

文章编号: 0253-2239(2010)s100312

基于聚合物分散液晶光栅的电控光斩波器

蒋妍梦 郑继红 黄爱琴 王艇艇 孙国强 庄松林

(上海理工大学光学信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要 介绍了聚合物分散液晶的形成过程和电光特性。用全息法制备了聚合物分散液晶光栅(H-PDLCG),并设计了相应的控制电源系统,在此基础上制作并研究了单通道和双通道基于聚合物分散液晶光栅的电控光斩波器。实验结果表明,基于聚合物分散液晶光栅的电控光斩波器具有响应速度快、无运动部件、易于操作和集成等特点,其通过控制界面改变调制频率和占空比的特点更是传统机械斩波器所不具备的。该器件在调频光学系统中有着良好的应用前景。

关键词 光学器件;光斩波器;聚合物分散液晶光栅;体全息光栅

中图分类号 TN761.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201030.s100312

Optical Chopper Based on Polymer Dispersed Liquid Crystal Gratings

Jiang Yanmeng Zheng Jihong Huang Aiqin Wang Tingting

Sun Guoqiang Zhuang Songlin

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract The fabrication process of holographic polymer dispersed liquid crystal (H-PDLC) and its characteristics are introduced. Optical chopper based on H-PDLC gratings is put forward and experimentally conducted. The specific electrical driving source and controlling system are specially designed for H-PDLC based chopper. The one-channel and two-channel optical choppers based on H-PDLC gratings have been experimentally researched. According to experimental results, the new device proposed enjoys benefits such as rapid response, being without moving parts, being easy to be operated and integrated etc. The convenience of changing its frequencies and duty ratio is its biggest advantage over mechanical ones, which promises the new device has a good application prospect.

Key words optical devices; optical chopper; holographic polymer dispersed liquid crystal grating (H-PDLCG); volume holographic grating

OCIS codes 230.2090; 230.3720; 090.7330

1 引 言

光斩波器是光学工程领域中的常用器件。传统的斩波器多为机械斩波器,它虽有衰减范围大、无波长选择性、通用性好等优势,但也存在很多局限性。首先,体积较大,不容易实现多通道同步斩波,不易于集成化。其次,机械振动易产生大量噪音。斩光

盘中心偏离电机轴、斩光盘与电机轴不垂直等原因,以及斩波器在工作过程中产生的机械振动,都使得机械斩波器的稳定性不好,容易出现相位抖动现象^[1]。并且它的斩波频率受电机转速所限,难以做到 10 kHz 以上。此外,大多数的机械斩波器只能实现占空比为 1:1,频率可调的方波斩波。要实现

收稿日期: 2010-08-20; **收到修改稿日期**: 2010-11-02

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(60801041)和上海市科技启明星项目(10QA1405100)资助课题。

作者简介: 蒋妍梦(1988—),女,硕士研究生,主要从事信息光学及聚合物分散液晶等方面的研究。

E-mail: jym828@citiz.net

导师简介: 郑继红(1975—),女,博士,副教授,主要从事聚合物分散液晶、全息光学及光学信息处理等方面的研究。

E-mail: jihongzheng@sina.com

不同波形的斩波或改变占空比就必须重新设计斩光盘,改变开槽形状、间隔和数量,因而导致了成本较高。以实际应用中最为常用、最便于解调的正弦波为例,在不使用特殊斩光盘的前提下,由于占空比为1:1的方波信号展开成傅里叶级数后包含基波和高次谐波,因而在利用机械斩波方波调制后,需再将调制信号通过低通滤波器,仅保留它的基波,才能得到正弦信号。为了克服这些不足,本文提出了基于聚合物分散液晶光栅的电控光斩波器设计并进行了初步实验研究。

2 实验原理

聚合物分散液晶光栅(H-PDLCG)作为一种新型光电材料,近年来引起了广泛关注,出现了不少基于该材料的应用,如可调光衰减器、可调增益均衡器、变焦全息透镜^[2~4]等。但这些应用只是利用了H-PDLCG材料的衍射强度可调的特点,却并没有利用到它对驱动电信号反应迅速的特点。此前也并未出现过将该材料用于制作电控光斩波器的相关研究。

