

文章编号:1007-2780(2017)02-0084-07

空间调制光传播方向及偏振态的多层图案化 液晶聚合物薄膜研究

赵晨项, 樊 帆, 杜 涛, CHIGRINOV V G, 郭海成*

(香港科技大学 先进显示与光电子技术国家重点实验室, 香港)

摘要: 本论文主要介绍了一种用来空间上调节光的传播方向跟偏振态的光学薄膜结构。这种结构包含多层图案化的双折射薄膜, 每一层都是由液晶聚合物(LCP)构成, 这些聚合物的光轴方向由一层图案化的光配向层控制而变化。这种光调制器有两层功能层, 第一层的设计是图案化的偏振光栅, 光栅向量方向可以空间上变化, 已达到空间调制光的传播方向的作用, 第二层是一层图案化的光延迟膜, 可以调节出射光的偏振态。这种多薄结构的厚度小于 $1\ \mu\text{m}$, 有助于提供高分辨率的光波前结构。它还可以当做光掩模, 用来产生多畴配向结构的光配向层, 应用到现代液晶显示器的制造中。为了验证这种结构的实用性, 我们成功地制作了这种多层膜结构, 并用它在单次曝光的条件下制作了一个两畴光配向结构的液晶盒。这种光学薄膜结构在调制光的传播方向跟偏振态方面有着独特的功能, 可以广泛应用于微型制造、三维成像、光通信、光计算、光开关等等领域。

关键词: 液晶; 聚合物薄膜结构; 偏振光栅; 光调制器; 图案化光配向

中图分类号: TP394.1; TH691.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173202.0084

Multi-layer patterned liquid crystal polymer thin films for spatially modulating light propagation directions and polarizations

ZHAO Chen-xiang, FAN Fan, DU Tao, CHIGRINOV V G, KWOK Hoi-sing*

(State Key Laboratory on Advanced Displays and Optoelectronics Technologies,
Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China)

Abstract: In this article, an advanced optical thin film structure for spatially modulating light propagation directions and polarizations is introduced. The optical structure is composed of multi-layer patterned birefringence thin films, of which each thin film is formed by a liquid crystal (LC) polymer layer with spatially varying optical axes controlled by a patterned photoalignment layer. The optical modulator has two functional layers, where the first layer is designed as patterned polarization grating with spatially varying grating vectors to spatially steer light propagation directions, and the second layer is a patterned retardation film for controlling the output light polarizations. The overall thickness of the multi-layer films, excluding the substrate, can be less than $1\ \mu\text{m}$, which offers the flexibility to

收稿日期:2016-10-14; 修订日期:2016-10-28.

* 通信联系人, E-mail: eekwok@ust.hk

generate high resolution light wavefront structure. As a result, the optical thin film can be ideally working as a photomask for exposure on a LC photoalignment layer to generate multi-domain alignment structures, which can be applied for the manufacturing and designing of modern liquid crystal display. To verify the effectiveness of the proposed photomask, a periodic two-domain thin film structure has been designed and fabricated and a liquid crystal cell with two-domain alignment structure has been successfully fabricated in a single exposure with the photomask. The proposed optical thin film has unique functions in modulating light propagating directions and polarizations, which has great potential to find applications on micro-fabrication, 3D display, optical communication, optical computing and optical switching, etc.

Key words: liquid crystal; polymer thin film; polarization grating; light modulator; patterned photoalignment

