楔形盒染料掺杂胆甾相液晶激光器研究*

岱钦[1)] 李勇[1)] 乌日娜[1)†] 耿岳[1)] 全薇[1)] 李业秋[1)] 彭增辉[2)] 姚丽双[2)]

1) (沈阳理工大学理学院, 沈阳 110159)

2) (中科院长春光学精密机械与物理研究所, 应用光学国家重点实验室, 长春 130033)

(2012年6月7日收到; 2012年8月1日收到修改稿)

设计制作了楔形盒掺杂激光染料 PM580 的胆甾相液晶器件, 研究了激光辐射行为. 在楔形液晶盒中出现了一系列与楔棱平行的向错线和不同规则形状的晶畴, 胆甾相液晶形成了平面态排列. 采用固体 Nd:YAG 倍频 532 nm 波长激光作为抽运光, 获得调谐精度约 1 nm, 调谐范围约 17 nm 的一维波长可调谐激光器. 楔形盒中, 液晶扭曲力与取向膜表面锚定力相互平衡的过程中胆甾相液晶螺距伸张, 光子禁带位置移动, 从而调谐光子禁带边沿出射激光波长.

关键词: 胆甾相液晶, 楔形盒, 激光辐射

PACS: 42.70.Df, 42.55.Mv **DOI:** 10.7498/aps.62.044219

1 引 言

自从 1998 年 Kopp 等 [1] 实验证明了染料掺杂胆甾相液晶器件中的激光辐射之后, 染料掺杂的胆甾相液晶器件作为一种新型光源、传感器等的应用备受关注. 平面态排列的胆甾相液晶器件具有选择反射特性, 与胆甾相液晶相同螺旋性的圆偏振光被禁止传播. 因此, 被誉为自组装的一维光子晶体 [2], 反射带即光子禁带. 光子禁带中心波长为 $\lambda = \langle n \rangle p$, $\langle n \rangle = (n_{\rm e} + n_{\rm o})/2$, $n_{\rm e}$ 为液晶分子长轴方向的折射率, $n_{\rm o}$ 为液晶分子短轴方向的折射率, p 为螺距. 胆甾相液晶中掺杂激光染料, 在一定抽运光的作用下, 光子禁带边沿处出现激光辐射. 液晶激光器具有制作工艺简单、抽运阈值低、体积小、易于集成等优势 [3]. 目前, 对胆甾相液晶激光器的研究集中在激光辐射机制的理论研究 [4] 以及波长调谐特性的实验研究 [5−10]. 通过外场 (温度、电场、应力等) 作用, 改变分子取向而改变螺距, 使光子禁带红移或蓝移, 可以调谐辐射激光波长. 但在外加温度、电场、应力等的长时间作用下, 容易破坏良好的液晶分子螺旋周期排列 [7], 从而影响出射激光强度和线宽.

本文设计制作了楔形盒染料掺杂胆甾相液晶器件, 测量分析了激光辐射特性. 利用楔形液晶盒中胆甾相液晶螺距呈现梯度变化的特性, 在 532 nm 波长抽运光的作用下, 通过调节样品的位置, 实现了激光波长调谐.

2 实 验

在向列相液晶 TEB30A 中掺杂手性剂 S-811 和激光染料 PM580, 质量分数分别为 29%和 2%, 搅拌均匀. 把 PI 取向膜涂覆在 ITO 玻璃基板上, 高温 300 °C 固化 2 h, 并进行摩擦处理. 上下玻璃基板摩擦方向反平行, 使用 40 μm 隔垫物, 制作楔形液晶盒, 如图 1 所示. 在楔形液晶盒中, 液晶扭曲力随着盒厚的增大而增大, 当液晶扭曲力矩与摩擦高分子膜表面锚定力矩相互平衡时, 液晶分子排列发生跳变, 出现向错线. 相邻向错线位置处的液晶盒厚度差为 $p/2$. 因此, 利用楔形液晶盒, 可以确定胆甾相液晶螺距.

利用偏光显微镜观察液晶的分子排列织构, 利用 UV757CRT 型紫外分光光度计 (凌光) 测量器件透射谱; 以脉冲频率为 5 Hz, 固体 Nd:YAG 倍频532 nm波长激光为抽运光源; 利用多通道光纤光

* 国家自然基金 (批准号: 60777011)、辽宁省自然科学基金 (批准号: 20102191) 和沈阳科学技术计划 (批准号: F10214100) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: wurina2007@126.com

© 2013 中国物理学会 Chinese Physical Society

谱仪 (avantes) 测量器件激光辐射谱; 抽运光的入射方向与样品表面法线方向成 45°, 光纤光谱仪的探测方向垂直于样品表面.

