

聚合物分散液晶光栅的衍射特性的研究

任洪文 黄锡珉 王宗凯 马 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 报道了一种由聚合物分散液晶膜与具有周期性条状电极结构板结合的新型光栅器件。借助于聚合物分散液晶膜的电光特性, 这种栅对入射光的散射或衍射取决于对其施加的电压, 即它是电场可调的。实验结果显示当驱动电压超过器件的阈值电压时, 衍射光的强度和衍射斑的可见级次能被电场调制, 而且它能把入射光的线性偏振态变为椭圆偏振态。

关键词 向列液晶, 聚合物分散液晶, 折射率匹配, 衍射光栅。

1 引 言

自从 Knop 和 Kane 发现的由液晶层和相栅层组成的具有可调性衍射相栅以来, 液晶栅正被广泛而深入地研究^[1-4]。由于这种器件的光学特性具有电场可控性, 因此它们在光学处理、衍射光学、投影显示、光开关等许多方面具有潜在的应用性。但是制作液晶器件需要有许多特殊处理过程, 如液晶分子取向处理、盒厚控制、封盒、贴片等等, 这必然增加其制作难度和增大制造成本。最近, 对聚合物分散液晶(Polymer dispersed liquid crystals, 简称 PDLC) 衍射栅的研究已有过报道^[5, 6], 这不仅因为样品制备的过程简单, 而且它们的光学特性也能被电场调节, 有着与普通液晶光栅完全不同的工作机理。在文献中, 聚合物分散液晶光栅的制备是采用光掩膜法处理制作的, 由本身充当光栅作用的膜与带板面电极的玻璃基板构成。由于其栅的缝隙部分的混合物的相分离结构难以控制, 因此, 不同的结构会导致不同的透光效果。况且, 这一相分离的结果使作为栅的缝隙部分即使在不加电压的情况下也散射一定强度的外来光, 降低了光的衍射效果。又由于使用了光掩模板而使其制备的过程变得比较复杂。本文作者采用非选择性的光固化相分离法制备聚合物分散液晶光栅, 这种栅是由聚合物分散液晶膜与栅状电极一起构成的, 膜内所有部分的相分离结构是一样的, 因此在电压的调节下, 各缝隙的光透过率是相同的。同上述的其它器件相比, 它具有制作简单、光利用率高的优点。本文研究了聚合物分散液晶光栅的衍射特性, 并对实验结果进行了讨论。

2 聚合物分散液晶膜的光控原理

通过某种物理的或化学的方法使向列液晶以微米尺寸的液滴分散在固态透明的有机聚合

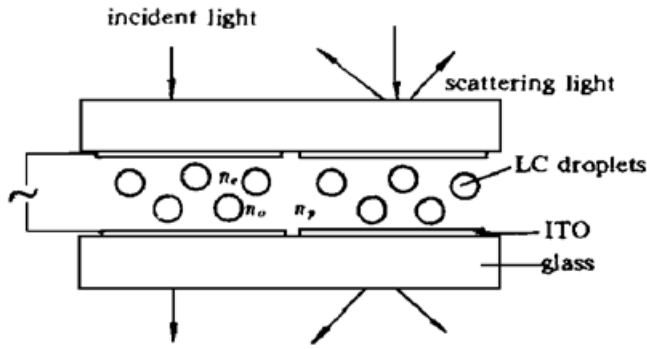


Fig. 1 Light control theory of PDLC film in off and on

物基体内,如图 1 所示,每一个小液滴的光轴呈择优取向,而所有微粒的光轴呈无序取向状态。由于液晶是强的光学和介电各向异性的材料,其有效折射率不与基体的折射率匹配(相差较大),入射光线可被强烈散射而呈不透明或半透明乳白态。用电场调节微粒光轴的取向,当光轴沿电场方向取向时,液晶微粒的寻常折射率与基体的折射率达到了一定程度的匹配,光线可透过基体而呈透明或半透明态。除去外电场,液晶微粒在基体弹性能的作用下又恢复到最初的散射状态,

因此聚合物分散液晶膜在电场的作用下可实现光控显示。

3 实验部分

3.1 聚合物分散液晶栅的制备

图 2 给出了聚合物分散液晶光栅结构的截面图,玻璃基板内表面带有透明的 ITO(氧化铟锡)电极都被刻蚀成平行的成对对应的条状电极。电极宽度为 $40\ \mu\text{m}$ 。栅的周期宽为 $65\ \mu\text{m}$ 。可紫外光固化的预聚物 Butylacrylate ($n_p = 1.527$ 日本 Meisei 公司产) 内含 2% 的光敏剂 Irgacure-184 (日本 Kayaku 公司产) 与向列液晶 BL002 ($\Delta n = 0.246$, $n_o = 1.525$, E. Merck 公司产) 以 40:60 的重量比相混合,然后放在加热台上加热并充分地搅拌,同时加入少量直径为 $21\ \mu\text{m}$ 的玻璃纤维用于控制膜厚,材料的混合加热是在暗室中进行的。当混合物加热到清亮点时,把混合物夹在图 2 所示的条状电极基板中,控制样品的温度,并在光强为 $7\ \text{mW}/\text{cm}^2$ 的紫外光下照射 30 分钟。由于光的聚合作用引发了混合物的相分离,预聚变为固态基体,降低了液晶在混合物中的溶解度,液晶以微粒的形态析出。通过精确控制样品的固化温度,实验可以获得直径为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 的液晶微粒。