1 引言

光敏感材料在现代微电子、光学器件与显示器制作方面发挥着巨大的作用^[1-3]。光敏感材料通常是有机材料,在曝光之后会发生化学或者物理变化。作为一种常见的光敏感材料,光刻胶在某种溶剂中的溶解度高低可以通过曝光量多少来决定^[4]。所以,我们通常使用包含透光与不透光区域的光掩模来控制不同区域光刻胶的透光量,曝光之后通过漂洗便可获得图案化的光刻胶层。近几年以来,在材料科学迅猛发展的前提下,一种新型的光敏感材料——光配向材料,正被广泛地应用于液晶显示器的生产中^[3,5-8]。光配向材料主要用来实现液晶分子的配向排列^[3],并且在液晶显示器制造中逐渐普及。近期的研究成果表明,光配向材料可以为纳米柱、纳米球以及发光分子材料提供有排列的纳米结构^[9-10],这也极大地延伸了光配向材料的应用范畴。通常来讲,光配向材料分子的排列方向由曝光光场的电场震荡方向决定^[5-8],所以,为了可以更加准确地定义光配向材料分子的配向方向,入射光的传播方向以及偏振态需要精确控制。在很多需要光配向材料的应用中,常常需要图案化的配向结构,比如说:多域扭曲向列相液晶显示器、多域垂直向列液晶显示器、自发光液晶显示器、液晶透镜以及液晶衍射光栅^[6,7,10-13]。所以,市场急需类似于光掩模可以控制光刻胶曝光量的一种可以空间上控制光的传播方向以及偏振态的新型光学器件。近年来,这方面的研究一直继续着,并提出了一种可以控制光的偏振方向的光掩模^[14-16],它在制作拥有定义

明确的方位角方向的结构应用中可以发挥极大的作用。

通常来讲,曝光时需要斜入射,才可以使光配向层产生规则的预倾角方向^[6-7,11],然而,控制光的传播方向的光掩模仍是缺失的。对于多域扭曲向列相液晶显示器以及多域垂直向列液晶显示器的制作,预倾角需要精确控制,以期达到宽广视角液晶显示器的要求^[6,11],所以,对于液晶显示器的制作以及其他潜在的光配向技术的应用,能够控制光的传播方向以及偏振态的光掩模显得尤为重要。为了达到这一目标,本论文提出了一种多层薄膜堆叠的光学结构,每一层薄膜都是由 LCP 构成,LCP 的光轴由光配向材料控制,并在空间上变化。通过精确控制每一层 LCP 的分子配向,这种堆叠的薄膜结构可以在像素化的结构中调制入射光的传播方向以及偏振态。将这种新型设计的结构当作光掩模使用的话,便可以在单次曝光的前提下实现图案化的光配向排列,从而精准控制液晶分子的方位角与预倾角方向。本论文将从理论以及实验层面上分析这一新型光学结构。

2 多层薄膜结构的构成及工作原理

本论文即将阐述的光学薄膜结构由多层 LCP 薄膜构成,每层功能不同,或控制光的传播方向,或控制出射光的偏振态。其中尤为关键的结构是液晶偏振光栅(polarization grating [PG])^[17-20],用来控制光的传播方向,它是一层双折射薄膜,其中分子的光轴方向沿着光栅方向连续变化,见图 1(a),光栅方向沿着 x 轴,PG 的周期大小定义为 P ,PG 分子慢轴与 x 轴的夹角定

义为 α , 分子光轴的空间分布可以由以下公式决定,

$$\alpha(x) = \pi x / P. \quad (1)$$

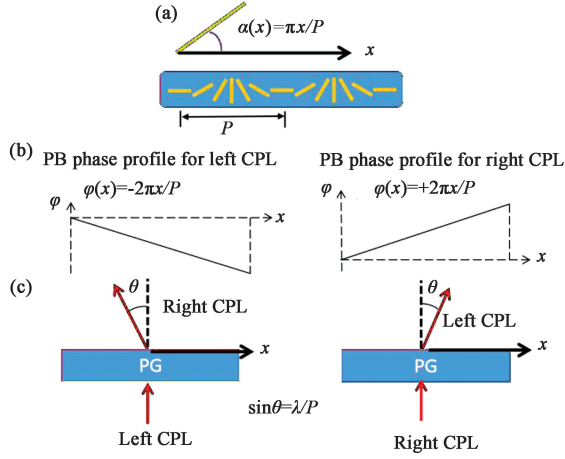


图 1 偏振光栅的结构与特性。(a) PG 分子排列结构;(b) 对于 CPL 的 PB 相位变化规律;(c) CPL 经过 PG 后的传播方向与偏振态变化

Fig.1 Structure and property of PG. (a) PG alignment structure; (b) PB phase profile for CPL; (c) PG property for left and right CPL

