

文章编号 1004-924X(2011)07-1510-05

电场作用下染料掺杂液晶器件的激光辐射

岱 钦, 乌日娜*, 杨 健, 徐送宁, 全 薇
(沈阳理工大学 理学院, 辽宁 沈阳 110159)

摘要:通过在向列相液晶 TEB30A 中掺杂激光染料 DCM 和手性剂 CB15 制作了平面排列态液晶器件。采用 Nd : YAG 倍频 532 nm 波段激光作为泵浦光源, 测量分析了平行于液晶器件表面方向的受激辐射光谱。当泵浦光较弱时, 观察到了染料 DCM 较宽的荧光辐射谱; 随着泵浦光的逐渐增强, 辐射谱带逐渐变窄, 辐射峰中心波长约为 610 nm, 最小半峰全宽(FWHM)为 11 nm。观察了在器件玻璃基板上施加交流电场后激光辐射的变化情况, 结果显示, 当外加电压 < 9 V 时, 辐射强度随着电压的增大逐渐减弱; 当外加电压 > 9 V, 辐射强度迅速衰减, 谱线变宽, 显示了较好的电场控制特性。文章认为这种现象主要是由于电场作用下液晶分子取向发生变化所致。

关 键 词:激光辐射; 染料掺杂; 扭曲向列相液晶; 电场控制

中图分类号: TN241; TN141 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111907.1510

Laser emission of dye-doped liquid crystal devices under applying voltage

DAI Qin, WU Ri-na*, YANG Jian, XU Song-ning, QUAN Wei

(School of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

* Corresponding author, E-mail: wurina2007@126.com

Abstract: A planar texture device was prepared by doping a laser dye (DCM) and a chiral compound (CB15) into a nematic liquid crystal TEB30A. By using a second harmonic Q-switched Nd : YAG pulsed laser ($\lambda=532$ nm) as pumping source, the emission spectrum of the device surface in the horizontal direction was measured and analyzed. It shows that a wide emission spectrum can be observed when the pump light is weak. With the increase of pump light, the stimulated emission spectrum is narrowed, and its center wavelength with a least Full Width of Half Maximum (FWHM) about 11 nm is at 610 nm. Moreover, by applying a AC voltage along the perpendicular direction to the surface of the device, the laser emission was also observed. When the applying voltage is less than 9 V, the lasing intensity is weakened with the increase of the voltage. When the applying voltage is greater than 9 V, the emission intensity is decreased sharply. These results can be attributed to the liquid crystal alignment changed on the applying electric field.

Key words: laser emission; dye doping; cholesteric liquid crystal; electric field control

收稿日期: 2010-07-15; 修订日期: 2010-09-13.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60777011); 辽宁省自然科学基金资助项目(No. 20102191); 辽宁省教育厅科技项目(No. L2010465)

1 引言

随机激光辐射是无序增益介质中的受激辐射现象,是一种不同于传统激光的新型光源。该光源不需要外加谐振腔,具有制备简单、体积小等优点。液晶材料具有许多特有的物理特性及光学特性^[1-2],例如,在压力、温度、电场等条件下取向会发生变化;另外具有双折射特性等。因此,掺杂增益介质的液晶随机激光器件在光子集成、平面显示、医疗等众多领域可望获得有价值的应用。

液晶随机激光辐射可通过由一定波长的激光激发掺杂染料液晶器件获得,近年来,已经成为了液晶研究领域的新方向之一^[3-4]。混合激光染料的扭曲向列相液晶(胆甾相液晶)、液晶溶液、近晶相液晶以及聚合物分散液晶器件,在一定泵浦光的作用下均能实现激光辐射^[5-12]。

本文通过在向列相液晶中掺杂手性剂 CB15 和激光染料 DCM,制作了上下玻璃基板取向层反平行摩擦处理的器件,实现了扭曲向列相液晶平面排列态。在 Nd:YAG 倍频 532 nm 波长激光的泵浦作用下,测量了平行器件表面方向辐射光谱,讨论了该方向的受激辐射特性和机理,分析了外加电场对辐射特性的影响。给出的理论分析和实验结果将为此领域的研究提供有益的参考。

2 实验

将聚酰亚胺(PI)取向膜涂覆在清洗干净的 ITO 玻璃基板上,经过固化和摩擦取向处理后,使上下玻璃基板的摩擦方向反平行,制作液晶盒,喷洒隔垫物,控制液晶盒厚度;在向列相液晶 TE30A 中掺杂一定比例的手性剂 CB15 和染料 DCM,混合均匀;把混合材料加热到液晶各向同性相,注入制作好的液晶盒中。

