

文章编号: 1007-2780(2013)05-0679-04

具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器的研究

张伶俐¹, 孙秀冬¹, 刘永军², 陈 丹², 荀显超³

(1. 哈尔滨工业大学 物理系, 黑龙江 哈尔滨 150000, E-mail: zhanglingli@hit.edu.cn;

2. 哈尔滨工程大学 理学院, 黑龙江 哈尔滨 150000;

3. 空军航空大学 飞行基础训练基地 基础部, 吉林 长春 130022)

摘 要: 制备具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件。采用镀有多层膜的 ITO 玻璃作为基板, 取向后制备 1D-PC/CLC/1D-PC 结构的胆甾相液晶激光器件。该激光器件在 532 nm 的 Nd:YAG 倍频脉冲激光器泵浦下能够出射双模激光。出射激光峰位分别位于 600 nm 和 650 nm, 对应于胆甾相液晶的短波边缘和长波边缘, 并且激光的发射阈值明显低于普通的盒式胆甾相液晶激光器件。此激光器件可以通过电压控制在单模发射和多模发射之间切换, 电控的阈值电压仅为 6 V。

关 键 词: 激光器; 胆甾向液晶; 多层膜

中图分类号: O753⁺.2 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20132805.0679

Cholesteric Liquid Crystals Laser With External Cavity

ZHANG Ling-li¹, SUN Xiu-dong¹, LIU Yong-jun², CHEN Dan², XUN Xian-chao³

(1. Department of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150000, China, E-mail: zhanglingli@hit.edu.cn;

2. College of Science, Harbin Engineering University, Harbin 150000, China;

3. Basic Department of Basic Flight Training Base, Air Force Aviation University, Changchun 130022, China)

Abstract: This work reports the CLC laser based on the combination of dye-doped CLC and a PC consisting of SiO₂ and TiO₂ multilayers, with the structure as 1D-PC/dye-doped CLC/1D-PC. The device exhibits two-mode laser action. The wavelength lasers are at 600 nm and 650 nm, corresponding to the short-and long-wavelength band edges respectively. In this system, the lasing threshold is much lower than that in simple CLC cell without the PC. Additionally, two-mode laser can be switched to single-mode laser by applying above 6 V voltage.

Key words: laser; cholesteric liquid crystals; multilayer film

1 引 言

胆甾相液晶中由于液晶分子的自发螺旋排列结构形成了可见光范围的一维周期结构, 相当于天然的一维光子晶体。周期排列的胆甾相液晶全反射相同手性的圆偏光, 具有光学禁带^[1-3]。在胆甾相液晶禁带边缘的光子群速度($v_g = \frac{d\omega}{dk}$)趋于

零, 相应光子寿命($\tau \propto v_g^{-1}$)和态密度($DOS \propto v_g^{-1}$)就会急剧地增加, 因此在光学禁带边缘会出射低阈值激光^[4-6]。其中胆甾相液晶作激光的谐振腔。胆甾相液晶器件的结构也是影响器件性能的主要因素, 很多研究者们通过不同的结构来改善胆甾相液晶激光的性能。周等提出在胆甾相液晶盒加上反射面可以使出射激光的强度提高, 反射面加

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-08-01

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61107059); 黑龙江省博士后基金(No. LBH-Z09184)

作者简介: 张伶俐(1980—), 女, 河南新乡人, 博士, 讲师, 主要从事液晶光学器件及相关材料的研究。

在胆甾相液晶盒玻璃基板外时出射激光的强度提高 2 倍,当反射面在液晶盒玻璃基板的内部时出射激光的强度提高 5.6 倍^[7-8]。Shirvani-Mahdavi 等采用两个外部的胆甾相液晶谐振腔,出射激光效率大幅提高^[9]。由于要获得胆甾相液晶的周期性排列,胆甾相液晶层厚度,即胆甾相液晶激光谐振腔长度通常就 $10\ \mu\text{m}$,出射激光的效率肯定受限。本文采用一维光子晶体结构中间夹有胆甾相液晶层的结构(1D-PC/dye-doped CLC/1D-PC),希望通过胆甾相液晶激光的外部光子晶体谐振腔增大激光谐振腔长度,提高胆甾相液晶激光的性能。