当 LCP 薄膜的厚度满足半波长光程差的条件时, PG 将改变圆偏光(circularly polarized light [CPL])的传播方向^[18-19], 这一光学现象可以用以下的琼斯矩阵表示,

$$E_{\text{out}} = \mathbf{R}(-\alpha(x)) \mathbf{M}_{\text{HWP}} \mathbf{R}(\alpha(x)) E_{\text{in}} = \begin{bmatrix} \cos \alpha(x) & -\sin \alpha(x) \\ \sin \alpha(x) & \cos \alpha(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \exp(-i\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha(x) & \sin \alpha(x) \\ -\sin \alpha(x) & \cos \alpha(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \pm j \end{bmatrix} = \exp(\pm j \frac{2\pi}{P} x) \begin{bmatrix} 1 \\ \mp j \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: $\mathbf{R}$ 是旋转琼斯矩阵 (rotational Jones matrix), $\mathbf{M}_{\text{HWP}}$ 是半波片的琼斯矩阵, $E_{\text{in}} = [1, \pm j]$ 表示入射光是圆偏光 (+/- 分别表示右旋与左旋圆偏光)。从公式 (2) 可以看出, 如果入射光是圆偏光, 经过 PG 之后出射光依然是圆偏光, 但是左右旋度互换, 附加的相位 $\exp(\pm j 2\pi x / P)$ 便是所谓的 Pancharatnam-Berry (PB) 相位^[21-22], 见图 1 (b), 正是由于沿着光栅方向线性变化的相位, 才致使光的传播方向的偏移。对于垂直方向入射的 CPL, 出射光会有 θ 角度的偏转, 见图 1 (c)

$$\theta = \arcsin(\lambda / P), \quad (3)$$

其中: λ 是入射光的波长。对于左右旋圆偏光, 出

射光将偏转相同的角度, 但是方向相反。为了获得较大的偏转角, 可以将多层 PG 层堆叠, 但是同时考虑到 PG 会将圆偏光的左右旋度互换, 所以当堆叠时, 相邻两层对应位置 PG 的光栅方向要相反。此时, 附加的相位部分可以表示成以下形式:

$$\exp(\pm j 2\pi x (1/P_1 + 1/P_2 + 1/P_3 + \dots)), \quad (4)$$

其中: P_1, P_2 和 P_3 分别是每一层 PG 的周期大小, 出射光的偏转角也相应的增加为^[19]:

$$\theta = \arcsin(\lambda (1/P_1 + 1/P_2 + 1/P_3 + \dots)), \quad (5)$$

控制出射光偏振态的是一层光程差延迟层, 堆叠在 PG 层上, 通过改变层厚度与光轴配向方向, 出射光的偏振态便会有相应的改变。PG 层与光程差延迟层堆叠在一起的光学特性可以通过以下的琼斯矩阵表示:

$$E_{\text{out}} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \exp(-i\Gamma) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \exp(\pm j 2\pi x / P) \begin{bmatrix} 1 \\ \mp j \end{bmatrix}, \quad (6)$$

其中: Γ 是相位延迟, β 是光栅方向与相位延迟层光轴的夹角, 如果相位延迟层厚度满足 1/4 波片 (quarter wave plate [QWP]) 的条件, 而且 $\beta = \pi/4$, 入射光是 CPL, 那么出射光可以表示为:

$$E_{\text{out}} = \exp(j 2\pi x / P) [1, 0]. \quad (7)$$

从上面的公式中, 我们可以看到出射光是线偏光, 并且光的偏转角度为 $\theta = \arcsin(\lambda / P)$ 。

通过上面的讨论, 可以证明, 本论文所设计的光学结构可以控制光的传播方向与偏振态, 这对于实现对光配向层方位角与预倾角的精确控制有着至关重要的作用^[3, 6]。