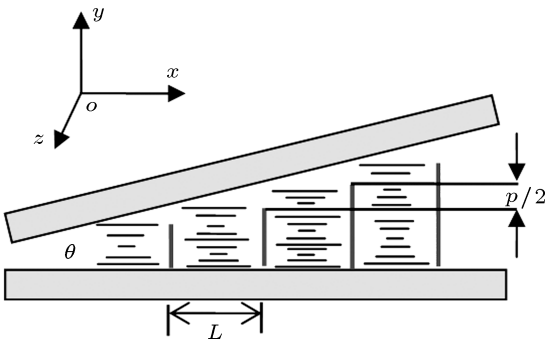


图 1 器件结构

3 结果与分析

器件偏光显微镜照片如图 2 所示. 可以看到不同规则形状的晶畴, 晶畴尺寸较大, 大约几百微米; 晶畴边界成网状, 又称为 oily-streak lines, 这是胆甾相液晶平面态排列典型织构, 说明形成了螺旋轴垂直玻璃基板方向的螺旋周期排列. 除此之外, 能看到很多相互平行的线条型向错线 (grandjean-cano lines), 间隔约 90 μm. 这是由液晶扭曲力和表面锚定力相互作用达到平衡时产生的. 在此过程中, 胆甾相液晶螺距缓慢延伸, 逐渐增大, 形成螺距梯度.

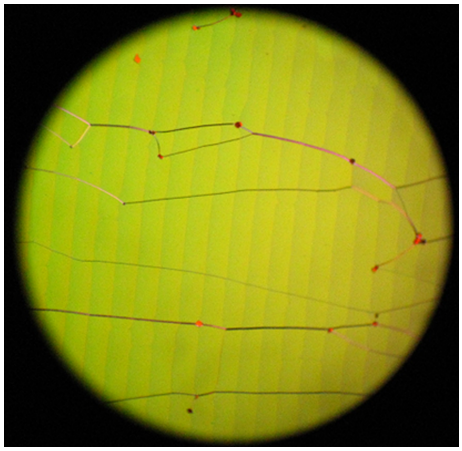


图 2 器件偏光显微镜照片

选择图 1 中 x 轴方向 3 个不同位置 a, b, c, 间隔 5.8 mm, 测得器件透射谱如图 3 所示. 光子禁带长波边沿分别位于 594, 584, 579 nm; 根据平面态排列胆甾相液晶光子禁带特性, 光子禁带长波边沿波长为 $n_e p$. TEB30A 型向列相液晶 $n_e = 1.692$, 计算获得在这三个位置螺距 p 分别为 351, 345, 342 nm. 可以判断, 螺距在变化. 由光子晶体态密度理论 [5], 选取液晶层厚度 $L = 2m\pi p$ (p 为螺距, m 为整数), 模拟得到胆甾相液晶光子态密度谱如图 4 所示. 在光子禁带内, 光子态密度较小, 而光子禁带边沿波长处急剧增大; 当增益超过损耗时, 光子禁带边沿波长处出现受激激光辐射, 光子禁带位置随螺距减小而向短波方向移动.