利用偏光显微镜观测液晶盒中液晶分子排列情况,利用紫外可见分光光度计测量器件的透射光谱,分析器件的布拉格反射特性(选择反射特性);以脉冲重复频率为 5 Hz 的全固态 Nd:YAG 倍频 532 nm 波长激光作为泵浦光源,利用光纤光谱仪器,测量器件的辐射光谱特性。测量

实验装置如图 1 所示。光纤光谱仪的探测光纤平行于 ITO 玻璃基板表面方向放置,外加电场的方向垂直于 ITO 玻璃基板表面方向,电压为 50 Hz 交流电压。

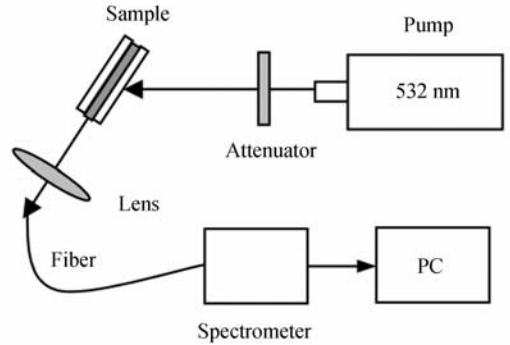


图 1 辐射光谱测量装置

Fig. 1 Experimental setup for measuring emitted spectra

3 实验结果和讨论

利用偏光显微镜观察器件照片如图 2 所示,在偏光显微镜下观察有许多不同规则形状的区域,晶畴。畴之间有暗色线状边界,晶界。可以判断,器件形成了典型的扭曲向列相液晶平面排列态(planar texture)^[13]。处于平面排列态时,可以认为其由很多液晶薄层重叠而成。每个液晶薄层中,液晶分子的指向矢(光轴)方向一致。相邻层的液晶分子光轴扭曲一固定角度,这样液晶分子沿着螺旋轴(垂直于器件表面方向)逐渐发生扭转,形成螺旋周期排列。器件分子排列模型如图 3 所示。由于扭曲向列相的这种螺旋周期排列,使其具有布拉格反射特性。选择反射中心波长为 $\lambda_0 = \langle n \rangle p$,反射带宽为 $\Delta\lambda = \Delta n p$ 。其中 $\langle n \rangle = (n_e + n_o)/2$, $\Delta n = n_e - n_o$ ($n_e = 1.692$, $n_o = 1.522$), p 为螺距。测得器件透射谱如图 4 所示,可以看出较明显的选择反射带和反射与扭曲向列相液晶手性相同的圆偏振光波。由于在选择反射带中与扭曲向列相液晶手性相同的圆偏振光被禁止传播,因此,扭曲向列相液晶被誉为自组装的一维光子晶体,选择反射带即为光子禁带。

利用图 1 所示的实验装置测量样品器件的辐

射光谱,当泵浦能量较低时,出现染料 DCM 的荧光光谱,谱线较宽。随着泵浦能量增大,在 610 nm 附近出现了尖锐的辐射峰,其线宽随泵浦能量的增大变窄,最小半峰全宽(FWHM)达到约 11 nm。由于扭曲向列相液晶螺旋周期排列,在外加泵浦光作用下,激光染料 DCM 受激辐射光子在液晶分子层间多重反射,得到干涉加强。泵浦光强超过一定阈值时,出现激光辐射。器件液晶层的折射率大于玻璃基板折射率($n_g=1.50$),构成了波导腔结构。产生的激光辐射可以沿着波导腔传输,从而沿着平行器件表面方向出射,即 Leaky 模式^[12,14]。

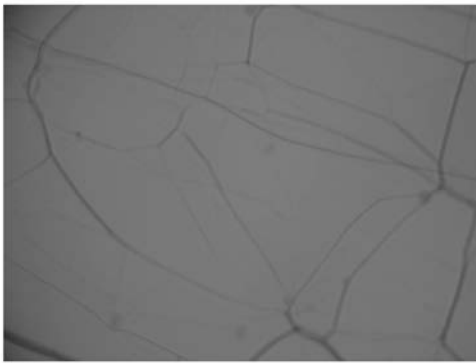


图 2 液晶器件的显微镜照片

Fig. 2 Polarization micrograph of liquid crystal cell

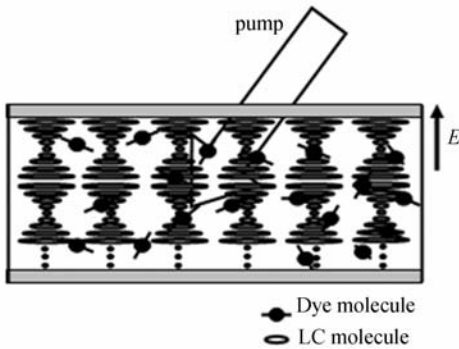


图 3 平面织构态分子排列模型

Fig. 3 Molecular alignment mode of planar state

在器件中施加外加交流电场(垂直于器件玻璃基板表面方向),测量了平行与器件表面方向的辐射谱变化情况,测量结果如图 5 所示。可以看出,随着电压的增大,器件辐射强度减弱,光谱线宽增大。电压小于 9 V 时,变化比较缓慢;而从 9 V 开始,器件辐射强度迅速衰减,半峰全宽