3 实验结果与讨论

为了实现对光在空间上传播方向与偏振的控制, 本论文将详细介绍这一多层薄膜结构的制作过程。如图 2 (a) 所示, 这一多层薄膜结构由图案化的 PG 层与 QWP 层堆叠组成, PG 层包含多个像素化的微结构, 每个域内的 PG 方向向量的方向均不同, 同样的, QWP 相应的包含拥有不同光轴方向的像素化微结构。通过严格控制两层薄膜的像素微结构的位置, 便可实现对光的传播方

向与偏振的精确调控。图2(b)是一种图案化的PG结构的具体化示例,结构包含周期性的四域配向分布,可以当作生产四域液晶显示器的光掩模^[6, 11, 23],而且,通过设计不同的像素化微结构,此多层薄膜结构将为制作不同光配向层提供更多便利。

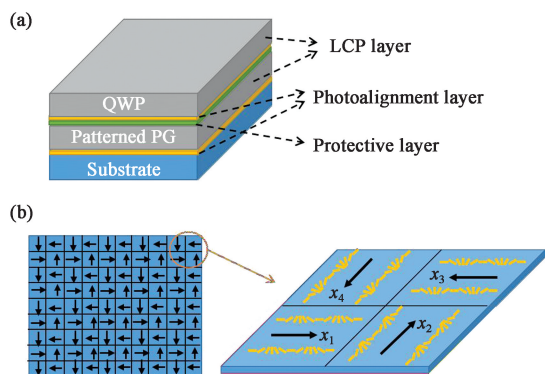


图2 多层薄膜结构示意图。(a)多层薄膜结构组成;(b)图案化PG结构示例(黑色箭头表示PG向量方向,黄色线条表示PG分子光轴方向)

Fig.2 (a) Multilayer structure of the designed photomask with a patterned PG layer and a QWP layer; (b) An example of four-domain structure of the patterned PG (the yellow line represent the optical axis directions and the black arrows denote the grating vector directions)

3.1 多层薄膜结构的制作

为了验证本论文设计的光学结构的可行性,我们成功地制作了周期性变化的两域薄膜结构,并用其作为光掩模实现了单步曝光条件下的两域结构的垂直配向层的制作。在实验过程中,PG层与QWP层均为LCP层,LCP的光轴分布由底层的光配向层精准控制。一般来讲,光配向层的排列方向由曝光的偏振方向决定^[3,24],所以,通过空间上控制曝光的偏振方向,便可获得期望得到的配向层的光轴分布。

实验中,我们采用带有磺酸基的偶氮染料SD1[来自 Dai-Nippon Ink and Chemicals (DIC), Japan]作为光配向材料,UCL017A [from DIC]作为LCP材料。SD1拥有可以被偏振光曝光而垂直于偏振方向取向的特性,并且通过再次照射不同偏振方向的偏振光,SD1的排列方向将重新定义^[3,24],即SD1拥有可以被擦写的特性^[3,24]。

在制作图案化的PG层过程中,首先,我们在石英玻璃上旋涂一层SD1,厚度大概为10 nm,之后通过将两束左右旋圆偏光在SD1表面进行干涉,从而产生连续的PG结构^[17, 19, 25](如图3(a)),PG的周期大小被设计为2 μm ,然后,将一个拥有周期性宽度为100 μm 金属条的光掩模覆盖SD1层,再次进行曝光,这次,依然采用左右旋圆偏光进行干涉,但是两束光的旋度相互置换,如图3(a) step 2所示,由于SD1具有可以被重新擦写的特性,第二次的曝光区域PG向量方向将产生与第一次相反的结果^[26],最终,通过两次曝光,我们获得了图案化的PG结构,见图3(b)。紧接着,在SD1表面旋涂一层UCL017A,其分子方向将跟随SD1分子的方向进行排列,之后,通过UV光照射使其聚合固化,见图3(c)。图3(d)(e)显示了正交偏振下不同放大倍率的微结构图片。LCP的厚度根据光掩模针对的波长进行设定,并满足半波长的条件,对于325 nm波长而言,LCP的厚度大概为600 nm左右。

