

一种新的菲涅耳位相波带片*

任洪文 凌志华 吴 声 黄锡珉 马 凯 王宗凯

中国科学院长春物理研究所, 长春 130021

北方液晶工程研究开发中心, 长春 130021

摘 要 利用液晶分子取向的电场可控性及光学各向异性的特点, 设计了一种新型的菲涅耳位相波带片, 这种器件具有制作简单、造价低廉、抗划损的优点。

关键词 向列液晶, 位相延迟, 位相波带片。

菲涅耳波带片是一种重要的光学器件, 通常采取遮闭奇数带或偶数带的方法使用。但是波带的遮闭使光能的损失较大。为了提高光的有效利用率, 可以不把相同位相的带挡住, 而是在奇数(或偶数)带的位置镀一层薄膜, 适当控制膜的厚度, 使通过它的光波在其轴线上某点产生的振动位相延迟再增加 π 值, 这样各波带在此点产生的振动位相都相同, 结果增大了光强^[1]。然而, 采用这种方法制作的器件其技术比较复杂, 因而增加了制造成本。这里, 利用液晶的光电特性首次设计了菲涅耳位相波带片, 与采用镀膜技术制作的位相波带片相比, 这种器件具有制作技术简单, 造价低廉的优点。

1 液晶器件的位相延迟原理

液晶是具有强的光学各向异性和介电各向异性的材料, 把纯的向列液晶注入到带有透明的氧化铟锡(ITO)电极的玻璃盒内, 其结构如图 1 所示。在两 ITO 电极的外表面再涂一层聚酰亚胺有机取向层, 并使两取向层沿相反的方向进行磨擦, 这样液晶就沿磨擦方向均匀取

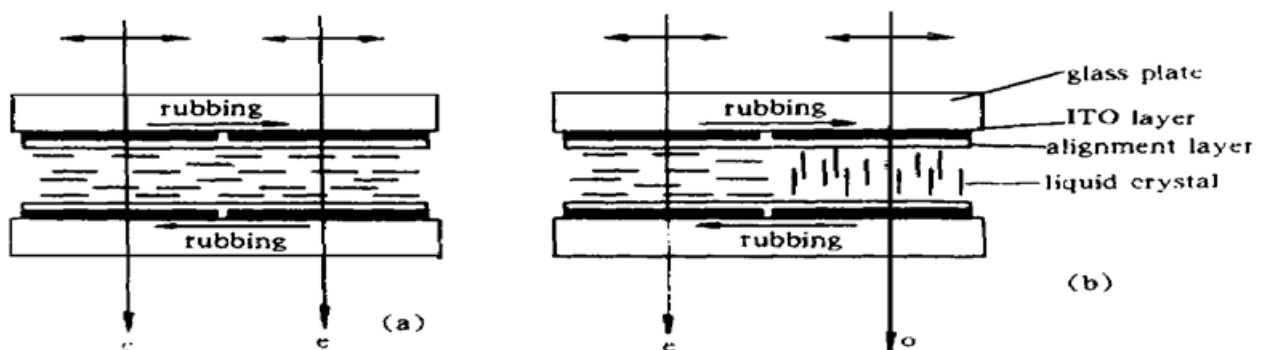


Fig. 1 The alignment of liquid crystal molecules in their OFF state (a) and ON state of their right part (b)

* 中国科学院留学经费择优支持回国工作基金资助项目。

收稿日期: 1997-09-08; 收到修改稿日期: 1997-11-13

向^[2], 如图 1(a) 所示。当对盒内右侧的 ITO 电极施加一定强度的电场时, 此侧的液晶分子均沿电场方向取向; 当一偏振方向与磨擦方向平行的线性偏振光垂直入射经过液晶盒时, 对于盒的左侧部分, 其液晶的有效折射率为非常光折射率 n_e 。对于右侧部分, 液晶的有效折射率为寻常光折射率 n_o , 如图 1(b) 所示。光线通过盒左右两部分时所产生的位相差为:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d,$$

这里 λ 为入射光的波长, d 为液晶盒的厚度。假设把此液晶盒的左、右两部分看作是一波带片中相邻的一个奇数带和一个偶数带, 那么如果 φ 为 π 的奇数倍, 即 $\varphi = (2n + 1)\pi$ (n 为自然数), 则它是一个位相波带片。由上面两个公式得:

$$\frac{(2n + 1)\lambda}{2(n_e - n_o)} = d,$$

如果材料选用向列液晶 BL-001 ($\Delta n = n_e - n_o = 0.225$), 入射光源用 He-Ne 激光 ($\lambda = 633 \text{ nm}$), 自然常数 $n = 1, 2, 3, 4$ 等, 则求得盒厚分别为 $4.2 \mu\text{m}$ 、 $7.0 \mu\text{m}$ 、 $9.8 \mu\text{m}$ 、 $12.6 \mu\text{m}$ 。目前要想制备具有这些厚度的液晶盒技术上已不成问题。