2 实 验

器件所采用的液晶为向列相液晶 BHR33200(北京八亿时空液晶科技股份有限公司),其寻常光折射率 $n_o=1.508$ 、非寻常光折射率 $n_e=1.657$ (在常温下波长 $589.3\ \text{nm}$ 处),清亮点温度 $66\ ^\circ\text{C}$ 。手性剂是 S811(北京八亿时空液晶科技股份有限公司)。激光染料为 4-(二氰基亚甲基)-2-甲基-6-(4-二甲基氨基苯乙烯基)-4H-吡喃(DCM,美国 Exciton 公司)。将 BHR33200 与质量比浓度为 24% 的手性剂 S811 均匀混合获得胆甾相液晶,添加 1% 左右(质量比浓度)的 DCM 染料,获得胆甾相液晶激光器的材料体系。

多层膜玻璃是在 ITO 玻璃基板的 ITO 侧交替镀制 8 对 SiO_2 和 TiO_2 多层膜。其中 SiO_2 的折射率 $n_1=1.46$,其厚度 $d_1=110\ \text{nm}$, TiO_2 的折射率 $n_2=2.35$,其厚度 $d_2=69\ \text{nm}$ 。多层膜的表面涂覆取向材料聚酰亚胺,加热固化后机械摩擦取向处理,预倾角在 $2^\circ\sim 3^\circ$ 。处理后的基板反平行放置制备液晶盒,盒厚为 $10\ \mu\text{m}$ 。将染料掺杂的胆甾相液晶在各向同性态下依靠毛细作用注入液晶盒。室温下缓慢降温,获得胆甾相液晶的均匀平面织构排列。器件的结构示意图见图 1。

实验中所用泵浦光源是 Nd:YAG 倍频脉冲激光器(Dawa-100,北京镭宝光电公司),输出波长为 $532\ \text{nm}$,激光脉冲的宽度为 $6\ \text{ns}$,重复频率 $1\ \text{Hz}$ 。光路如图 2 所示。为了便于光纤光谱仪的光纤探头接收到发射激光而不被泵浦光影响,样品表面法线与泵浦光呈倾斜放置。光纤光谱仪的光纤探头放置在样品后,垂直于样品基板表面接收发射激光信号。采用紫外-可见光光度计(日本

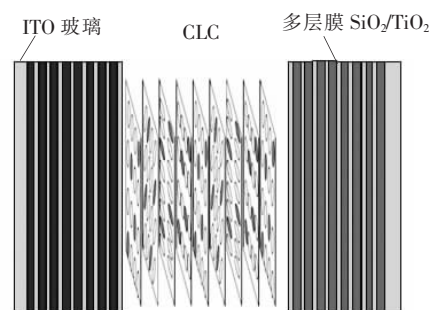


图 1 具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件样品示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the dye-doped cholesteric liquid crystal cell including external resonator

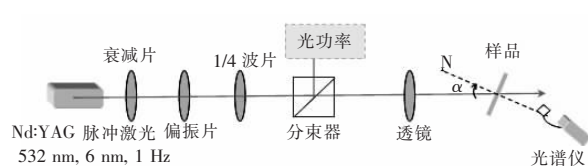


图 2 泵浦具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器的实验光路

Fig. 2 Experimental setups for measuring the lasing spectra of the dye-doped cholesteric liquid crystal cell including external resonator