3.2 聚合物分散液晶栅的测试过程

用导电胶把已制好的样品的各自基板上并列的电极条联起来,用 He-Ne 激光 ($632.8\ \text{nm}$, 功率为 $1.2\ \text{mW}$) 作为外来光垂直入射到该样品上,在激光器和样品之间加一偏振片,在样品后 3 m 处放一接收屏,并对其施加交流电压。

4 结果和讨论

4.1 聚合物分散液晶的电光特性

用图 2 所示的下面带有较宽电极的部分测试聚合物分散液晶的电光曲线,如图 3 所示,

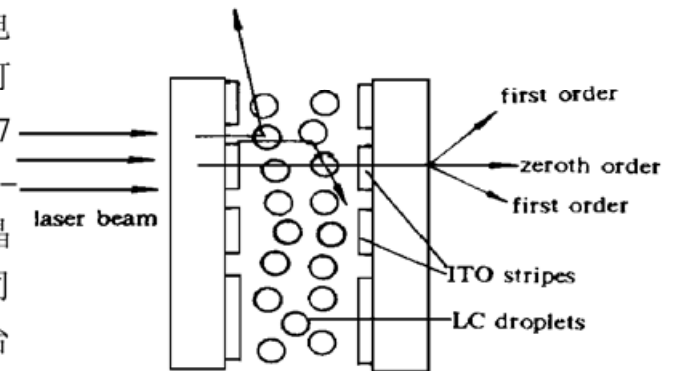


Fig. 2 The cross sectional structure of a PDLC grating and its diffraction order formation while an ac voltage applied to ITO stripes

此样品在关态呈强的散光态而不透明,而在开态(饱和电压为 35 V),其透过率可达 85%,具有很高的对比度。经测试其响应时间在 10 ms 的数量级。

4.2 聚合物分散液晶光栅的衍射特性

为了研究制备的样品的衍射特性与外加电压的关系,首先给样品施加交流电压。图 4 的(a)、(b)和(c)分别是样品在施加 5 V、12 V、35 V 时在接收屏上所看到的衍射图样照片。实验的结果是,当所加的电压为 5 V 左右时,屏面上看不到衍射图样,从测试的结果(见图 3)中可以看出,当所加的电压小于 10 V 时,是由于样品对入射光的强烈散射而呈不透明态,这时它只是充当遮光作用。当驱动电压连续增加时,首先看到的是零级衍射和二个一级衍射光斑,其次是较高级的级次,即衍射光的级次与外加的电压成正比。本文得到的这一结论与文献[7]中给出的衍射级次与外加电压的关系正好是相反的。这一结论可作如下的解释:从聚合物分散液晶的电光特性曲线(图 3)上可以看出,连续地增加电压(> 10 V)能导致透过率增加得很快,主要是由于条状电极间液晶微粒的光轴不断地趋向平行于电场方向,导致聚合物分散液晶膜的基体折射率(n_p)与液晶的寻常折射率(n_o)不断接近,使对光的散射逐渐减小,透射光强逐渐增加。然而,没有电极部分的聚合物分散液晶条带始终处于对光的强散射状态,因此它充分光栅的作用,其实质上是一种夫琅和费衍射栅。当多个光束透过此栅时,它对这些光束产生了相移。透过的光束间又互相干涉,于是就可看到图中给出的衍射花样。

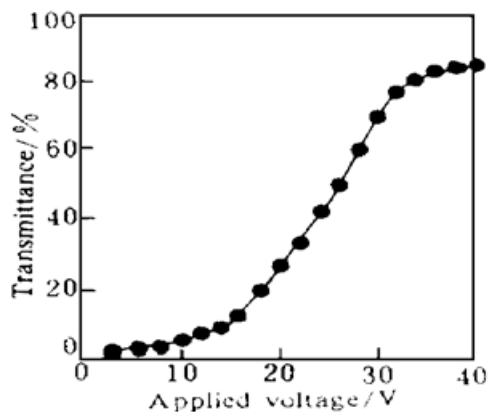


Fig. 3 The relationship between the applied voltage and transmittance of PDLC grating

其次,还研究了聚合物分散液晶栅衍射光斑的偏振特性。在样品地屏之间再放一偏振片,并沿顺时针方向连续旋转,发现所有级次光斑的强度均同步地强弱发生变化,但并不出现光强减为零的现象,说明它是椭圆偏振的,这是由于光束通过液晶微粒时产生光学相延迟的缘故。

