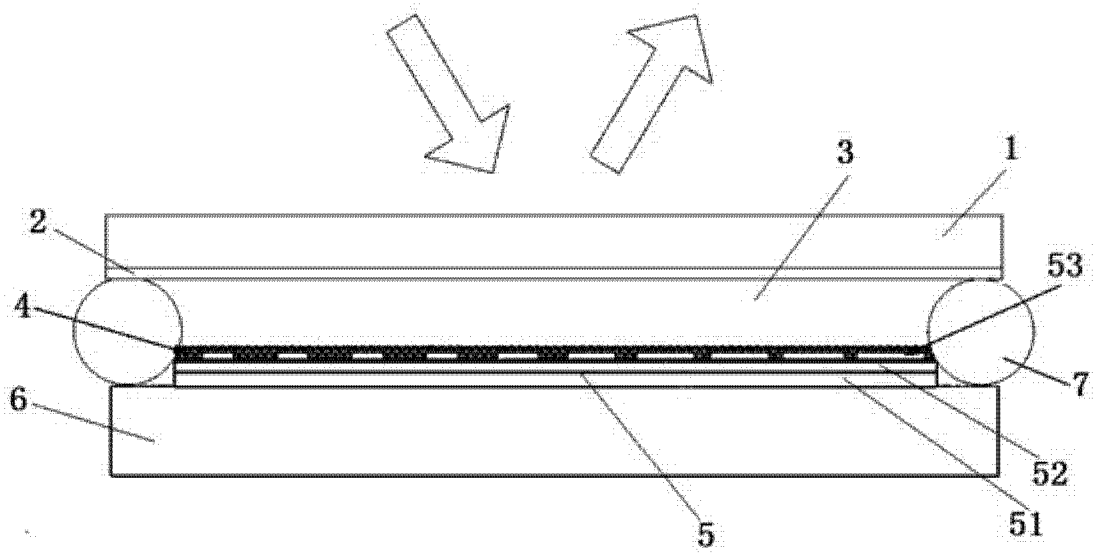


图 1

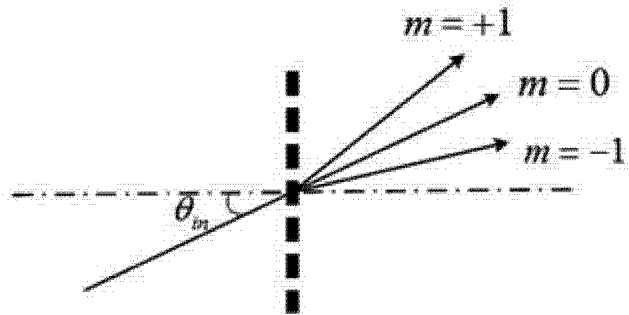


图 2

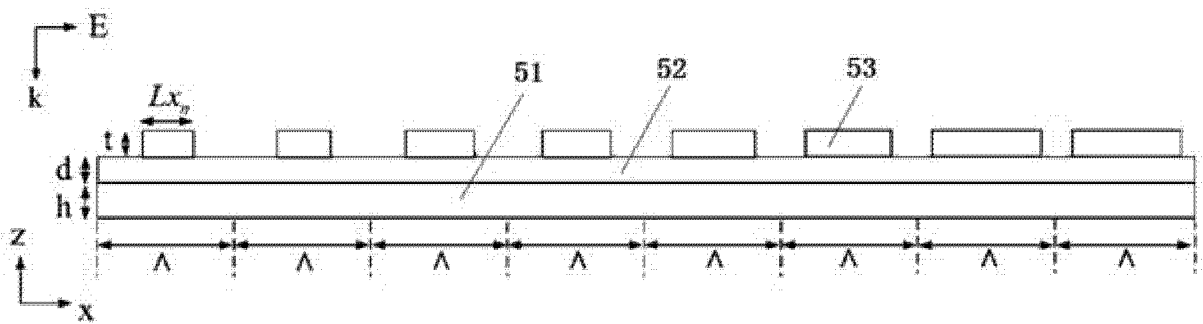


图 3

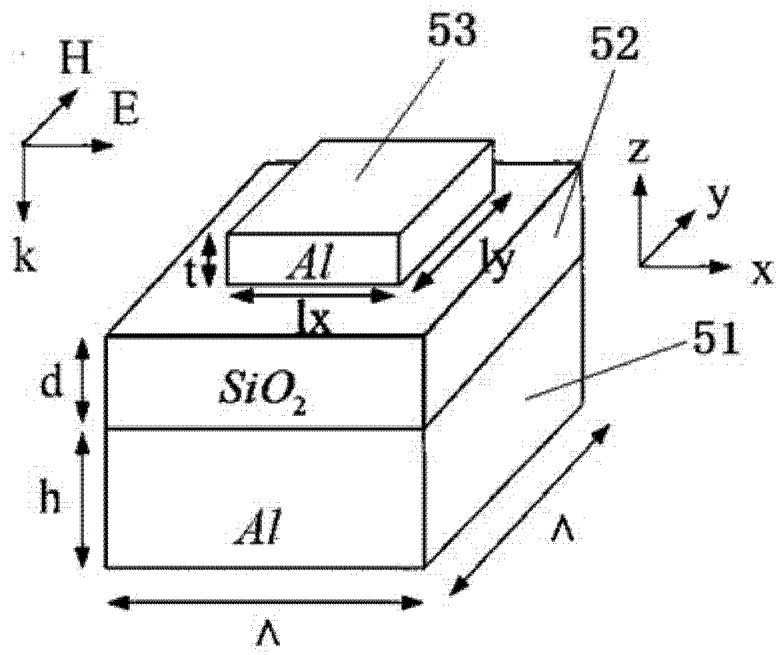


图 4

专利名称(译)	用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构		
公开(公告)号	CN104049424A	公开(公告)日	2014-09-17
申请号	CN201410300626.4	申请日	2014-06-26
[标]申请(专利权)人(译)	安徽大学		
申请(专利权)人(译)	安徽大学		
当前申请(专利权)人(译)	安徽大学		
[标]发明人	沈川 刘凯峰 倪蕾 祖慈 韦穗		
发明人	沈川 刘凯峰 倪蕾 祖慈 韦穗		
IPC分类号	G02F1/1343		
其他公开文献	CN104049424B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供一种用于全息视频显示的硅基液晶空间光调制器的像素结构，包括像素电极层，所述像素电极层由第一金属电极层、电介质层和第二金属电极层构成，所述电介质层覆盖第一金属电极层，所述第二金属电极层位于电介质层上，由多个金属纳米块依次间隔排列构成；所述多个金属纳米块，其在入射偏振光磁场方向上的尺寸相同，其在入射偏振光电场方向上的尺寸各异。本发明利用金属纳米结构，将LCOS器件的像素单元划分成多个子单元，通过改变各个子单元的相位调制，产生梯度相位分布，将入射光反射至全息视频显示所需的一级衍射，从而提高LCOS器件的衍射效率。