SHIMADZU 公司, UV-2450 型)测量样品的透射光谱。

3 结果与讨论

3.1 具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件发射特性的研究

实验中首先测定了多层膜玻璃基板的透射谱,从图 3 中可知此多层膜在 $575\sim 750\ \text{nm}$ 波段存在光学禁带。此波段对我们的泵浦光($532\ \text{nm}$)不产生影响,同时还涵盖我们选择的激光染料的荧光峰,满足我们的需要。实验选择的胆甾相液晶体系由向列相液晶 BHR33200 与质量比浓度为 24% 的手性剂 S811 均匀混合获得,保证胆甾相液晶体系的光学禁带($600\sim 650\ \text{nm}$)也位于此波段中(如图 3 所示)。本器件的结构相当于在 1D-PC 中引入了胆甾相液晶缺陷层,因此在 1D-PC/CLC/1D-PC 器件的光学禁带中会出现很多共振缺陷模式。由于此类共振缺陷模式峰的半高宽非常窄,实验中采用紫外-可见光光度计的分辨率不够没有测出来。

将 BHR33200 与 24%(质量比浓度)的手性

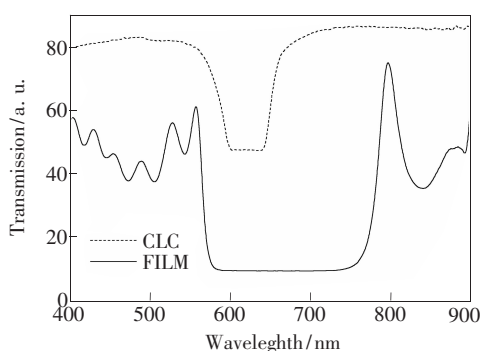


图 3 多层膜玻璃基板的透射谱(实线)和玻璃基板胆甾相液晶盒的透射谱(虚线)

Fig. 3 Transmission spectra of the dielectric multilayers (solid line) and the dye-doped cholesteric liquid crystal cell without dielectric multilayers (dash line)

剂 S-811 均匀混合获得胆甾相液晶,添加 1% 左右(质量比浓度)的 DCM 染料,获得激光器件材料体系,按照实验中步骤制备具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件。Nd:YAG 泵浦激光器发射 532 nm 的激光,经过能量衰减片和聚焦透镜后,入射到倾斜放置的胆甾相液晶激光样品盒上,泵浦光与液晶盒法线方向呈 45°角。在垂直于液晶盒的透射方向出射激光,用光纤光谱仪接收,实验光路如图 2 所示。实验发现在波长为 600 nm 和 650 nm 处会出射两个激光,结果如图 4 所示。

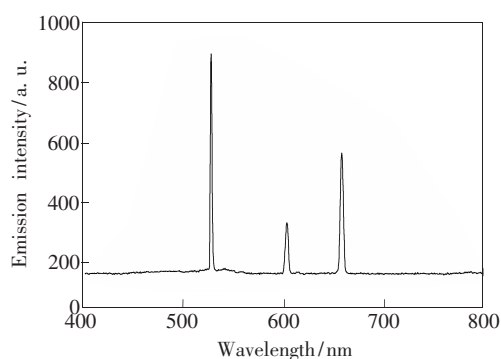


图 4 具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件出射激光谱图。胆甾相液晶体系中手性剂 S-811 质量比浓度为 24%,激光染料 DCM 质量比浓度为 1%,泵浦激光脉冲的宽度为 6 ns,重复频率 1 Hz。

Fig. 4 Lasing spectrum of the cholesteric liquid crystal cell including external resonator. The cholesteric liquid crystal with 24% S-811 and 1% laser dye DCM. The pulse duration and repetition rate of the pump laser are 6 ns and 1 Hz.

这与 ITO 玻璃制备的胆甾相液晶盒激光器件和胆甾相液晶微滴激光器件的出射激光情况截然不同。后两者都是在光学禁带长波边缘出射激光。而具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件出射的两激光波长正好对应胆甾相液晶所形成的光学禁带的短波边缘和长波边缘。这说明胆甾相液晶外部的光子晶体结构明显降低了器件出射激光的阈值,使其短波边缘的激光也同时出射。从激光发射谱也可以看出来,禁带短波边缘的出射激光的强度比长波边缘出射激光的强度要弱。说明禁带的长波边缘为此激光器件的低阈值发射边缘。这种器件同时出射两波长激光,可以作为多模激光器件应用。