本文提出的基于聚合物分散液晶光栅的电控光

斩波器不仅利用了材料本身反应时间短等优点,而且具有响应速度快、易于集成和易于操作等特点。

聚合物分散液晶光栅是由预聚物和液晶等材料的混合物在全息光路中进行曝光所形成的。由于光致聚合反应在亮条纹处的发生速度快于暗条纹处,因而预聚物朝亮条纹扩散,液晶分子向暗条纹处扩散,最终两者发生完全的相分离,形成富聚合物区和富液晶区周期性排列的光栅结构^[5,6]。H-PDLCG材料具有空间频率高、衍射效率高、制作简便等特点。在不加电场和加上电场的两种情况下,它能够对入射光分别进行衍射与透射,呈现“开”态和“关”态两种状态^[7]。基本原理如图1(a)所示,不加外电场时,材料中的光栅结构会使通过它的光束发生衍射;加上外电场后,材料中的液晶微滴的光轴取向发生改变,液晶的寻常折射率与聚合物的折射率相匹配,通过材料的光束就能直接透射,如图1(b)所示。由于是纳米量级的液晶器件,响应速度非常快,可以达到微秒量级,同时工作时认为是偏振无关器件,不需要使用偏振片,这是与目前普遍使用的纯液晶器件的一个区别^[8]。

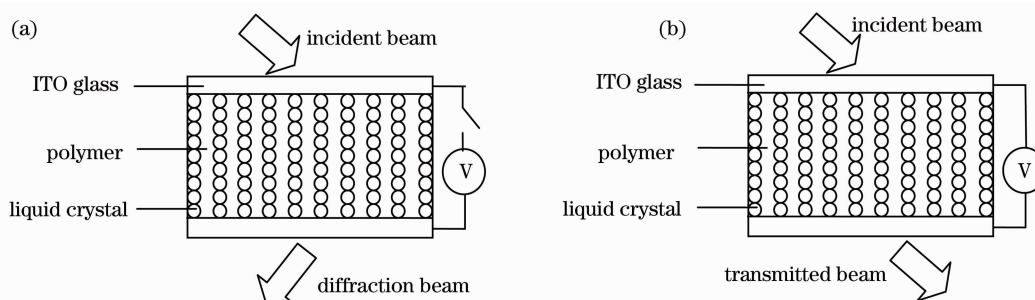


图1 H-PDLCG材料的电光特性。(a)未加驱动电压时,(b)加上驱动电压时

Fig.1 Photoelectronic characteristics of H-PDLCG. (a) without driving voltage, (b) with driving voltage

3 基于聚合物分散液晶光栅的制作

聚合物分散液晶光栅材料主要由液晶、预聚物、光引发剂、共引发剂和交联剂组成,并可添加活化剂以降低材料的驱动电压。实验中的配方材料为清华亚王液晶公司生产的TEB300向列液晶材料,美国UCB公司生产的EB8301预聚物材料,美国Aldrich公司生产的交联剂N-vinylpyrrolidone(NVP),引发剂rose bengal(RB)和少量的共引发剂N-phenylglycine(NPG)以及美国Chemistry公司生产的S-271作为活化剂。各成分的比例对所制备材料的衍射效率和电光特性有很大影响^[9,10]。实验使用的比例是:液晶含量占混合物总质量的39.9%,预聚物占39.9%,活化剂占12%,交联剂占8%,光引发剂占0.2%,共

引发剂少量。在遮光条件下,加热混合物至60℃~70℃,使其处于各向同性状态。在充分搅拌并用超声波乳化使其均匀混合后,将混合物注入液晶盒中。

液晶盒由两片相同的表面涂覆有铟锡氧化物(ITO)的导电玻璃构成,每片大小约为18mm×10mm。液晶盒的厚度由玻璃微粒进行控制,一般为5~20μm。待混合物的温度降至40℃~50℃,将液晶盒置于图2所示的全息光路中进行曝光,通过光致聚合反应使聚合物和液晶相分离。实验中,使用514nm波长的氩离子激光器,照射到材料表面的功率为20mW左右,光斑半径为1cm,因此光强约为6.37mW/cm²,曝光时间1~2min。体全息光栅的空间频率可通过改变两束记录光之间的夹角