完成以上步骤后,我们将通过等离子增强化

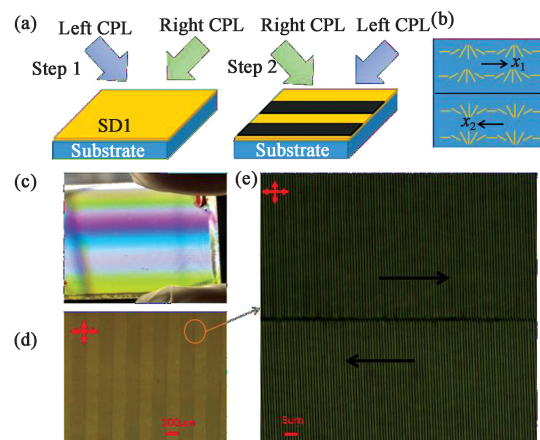


图3 (a)两域图案化PG的准备过程;(b)两域PG配向结构分布;(c)制作完成的图案化PG图片;(d, e)不同放大倍率下的两域PG结构图片

Fig.3 (a) Preparing the two-domain patterned PG alignment structure in a two-step exposure; (b) The schematic of the alignment structure prepared by the process shown in (a); (c) the photo of the prepared patterned PG; (d, e) the microscopic photo of the patterned PG under cross polarizers in different magnification.

学气相沉积(PECVD)技术^[26],在 PG 层表面沉积一层厚度大约为 50 nm 的 SiO_2 ,作为保护层,见图 2(a)。之后,在 SiO_2 表面旋涂另一层 SD1 并曝光,配向方向与 PG 的向量方向成 45° ,然后,再在 SD1 层表面旋涂一层 UCL017A,对于 325 nm 波长满足四分之一波片的条件,厚度大约为 300 nm,同样地,这层 LCP 分子的排列方向将与 SD1 保持一致。至此,所有步骤完成,最终的光掩模结构见图 2(a)。这种多层薄膜结构的总厚度小于 1 μm ,保证了偏振态与传播方向受控的高分辨率像素化波前的产生。当入射光为右旋偏振光时,出射光将被转化为左旋偏振光,并且有空间上变化的传播方向。

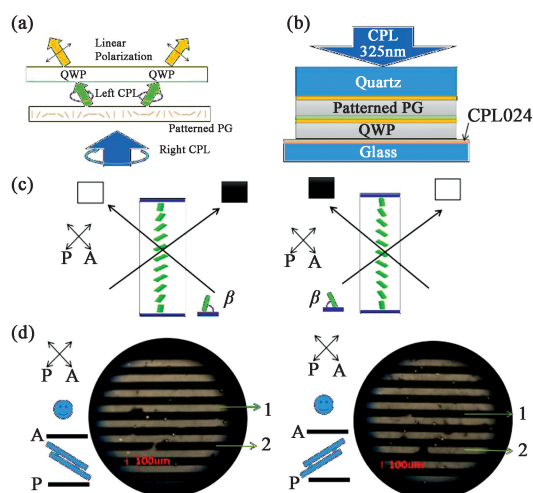


图 4 (a)圆偏光透过光掩模的特性改变;(b)多层薄膜结构作为光掩模的使用方法;(c) Mouse-LCD 仿真结果,LC 分子在加电情况下的分布以及在不同观测角度的透射率;(d)在正交偏振片下斜向观察的液晶盒的微型结构

Fig.4 (a) Light property after passing through the photomask; (b) Multilayer structure used as photomask; (c) Simulation result of the LC director distribution using Mouse-LCD, and also show different transmittance for observing obliquely in different directions; (d) Micrograph of the obliquely observed LC cell under crossed polarizers

3.2 多层薄膜结构的性能测试

为了测试所制作的光掩模的特性与性能,我们采用了一种光配向材料 CPL024 [from DIC]^[7],它的方位角与预倾角均可以由相应的入射光的偏振态与入射方向决定。如文献[7]所叙