3.2 具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器电控特性的研究

同样将具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件放入实验光路中(如图 2 所示),在器件两端加上方波交流信号,记录不同外加电压下,光纤光谱仪接收到的出射激光的光谱。分别测量了 0 V、2 V、4 V、6 V 及 8.5 V 这 5 组不同电压下胆甾相液晶盒的发射光谱,结果如图 5 所示。从实验结果中可以看出,电压增大到 4 V 以上出射激光开始发生变化。外加电压达到 6 V 时,600 nm 处的激光发射峰消失,但 650 nm 处的激光发射峰不受影响。在外加电压达到 8.5 V 时,650 nm 处的激光发射峰基本不受影响。这为电压控制这个双模激光提供了简单可控的方法。可以利用外加电压使器件在双模和单模之间简单切换,同时所需外加电压仅为 6 V,低于许多胆甾相液晶开关电压。

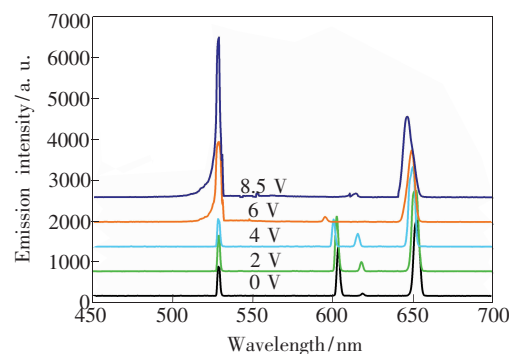


图 5 不同电场下具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器的发射特性

Fig. 5 Radiated laser under the different voltage

4 结 论

进行了 1D-PC/dye-doped CLC/1D-PC 结构,即具有外部谐振腔的胆甾相液晶激光器件的发射特性研究,希望通过胆甾相液晶激光的外部光子晶体谐振腔来提高激光发射的性能。此激光器件能实现双模激光发射,激光峰位分别位于

600 nm 和 650 nm,对应于胆甾相液晶的短波边缘和长波边缘。并且器件的激光发射阈值明显低于盒式胆甾相液晶激光器件。此激光器件能通过电压控制在单模发射和双模发射之间切换,电控的阈值电压仅为 6 V,低于一般的电控液晶器件的阈值电压。

参 考 文 献:

- [1] 李昌立,孙晶,蔡红星,等. 胆甾相液晶的光学特性 [J]. 液晶与显示,2002,17(3):194-198.
- [2] 王新久. 液晶光学和液晶显示 [M]. 第一版. 北京:科学出版社,2006.
- [3] 李发胜,王磊,齐琳,等. 紫外吸收染料诱导的具有宽波反射特性的胆甾相液晶聚合物薄膜 [J]. 液晶与显示,2011,26(5):537-536.
- [4] Coles H, Morris S. Liquid-crystal lasers [J]. *Nat. Photonics*, 2010, 4(4):676-685.
- [5] Schmidtke J, Junnemann G, Keuker-Baumann S, *et al.* Electrical fine tuning of liquid crystal lasers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2012, 101(5):051117(1-4).
- [6] Lin S, Lee C. Novel dye-doped cholesteric liquid crystal cone lasers with various birefringences and associated tunabilities of lasing feature and performance [J]. *Opt. Expr.*, 2011, 19:18199-18206.
- [7] Jeong S M, Sonoyama K, Takanishi Y, *et al.* Optical cavity with a double-layered cholesteric liquid crystal mirror and its prospective application to solid state laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 89(24):241116(1-3).
- [8] Zhou Y, Huang Y, Lin T H, *et al.* Direction controllable linearly polarized laser from a dye-doped cholesteric liquid crystal [J]. *Opt. Express*, 2006, 14:5571-5580.
- [9] Shirvani-Mahdavi H, Fardad S, Mohajerani E, *et al.* High efficiency cholesteric liquid crystal lasers with an external stable resonator [J]. *Opt. Express*, 2010, 18:13593-13599.