2 波带片的设计及实验结果

用于制备菲涅耳位相波带片的液晶盒上下基板的 ITO 电极光刻方案图, 如图 2(a)、(b) 所示。图中的深色部分为奇数带即保留电极的部分, 并用公共电极连接起来。这里只设计了 7 个波带。第一个奇数带的直径为 2.5 mm 。在用这两个基板做盒时, 只要连接波带片的两个公共电极不交叠, 那么公共电极中除在奇数带以外的电极部分就不会影响液晶分子的取向, 如图 2(c) 所示。实验中根据图 1 所示的液晶分子的电场可控性并结合图 2 所示的器件的制作方法制备了样品。盒厚用直径为 $12 \mu\text{m}$ 的玻璃纤维控制; 灌注的液晶为 BL-001。图 3 为实验的测试装置, 功率为 1.2 mW 的 He-Ne 激光光束被两个凸透镜扩束后垂直入射到样品上, 样品前面贴一线性偏振片, 其偏振方向与盒的磨擦方向相同, 样品后面的接收屏上放有照相底片, 整个实验是在暗室中进行的。图 4 为样品分别在关态和开态(由信号发生器向公共电极提供 5 V 的电压), 在照相底片上形成的光斑图样(曝光时间均为 20 秒), 实验发现, 在关态时, 样品并不对光斑的大小产生影响, 而在开态时则可在底片上形成一系列呈同心圆的衍射图案, 调节屏与样品的距离, 衍射图案的中心光斑直径变小, 同时, 亮度明显变强。因此

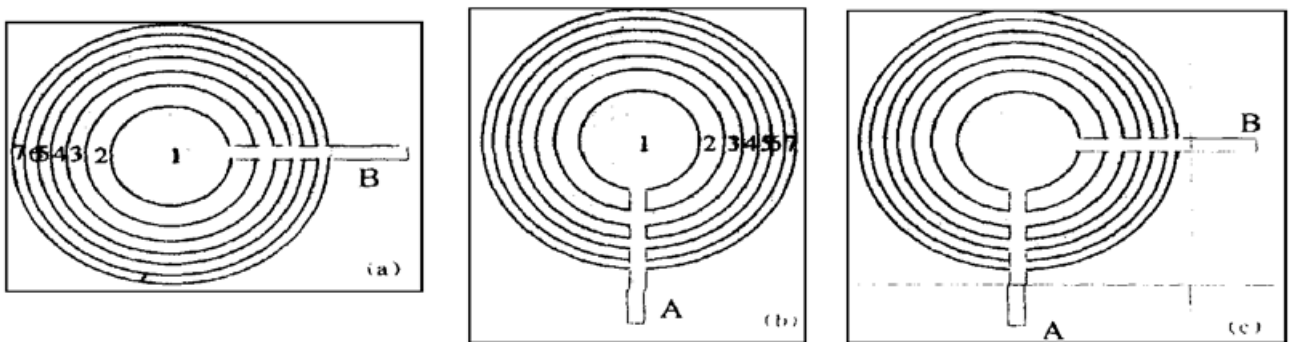


Fig. 2 The photolithographic scheme of two ITO electrodes as the upper and lower substrates as shown in (a) and (b), and their combination as a Fresnel phase waveband plate with liquid crystal sandwiched as shown in (c)

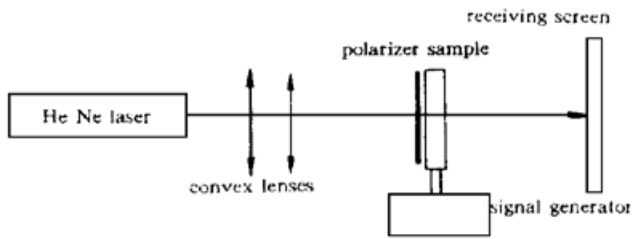


Fig. 3 Experimental set-up to test Fresnel phase waveband plate.

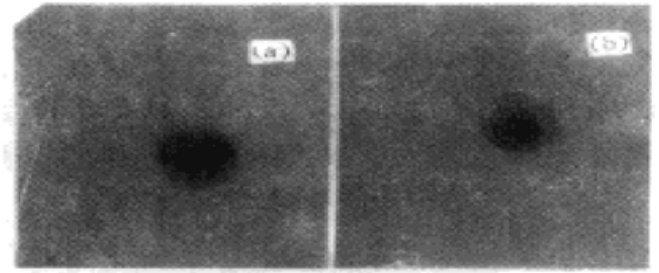


Fig. 4 The pattern of light spot formed on the screen when the sample in its OFF state (a) and ON state (b) respectively

样品具有一定的聚光能力。其衍射花样同常规的波带片的衍射花样相类似。由于考虑到液晶分子具有的电极边缘效应及液晶分子的相互作用性, 因此随着波带级次的不断增高, 在高级次的奇、偶带(即有电极与无电极的部分)处, 液晶分子之间容易出现互相串扰而降低了波带片的精度, 同时实验所用的液晶材料及盒的厚度对实验的结果也有一定的影响, 这一工作有待进一步研究。

结 论 应用液晶技术设计了一种新型的菲涅耳位相波带片, 同采用镀膜法制备的位相波带片相比, 这种器件具有制作技术简单、成本低的优点, 易于实现批量生产。

感谢本研究中心的才勇、朱希玲等同志在制版、光刻等方面所给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] 王秉超, 李良德, 马文琦等. 光学, 长春: 吉林大学出版社, 1992. 161~ 162
 [2] J. A. Castellano. Surface anchoring of liquid crystal molecules on various substrates, *Mol Cryst & Liq Cryst.*, 1983, **94**: 33~ 41

A New Type Fresnel Phase Waveband Plate

Ren Hongwen Ling Zhihua Wu Sheng Huang Ximin
 Ma Kai Wang Zongkai

Changchun Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021
North Liquid Crystal Research and Developing Center, Changchun 130021

(Received 8 September 1997; revised 13 November 1997)

Abstract By utilizing the properties of liquid crystal molecular alignment controllable by electric field as well as its optical anisotropy, a new type Fresnel phase waveband plate has been designed. This device has the advantages of easy fabrication, low cost and resistance to scratch.

Key words nematic liquid crystal, phase retardation, phase waveband plate.