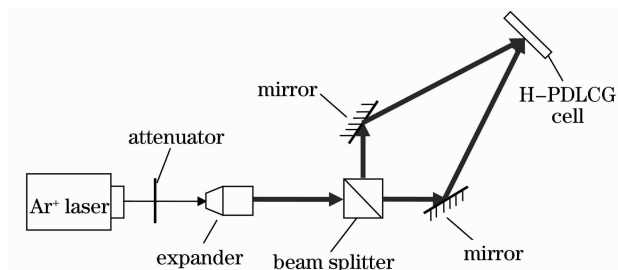


图 2 全息光路示意图

Fig. 2 Holographic light path schematic

来改变,实验中空间频率控制在 800 lp/mm 左右。

固化后的液晶盒夹在特制的液晶盒支架上,支架上与液晶盒直接接触的铜片与专门设计的驱动电源相连接。在制作光斩波器阵列时,使用的是组合法。它的优点是可以任意组装所需的阵列结构,便于制作,节约成本。

驱动电源的输出信号的包络线设计为方波信号,以实现方波调制功能。要使 H-PDLCG 光斩波器维持“开”态,一方面,电压幅值必须大于材料的阈值电压^[11],另一方面,驱动电压须为交流,这样可避免液晶材料长时间受电压作用,造成击穿。材料的阈值电压约为 10 V,而实际实验中使用的是幅值 200 V,频率 1 kHz 的正弦波。通过给驱动电源系统中的单片机发送指令来设置正弦波群的开启时间、关闭时间和重复次数,以此改变方波信号的频率、占空比以及光斩波器的工作时间。对于光斩波器阵列,实验中每一通道连接各自的驱动电源,以实现各通道间的完全独立。

4 基于 H-PDLCG 光斩波器的性能测试及分析

将制作好的光斩波器阵列放置在图 3 所示的光路中进行测试。实验中使用的是波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器。测试过程中确保入射光与液晶盒表面的夹角刚好为布拉格角,此时透过材料的衍射光(图 3 中虚线表示)最强,透射光(图 3 中实线表示)最弱,光栅的衍射效率最高,斩波效果相应地也为最好。用光探测器探测衍射光的强度变化情况。最后将驱动电压的信号和光探测器输出的信号分别接入示波器进行观测。

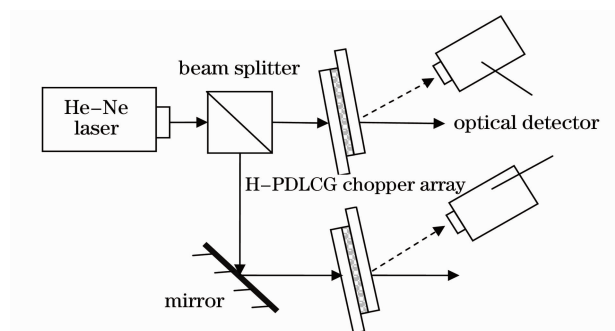


图 3 测试 H-PDLCG 光斩波器阵列性能的光路示意图

Fig. 3 Schematic for performance testing of optical chopper array based on H-PDLCG

4.1 开关时间的测量

图 4(a)和图 4(b)中,上部曲线为驱动电压信号,下部曲线为光探测器探测到的光束强度信号。其中横轴为时间轴,一大格代表 1 ms。可以看到该实验中 H-PDLCG 光斩波的开启时间约 100 μ s,而关闭时间约为 600 μ s。