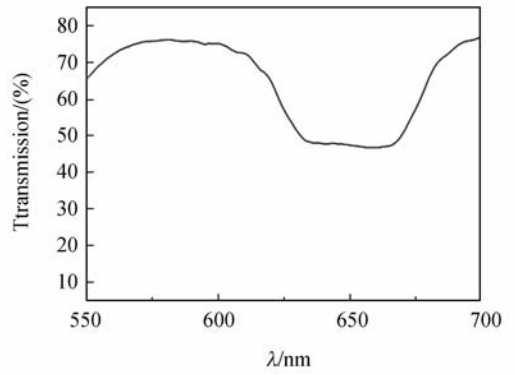


图 4 器件透射谱

Fig. 4 Transmission spectra of liquid crystal cell

(FWHM)也突然变大,可以认为激光辐射被关闭;继续增大电压,器件辐射强度变化很小。

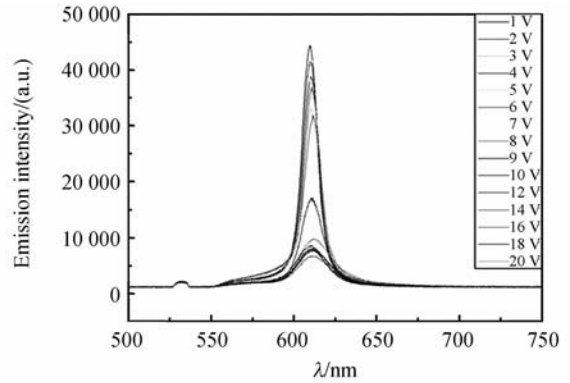


图 5 辐射谱线宽随外加电压的变化

Fig. 5 Emission spectra as a function of voltage

分析认为在外加电场作用下,器件液晶分子逐渐趋于沿着电场方向取向,其平面排列态的螺旋周期排列结构被逐渐破坏,布拉格反射特性减弱,随之在泵浦光作用下,器件内受激辐射光子由多重反射获得干涉加强的几率变小,这是器件激光辐射强度减弱,线宽变大的直接原因^[15]。

4 结 论

本文通过在向列相液晶 TEB30A 中掺杂激光染料和手性剂制作了液晶器件,经过取向层反平行摩擦处理,实现了扭曲向列相液晶平面排列态。制备了掺杂染料的扭曲向列相液晶器件,并在脉冲 Nd : YAG 倍频 532 nm 泵浦光的作用下分析了液晶在平行器件表面方向的受激辐射光谱。由激光染料 DCM 提供增益,受激辐射光子

在螺旋周期排列的液晶分子层间多重反射,反馈放大大形成了激光辐射。在垂直器件表面方向施加交流电场,测量分析了器件辐射光谱的变化。结果显示,随着电压的增大,出射激光强度减弱,光

谱线宽增大。当电压 $<9\text{ V}$ 时,出射激光强度变化缓慢;而电压 $>9\text{ V}$ 时,器件平面排列态的变化导致器件布拉格反射物性被破坏,激光辐射迅速被关断。

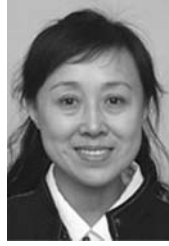
参考文献:

- [1] 李文萃,郑致刚,刘永刚,等. 高对比度低压驱动全息聚合物分散液晶光栅[J]. 光学精密工程, 2010, 18(7):1504-1510.
LI W C, ZHENG ZH G, LIU Y G, *et al.*. High contrast and low threshold holographic polymer dispersed liquid crystal grating [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7):1504-1510. (in Chinese)
- [2] 张颖,赵海博. 带有补偿器的液晶相位可变延迟器[J]. 光学精密工程, 2009, 17(8):1798-1803.
ZHANG Y, ZHAO H B. Liquid crystal variable retarder attached with compensator [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(8):1798-1803. (in Chinese)
- [3] 杨傅子. 近期液晶研究中的几个新方向—液晶非显示应用基础研究的进展[J]. 物理学进展, 2008, 28(2):107-128.
YANG F Z. New directions in recent liquid crystal studies—The progress in foundational research of non-display application of liquid crystals[J]. *Progress in Physics*, 2008, 28(2):107-128. (in Chinese)
- [4] 何本桥,廖青,黄勇. 胆甾型液晶溶液膜中的随机激光[J]. 中国激光, 2008, 35(10):1477-1480.
HE B Q, LIAO Q, HUANG Y. Random lasing in a cholesteric liquid crystal polymer solution [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, 35(10): 1477-1480. (in Chinese)
- [5] BLINOV L M, CIPPARRONE G, MAZZULLA A, *et al.*. Quasi-in-plane leaky modes in lasing cholesteric liquid crystal cells[J]. *J. Appl. Phys. Lett.*, 2008, 104:103115-1-7.
- [6] MASANORI O, MASAHIRO K, DIRK G, *et al.*. Mirrorless lasing in a dye-doped ferroelectric liquid crystal[J]. *Adv. Mater.* 2002, 14(4):306-309.
- [7] ANDRO C, GURAM C, GIA P. Phototunable lasing in dye-doped cholesteric liquid crystals [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 83(26):5353-5355.
- [8] LUCCHETTA D E, CRIANTE L, FRANCES-CANGELI O, *et al.*. Compact lasers based on HPDLC gratings [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2005, 441:97-109.
- [9] YOHKO H, MASAKI M, TOMONARI O, *et al.*. Photochemical modulation of the wavelength of lasing from a dye-doped cholesteric Liquid Crystal [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2005;443:87 - 94.
- [10] HUANG Y H, ZHOU Y, WU H T. Lasing in dye - doped photonic liquid crystal devices [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2006, 453:251-262.
- [11] ZHOU Y, HUANG Y H, RAPAPORT A, *et al.*. Experimental investigation of laser emission of dye-doped cholesteric liquid crystals with a cholesteric reflector [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2006, 454:377-385.
- [12] BIINOV L M, CIPPARRONE G, VIADIMIR V L. Lasing in cholesteric liquid crystal cells: competition of Bragg and Leaky modes [J]. *J. Appl. Phys. Lett.*, 2007, 101:053104-1-6.
- [13] 张俊,李青,韦静,等. 反射型胆甾相液晶显示器件多畴结构的形成及相变的研究[J]. 光电子技术, 2005, 25(4):226-228.
ZHANG J, LI Q, WEI J, *et al.*. Research on the formation and phase transition of reflective CHLCD Multi-domain Structure [J]. *Optoelectronic Technology*, 2005, 25(4):226-228. (in Chinese)
- [14] BLINOV L M, LAZAREV V V, PALTO S P. Mirrorless lasing from nematic liquid crystals in the plane waveguide geometry without refractive index or gain modulation [J]. *Applied Physics Letters*, 2006, 89:031114.
- [15] CHANG S H, CAO H, HO S T. Cavity Formation and Light Propagation in Partially Ordered and Completely Random One-Dimensional Systems [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2003, 39:364-374.

作者简介:



岱 钦(1977—),男,内蒙古人,博士,副教授,2007年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事激光器件与技术方面的研究。E-mail: bdaiqin@163.com



徐送宁(1962—),女,辽宁人,博士,教授,2005年于东北大学获得博士学位,主要从事激光光谱技术及应用方面的研究。E-mail: xsn_tiger@yahoo.com.cn



乌日娜(1978—),女,内蒙古人,博士,副教授,2005年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事液晶器件与物理方面的研究。E-mail: wurina2007@126.com



全 薇(1964—),女,辽宁人,博士,教授,2004年于南开大学获得博士学位,主要从事信息光学方面的研究。E-mail: nkquanwei@163.com



杨 健(1983—),男,四川人,硕士研究生,2007年于沈阳理工大学获得学士学位,主要从事激光和物质相互作用方面的研究。E-mail: yangjian831016@yahoo.cn

● 下期预告

甚高精度星模拟器设计

孙高飞¹, 张国玉¹, 姜会林¹, 郝云彩², 高玉军³

- (1. 长春理工大学, 吉林 长春 130022; 2. 北京控制工程研究所, 北京 100190;
3. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

为了实现对深空光学导航敏感器进行地面标定和精度测试, 研制一套甚高精度星模拟器系统, 要求该系统的星间角距精度优于 $0.2''$ 。采用高精度大口径静态可变目标标准源作为甚高精度星模拟器的核心显示器件来模拟星图, 研制了一种单点可控星图模拟矩阵式 LED 照明系统为其提供光源, 并设计长焦距大视场投影光学系统使模拟星图成平行光出射, 在光学系统出瞳处产生星图, 完成小天体全视场甚高精度星图的模拟。最后, 提出甚高精度星光出射精度的检验方法, 其测量精度理论分析的结果为 $0.14''$ 。该模拟器可用于对光学导航敏感器的地面标定和精度测试。