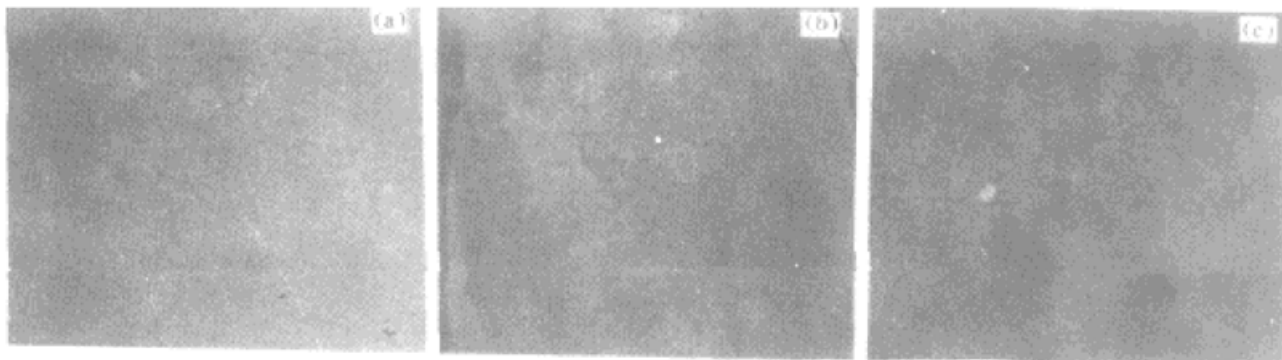


Fig. 4 The diffraction pictures of PDLC grating driven at voltages of (a) 5 V, (b) 12 V and (c) 35 V

当所加的电压比阈值电压(10 V)稍高时,透过的光强很弱,由于 80% 以上的衍射光能集中在零级和两个第一级次的光斑上,所以首先只能看到图 4(b)的结果,而且在此阈值电压附近改变电压时,它们的光强幅度可被调节(通过屏幕亮度计可测量)。当所加的电压达到饱和时(35 V),光的透过率可达到极大值,因此可看到更高级次的衍射斑,在本实验中可以观察到五个衍射级次,如图 4(c)所示。由于使用的激光功率比较小,更高的衍射能级因光强太弱而没能观察到,因此提高光源的功率可增加衍射极次光斑的强度。

结 论 通过选择与基体折射率匹配较好的向列液晶材料制备了聚合物分散液晶光栅, 研究了样品栅的光电特性, 实验发现不仅衍射光斑的强度和衍射的级次可电场调控, 而且它也能把入射光的线性偏振态变为椭圆偏振态。作为光学器件, 这种栅可在光学耦合器、光控开关、投影显示以及与聚合物分散液晶光学特性相关的衍射光学等方面的应用具有广泛的前景。同时这种器件的衍射图案还可用于与聚合物分散液晶光学特性相关的衍射光学、散射光学的研究领域。

参 考 文 献

- [1] N. Konforti, E. Marom, S-T. Wu, Phase-only modulation with twisted nematic liquid crystal spatial light modulators. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(22) : 251~ 253
- [2] M. W. Fritsch, C. Kohler, G. Hass *et al.*, Diffraction properties of rectangular phase gratings in a liquid crystal phase modulator. *Mol Cryst. Liq Cryst.*, 1991, **198**(1) : 1~ 14
- [3] Y. Hori, K. Asai, M. Fukai, Field-controllable liquid crystal phase grating. *IEEE Trans. Electron. Devices*, 1979, **ED-26**(11) : 1734~ 1737
- [4] Zhan He, Toshiaki Nose, Susumu Sato, Diffraction and polarization properties of a liquid crystal grating. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(6A) : 3529~ 3530
- [5] R. L. Sutherland, V. P. Tondiglia, L. V. Natarajan *et al.*, Electrically switchable volume gratings in polymer dispersed liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(9) : 1074~ 1076
- [6] S. J. Klosowica, Edward nowinowski-Kruszelnicki, PDLC diffraction grating. *Proc. SPIE*, 1994, **2372** : 367~ 3670

Diffraction Properties of a Polymer Dispersed Liquid Crystal Grating

Ren Hongwen Huang Ximin Wang Zongkai Ma Kai

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

(Received 22 March 1997; revised 16 June 1997)

Abstract A novel grating device composed of a polymer dispersed liquid crystal (PDLC) film and a periodic striped electrode structure has been demonstrated. Due to PDLC electrooptical properties, this grating can cause scattering or diffraction of an incident light dependent upon the applied voltage. i. e. it is adjustable by electric field. Results show that when the applied voltage is higher than its threshold voltage, both diffraction light intensities and visible orders can be controlled electrically. Moreover, the linear polarization state of the incident light can be changed into an elliptical polarization state.

Key words nematic liquid crystal, polymer dispersed liquid crystal, matching of refractive index, diffraction grating.