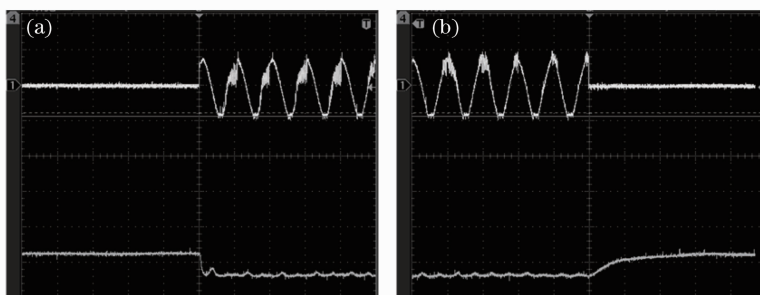


图 4 基于聚合物分散液晶光栅光斩波器的开关时间。(a)开启时间,(b)关闭时间

Fig. 4 Switch time of optical chopper based on H-PDLCG. (a) switch-on time, (b) switch-off time

4.2 与机械斩波器的比较

在图 5 中,将机械斩波器和 H-PDLCG 光斩波器的响应时间进行比较,图 5(a)和图 5(b)中的斩波频率同为 50 Hz,占空比同为 1:1。对于机械斩波器我们使用了类似于图 3 的光路,区别在于,入射光与

机械斩波器的斩光盘是相垂直的。可以观察到,机械斩波器的响应时间明显更长,光探测器探测到的经机械斩波器斩波的信号较它的驱动信号落后了约 5 ms,而 H-PDLCG 光斩波器基本同步。

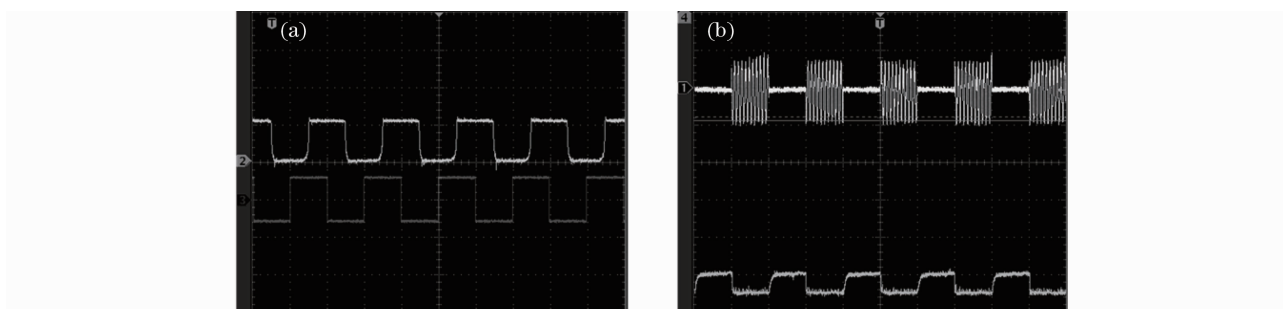


图 5 机械斩波器与 H-PDLCG 光斩波器的开关时间的比较。(a)机械斩波器的驱动电压和斩波效果，
(b) H-PDLCG 光斩波器的驱动电压和斩波效果

Fig. 5 Comparison between optical chopper based on H-PDLCG and mechanical ones driving voltage and experimental result of (a) mechanical optical chopper, (b) optical chopper based on H-PDLCG

4.3 改变斩波频率及占空比

基于 H-PDLCG 的光斩波器斩波频率和占空比具有很大的灵活性，只需要在驱动电源控制界面输入数据，改变驱动电源的开启时间和关闭时间即可。

如图 6(a)和 6(b)所示分别为 50 Hz 占空比 1:1 和占空比 3:1 的斩波结果。而且，基于 H-PDLCG 的光斩波器几乎可以实现任何的占空比设置，而不需要像机械斩波器对斩光盘作更改。