述的,在一定量的偏振紫外光的照射下,CPL024 可以达到 89° 左右的预倾角。CPL024 分子的倾斜方向平行于入射光电场方向,所以,入射光的入射方向应与偏振方向在同一平面^[7]。实验中,CPL024 旋涂在 ITO 的玻璃上,之后将制作的光掩模盖在 CPL024 上面,以波长为 325 nm 的圆偏光入射曝光,如图 4(b) 所示,光掩模的光学特性见图 4(a)。为了验证曝光后 CPL024 的取向结构,我们制作了一个液晶盒,两面分别为准备好的 CPL024 与有着 90° 预倾角的聚酰亚胺(PI)5661 (from Nissan, Japan),盒厚为 5 μm ,液晶材料为负介电各向异性的 NA0383 (from DIC)。

为了验证液晶盒的两域结构,我们观察了液晶盒在正交偏振片的显微镜下的微结构。与此同时,我们采用软件 Mouse-LCD^[27] (HKUST, Hong Kong) 对这种结构进行了仿真,见图 4(c)。将峰值 2.4 V 的方波施加到液晶盒上,其中两个区域的液晶产生了不同的分布情况,液晶分子的倾角方向在电场的作用下朝着相反的方向偏转,因此,在斜向观察时两个结构域光的延迟值与透射率都会有所不同。图 4(d) 展示了斜向观察所做液晶盒时显微镜下的微型结构图片。与仿真结果相同,图片中的亮线与暗线代表了两域结构,将液晶盒反向倾斜时,亮线与暗线将相互转换。从以上的实验结果可以看出,本论文所描述的多层薄膜结构的有效性,并可以用作光掩模进行单步照光实现图案化的光配向结构。

4 结 论

本论文主要研究了一种可以实现对光的传播方向与偏振方向进行精确控制的多层薄膜光学结构,并从仿真与实验上验证了此结构可以用来作为光掩模制作多域结构的液晶器件,比如:多域结构的垂直配向显示器。由于可以利用此光学结构实现单步照光下的多域结构的制作,大大简化了生产流程,节约了制作成本,并且,随着光敏感材料科学的迅猛发展,此光学结构将在生产图案化结构领域展示更大的潜力。同时,由于此光学结构的功能特殊性,其将在微结构加工、3D 显示、空间光通信、光计算与光开关控制等方面发挥更多的作用。

参 考 文 献:

- [1] EYNON JR B, WU B Q. *Photomask Fabrication Technology* [M]. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [2] O's HEA D C, SULESKI T J, KATHMAN A D, *et al.* *Diffraction Optics: Design, Fabrication, and Test* [M]. Bellingham, WA: SPIE Press, 2003.
- [3] CHIGRINOV V G, KOZENKOV V M, KWOK H S. *Photoalignment of Liquid Crystalline Materials* [M]. Chichester: Wiley, 2008.
- [4] DEFOREST W S. *Photoresist: Materials and Processes* [M]. New York: McGraw-Hill, 1975.
- [5] SCHADT M, SCHMITT K, KOZINKOV V, *et al.* Surface-induced parallel alignment of liquid crystals by linearly polymerized photopolymers [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, 31(7): 2155-2164.
- [6] SCHADT M, SEIBERLE H, SCHUSTER A. Optical patterning of multi-domain liquid-crystal displays with wide viewing angles [J]. *Nature*, 1996, 381(6579): 212-215.
- [7] FAN F, SRIVASTAVA A K, DU T, *et al.* Low voltage tunable liquid crystal lens [J]. *Opt. Lett.*, 2013, 38(20): 4116-4119.
- [8] NEWSOME C J, O'NEILL M. Pretilted and grating alignment of liquid crystals by oblique ultraviolet irradiation of polyimide [J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, 92(4): 1752-1756.
- [9] YU H F, KOBAYASHI T, YANG H. Liquid-crystalline ordering helps block copolymer self-assembly [J]. *Adv. Mater.*, 2011, 23(29): 3337-3344.
- [10] ZHAO D Y, FAN F, CHENG J, *et al.* Light-emitting liquid crystal displays based on an aggregation-induced emission luminogen [J]. *Adv. Opt. Mater.*, 2015, 3(2): 199-202.
- [11] MIYACHI K, KOBAYASHI K, YAMADA Y, *et al.* The World's first photo alignment LCD technology applied to generation ten factory [J]. *SID Symp. Dig. Tech. Papers*, 2010, 41(1): 579-582.
- [12] KOMANDURI R K, JONES W M, OH C, *et al.* Polarization-independent modulation for projection displays using small-period LC polarization gratings [J]. *J. Soc. Inf. Disp.*, 2007, 15(8): 589-594.
- [13] ESCUTI M J, JONES W M. Polarization-independent switching with high contrast from a liquid crystal polarization grating [J]. *SID Symp. Dig. Tech. Papers*, 2006, 37(1): 1443-1446.
- [14] SCHADT M, SEIBERLE H, SCHUSTER A, *et al.* Photo-induced alignment and patterning of hybrid liquid crystalline polymer films on single substrates [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1995, 34(6B): L764.
- [15] SEIBERLE H, SCHMITT K, SCHADT M. Multidomain LCDs and complex optical retarders generated by photoalignment [J]. *Proc. Eurodisp.*, 1999, 99: 6-9.
- [16] DU T, CHIGRINOV V G, KWOK H S. Patterned polarization converter: US, 20120092668 [P]. 2012-04-19.
- [17] TAN L, HO J Y, KWOK H S. Extended Jones matrix method for oblique incidence study of polarization gratings [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2012, 101(5): 051107.
- [18] OH C, KIM J, MUTH J, *et al.* High-throughput continuous beam steering using rotating polarization gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2010, 22(4): 200-202.
- [19] KIM J, OH C, SERATI S, *et al.* Wide-angle, nonmechanical beam steering with high throughput utilizing polarization gratings [J]. *Appl. Opt.*, 2011, 50(17): 2636-2639.
- [20] KOMANDURI R K, JONES W M, OH C, *et al.* Polarization-independent modulation for projection displays using small-period LC polarization gratings [J]. *J. Soc. Inf. Disp.*, 2007, 15(8): 589-594.
- [21] BOMZON Z, BIENER G, KLEINER V, *et al.* Space-variant Pancharatnam-Berry phase optical elements with computer-generated subwavelength gratings [J]. *Opt. Lett.*, 2002, 27(12): 1141-1143.
- [22] MARRUCCI L, MANZO C, PAPARO D. Pancharatnam-Berry phase optical elements for wave front shaping in the visible domain: switchable helical mode generation [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 88(22): 221102.
- [23] YOSHIDA H, SEINO T, KOIKE Y. Four-domain divided inclined vertical alignment by irradiation of unpolarized ultra violet light [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1997, 36(11A): L1449.
- [24] SHTEYNER E A, SRIVASTAVA A K, CHIGRINOV V G, *et al.* Submicron-scale liquid crystal photoalignment [J]. *Soft Matter*, 2013, 9(21): 5160-5165.

- [25] NIKOLOVA L, RAMANUJAM P S. *Polarization Holography* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [26] VOSSEN J L, KERN W. *Thin Film Processes II* [M]. San Diego: Academic Press, 2012: 525-559.
- [27] CHIGRINOV V G, KWOK H S, YAKOVLEV D A, *et al.* LCD optimization and modeling [J]. *J. Soc. Inf. Disp.*, 2004, 12(2): 183-187.

作者简介: 赵晨项(1990—),男,河北衡水人,博士研究生 2013 年于南京大学获得本科学位,主要从事液晶显示及光学应用方面的研究。E-mail: czhaoaf@connect.ust.hk

郭海成,男,IEEE 院士,美国光学学会院士,国际信息显示学会院士,亚太材料科学院院士。1978 年在哈佛大学应用物理专业取得博士学位,现任香港科技大学先进显示与光电电子技术国家重点实验室主任。E-mail: eekwok@ust.hk