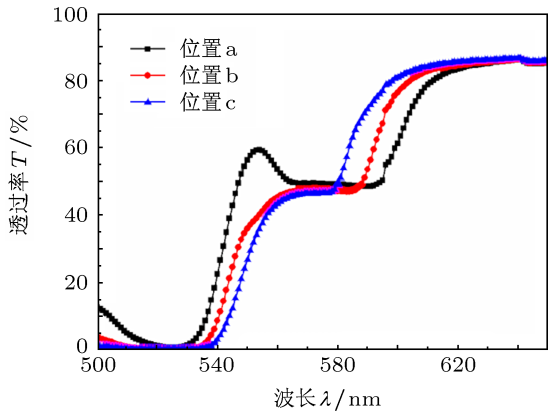


图 3 器件透射谱

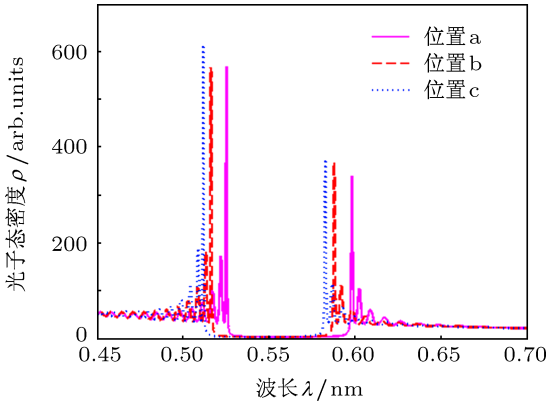


图 4 光子态密度谱

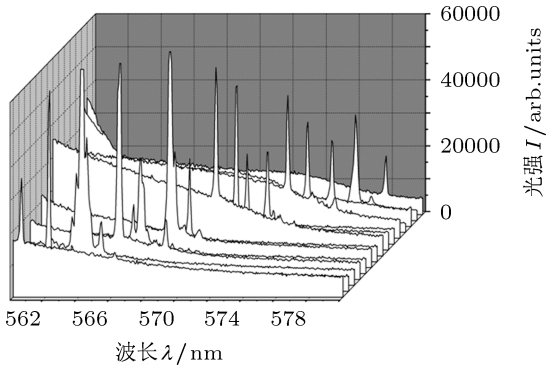


图 5 器件激光辐射谱

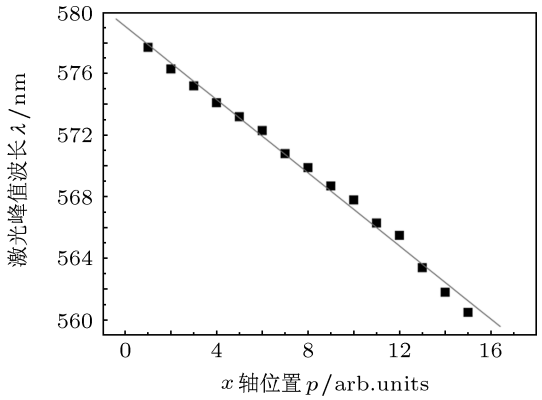


图 6 激光辐射谱峰位随位置变化

在 532 nm 波长抽运光作用下, 沿着 x 轴由厚到薄的方向, 测得激光辐射谱如图 5 和图 6 所示, 获得了波长间隔约 1 nm 的调谐激光, 波长调谐范围约 17 nm, 实验中抽运光光斑直径约 1 mm. 精密控制抽运光斑尺寸, 并减小楔形盒厚度梯度, 可以进一步提高调谐精度.

4 结 论

制作了楔形盒掺杂激光染料胆甾相液晶激光器, 获得一种特殊的激光波长调谐特性, 调谐范围约 17 nm, 调谐精度约 1 nm. 532 nm 波长抽运光作用下, 在随着液晶盒厚度增大的一维方向, 液晶盒厚度不同位置出射激光波长不同, 实现了根据位置可调谐激光器. 经过平行取向处理的楔形盒中, 胆甾相液晶形成了平面态排列, 具有光子禁带. 随着液晶盒厚度增加, 平面态胆甾相液晶螺距增长, 光子禁带位置移动, 导致光子禁带边沿处辐射激光波长变化.

[1] Kopp V I, Fan B, Vithana H K M, Genack A Z 1998 *Opt. Lett.* **23** 1707

[2] Beeckman J, Neyts K, Vanbrabant J M P 2011 *Opt. Eng.* **50** 081202

[3] Liu Y J, Sun W M, Liu X Q, Yao L S, Lu X H, Xuan L 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 114211 (in Chinese) [刘永军, 孙伟民, 刘晓颀, 姚丽双, 鲁兴海, 宣丽 2012 物理学报 **61** 114211]

[4] Tatsunosuke M, Masahiro K 2011 *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **544** 77

[5] Gevorgyan A H, Kocharian A N 2012 *Opt. Commun.* **285** 854

[6] Lin S H, Lee C R 2011 *Opt. Express* **19** 18199

[7] Park B 2011 *J. Korean Phys. Soc.* **59** 2246

[8] Choi H, Nishimura S, Toyooka T, Ishikawa K, Takezoe H 2011 *Adv. Funct. Mater.* **21** 3430

[9] Lin H K, Huang Y F, Chen A C, Liu P W 2011 *Appl. Surf. Sci.* **257** 9858

[10] Inoue Y, Yoshida H, Inoue K, Shiozaki Y, Kubo H, Fujii A, Ozaki M 2011 *Proc. SPIE* **8114** 811415

Investigation of the laser action in a dye-doped cholesteric liquid crystal wedge cell*

Dai Qin[1)] Li Yong[1)] Wu Ri-Na[1)†] Geng Yue[1)] Quan Wei[1)] Li Ye-Qiu[1)]
Peng Zeng-Hui[2)] Yao Li-Shuang[2)]

1) (*College of Mathematics and Physics, Shenyang Ligong University, Shenyang* 110159*, China*)
2) (*State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033*, China*)

(Received 7 June 2012; revised manuscript received 1 August 2012)

Abstract

The wedge cell of cholesteric liquid crystal device is designed and fabricated, and doping PM580 (exciton) in the cholesteric liquid crystal, the laser emission action is studied. There appear a series of parallel wedge edges of dislocation lines and different shapes of domain in the wedge cell. The planar state of alignment is confirmed. A second harmonic Nd:YAG 532 nm laser is adopted as a pump light beam, and then one-dimensional tunable laser radiation is obtained and its wavelength interval is approximately 1 nm and tuning range is about 17 nm. In the processs of interaction between the torques of LC and the surface anchoring of direction film, the pitch elongation takes place. The positon of photonic band gap is changed, so the laser radiation wavelength can be tuned in the band edge.

Keywords: cholesteric liquid crystal, wedge cell, laser radiation

PACS: 42.70.Df, 42.55.Mv **DOI:** 10.7498/aps.62.044219

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60777011), the Natural Science Foundation of Liaoning Province, China (Grant No. L2010465), and the Planned Science and Technology Project of Shenyang, China (Grant No. F10214100).

† Corresponding author. E-mail: wurina2007@126.com