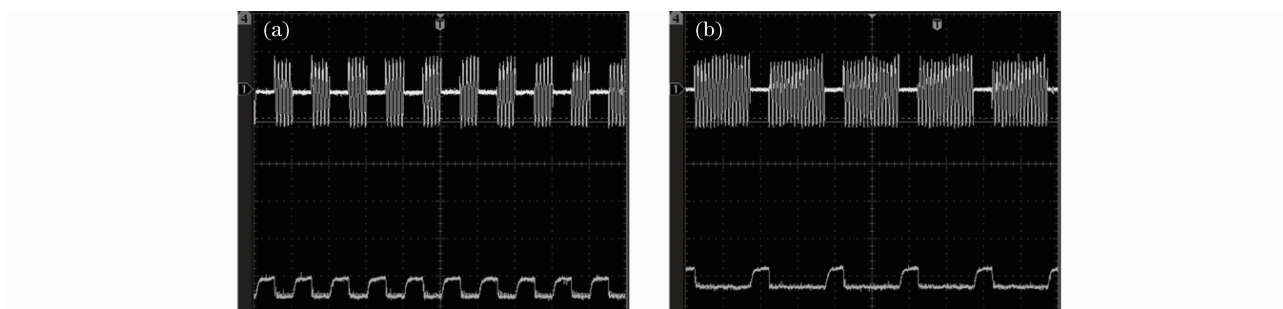


图 6 不同频率和占空比时的驱动电压和斩波效果。(a)斩波频率为 100 Hz 占空比为 1:1，
(b)斩波频率为 50 Hz，占空比为 3:1

Fig. 6 Driving voltages and experimental results of different chopping frequency and different duty ratio.

(a) 100 Hz, 1:1; (b) 50 Hz, 3:1

4.4 双通道基于聚合物分散液晶光栅光斩波器阵列

图 7 所示是由两片液晶盒组成的 1×2 光斩波器阵列的实验结果图。可以看到，H-PDLCG 光斩波器阵列的每个通道可以做到斩波频率和占空比的设置都完全独立，互不干扰。目前市场上的双通道

机械斩波器的两个通道之间的频率往往呈倍数关系，如 5 倍。若需要单独控制机械斩波器的各个通道的斩波频率和占空比，就不得不使用多个斩波器，不仅需要占用大量空间，也使系统变得复杂。而基于 H-PDLCG 的光斩波器阵列能做到集成化控制，类似于液晶显示器的单元阵列般结构。因此，H-PDLCG 光斩波器阵列有望解决机械斩波器工作中所存在的各通道间的独立性和集成度这一对矛盾。

4.5 基于聚合物分散液晶光栅光斩波器的不足

通过实验研究发现，H-PDLCG 光斩波器也存在自身不足。这主要表现在：聚合物分散液晶材料制备的配方和曝光时间会影响材料的电光特性。例如图 7 中不同通道的斩波幅度的不同正是由制作条件的略微不同造成的。另外，驱动电源输出的正弦波形对斩波效果也有影响。图 7 中第二通道电源信号的失真导致了电光特性曲线的变化。实验中，由

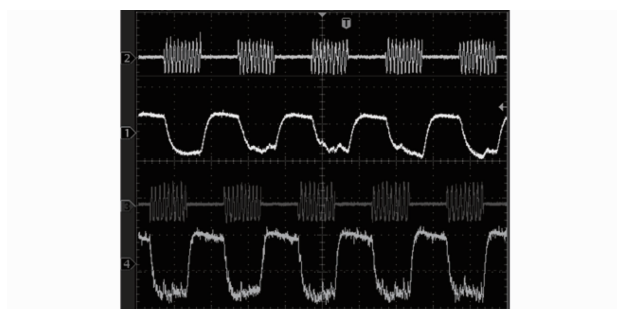


图 7 双通道 H-PDLCG 光斩波器阵列的驱动电压和斩波效果

Fig. 7 Driving voltages and experimental results of two-channel optical chopper array based on H-PDLCG

于使用的正弦波发生芯片对工作温度非常敏感,因此在室温低于 25 ℃ 的情况下很容易发生正弦波信号失真的情况,此时光探测器探测到的信号中材料呈“关”态时的波形就有毛刺,显得不够平滑。此外,聚合物分散液晶光栅材料的衍射效率在理论上虽接近 100%^[12],但目前在实验中却难以实现。这就决定了 H-PDLCG 光斩波器的对比度的达不到机械斩波的从 0~100% 的调制。目前的情况会制约 H-PDLCG 光斩波器的应用范围。

5 结 论

本文提出并实验研究了基于聚合物分散液晶光栅的电控光斩波器。应用聚合物分散液晶光栅这一新型材料的电光特性,该斩波器具有制作更简单,响应速度快,更易于改变斩波频率和占空比,易于集成等特点。并且可实现阵列式多通道斩波功能,具有各通道完全独立,易于集成化和小型化的优点。但实验结果也反映出材料处于“关”态时,衍射效率不能降到零,插入损耗较大等缺点。相信随着 H-PDLCG 材料和工艺的进一步完善和提高,基于 H-PDLCG 的光斩波器作为一种新兴的斩波器件有望在光学调频系统中得到应用。

参 考 文 献

- 1 Sun Bengui. Design of a high stability light chopper based on PLL [J]. *Electronic Engineer*, 2005, **31**(1): 5~7
孙本贵. 基于锁相环的高稳定性斩光器的设计[J]. *电子工程师*, 2005, **31**(1): 5~7
- 2 Zheng Jihong, Gu Lingjuan, Zhang Xingde *et al.*. Manufacture of polymer dispersed liquid crystal variable optical attenuator[J]. *Chinese J. Scientific Instrument*, 2006, **27**(8): 877~880
郑继红, 顾玲娟, 张兴德等. 聚合物分散液晶材料可调光衰减器的设计与制作[J]. *仪器仪表学报*, 2006, **27**(8): 877~880
- 3 Ding Weiyin, Cai Jiguang, Shen Guotu *et al.*. Tunable gain equalizer base on the H-PDLC grating [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(5): 511~515
丁维银, 蔡继光, 沈国土等. 基于聚合物分散液晶全息光栅的可调增益均衡器[J]. *光子学报*, 2005, **34**(5): 511~515
- 4 Zheng Jihong, Zhong Yangwan, Cai Mingrong *et al.*. Fabrication of electrical-controlled polymer dispersed liquid crystal switchable-focus holographic lens [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(6): 1107~1110
郑继红, 钟阳万, 蔡明荣等. 电控聚合物分散液晶变焦全息透镜制作[J]. *光学学报*, 2007, **27**(6): 1107~1110
- 5 R. L. Sutherland, L. V. Natarajan, V. P. Tondiglia *et al.*. Bragg gratings in an acrylate polymer consisting of periodic polymer-dispersed liquid-crystal planes [J]. *Chemistry of Materials*, 1993, **5**(10): 1533~1538
- 6 L. V. Natarajan, R. L. Sutherland, V. P. Tondiglin *et al.*. Electrically switchable volume gratings in polymer-dispersed liquid crystals [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(9): 1074~1076
- 7 Zhang Bin, Liu Yanjun, Xu Keshou. Research on photoelectronic characteristics of holographic polymer dispersed liquid crystal devices [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(6): 1850~1855
张斌, 刘言军, 徐克瑞. 全息聚合物弥散液晶器件电光特性的研究[J]. *物理学报*, 2004, **53**(6): 1850~1855
- 8 T. J. Bunning, L. V. Natarajan, V. P. Tondiglia *et al.*. Holographic polymer-dispersed liquid crystals (H-PDLCs) [J]. *Annu. Rev. Mater. Sci.*, 2000, **30**: 83~115
- 9 J. Klosterman, L. V. Natarajan, V. P. Tondiglin *et al.*. The influence of surfactant in reflective H-PDLC gratings [J]. *Polymer*, 2004, **45**(21): 7213~7218
- 10 Ma Ji, Liu Yonggang, Hu Lifa *et al.*. Effect of cross-linking agent on polymer/liquid crystal gratings [J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2005, **20**(4): 273~277
马骥, 刘永刚, 胡立发等. 交联剂对聚合物/液晶光栅的影响 [J]. *液晶与显示*, 2005, **20**(4): 273~277
- 11 B. G. Wu, J. H. Erdmann, J. W. Doane. Response times and voltages for PDLC light shutters [J]. *Liq. Cryst.*, 1991, **5**: 327~330
- 12 M. Kulishov, S. Sarkisov, Y. Boiko *et al.*. Switchable optical element with Bragg mode diffraction [J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(11): 759~761