

EBBA 液晶的光学双稳态研究^{*}

周海光 陈书潮 徐剑芳

(厦门大学物理系, 厦门 361005)

摘要 利用光自聚焦和 F-P 腔两种手段, 对 EBBA 液晶进行了光学双稳态研究。实验是在 $60\mu\text{m}$ 液晶薄膜中采用连续 Ar^+ 激光器进行, 确定出温度与光学双稳态和多级光学双稳态回线的关系, 讨论了 EBBA 液晶在固态相和液晶相及其相变过程中光学双稳态的机制。

关键词 EBBA 液晶; 自聚焦; F-P 腔; 光学双稳

Optical Bistability of EBBA Liquid Crystal

Zhou Haiguang Chen Shuchao Xu Jianfang

(Department of Physics Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract Using self-focusing and Fabry-Perot cavity arrangements the optical bistability and multiple bistability of EBBA nematic liquid crystal films have been studied. The experiment was carried out with Ar^+ CW laser and samples of $60\mu\text{m}$ thickness. The temperature dependence of the bistable and multiple bistable hops has been measured. The related mechanism of optical bistability in solid phase nematic phase and phase transition of liquid crystal is discussed.

Key words optical bistability; optical self-focusing; Fabry-Perot cavity; liquid crystal

1 引言

液晶由于具有较高的非线性系数, 所以在光学双稳态研究中受到人们的重视^[1,2]。但液晶具有一定相变温度范围, 仅在该范围内, 液晶呈液晶相, 而在该范围之上 (即温度超过清亮点) 液晶呈液态相; 该范围之下 (即温度低于熔点), 液晶呈固态相^[3]。以往对液晶光学双稳态的研究仅涉及液晶相及各向同性的液态相的光学双稳态, 基本上是使用室温液晶, 如 MB-BA, PCB 等^[4,5,6], 而对液晶相温度较高的液晶如 EB-BA ($37\sim 78^\circ\text{C}$) 在类似晶体的固态相, 液晶相及由固态相到液晶相相变过程中的光学双稳态变化研究较少。我们分别利用光自聚焦及纯光学的 F-P 腔二种不同手段对 EBBA 液晶进行了研究, 首次探讨了液晶固态相的一些非线性特性, 并研究了由固态相到液晶相在升温及降温的相变过程中双稳态回线的变化。F-P 腔型的光场感应分子重取向已做了较系统的分析^[7]。我们对光自聚焦加反馈型进行分析, 并将结果

进行比较。在一般几何条件下, 分子重取向与热效应对液晶的光学双稳态均起作用。但在 EBBA 液晶的固态相主要是激光热效应起作用, 在 EBBA 液晶的液晶相主要是分子感应重取向的作用。这在我们的实验中得到证实。

2 实验

光自聚焦装置如图 1 利用美国 SPEX 公司 171 型 Ar^+ 激光器, 输出 514.5nm 单模线偏振光, 功率 $0\sim 8\text{W}$ 连续可调。图 1 中激光经光阑 S_1 及望远镜系

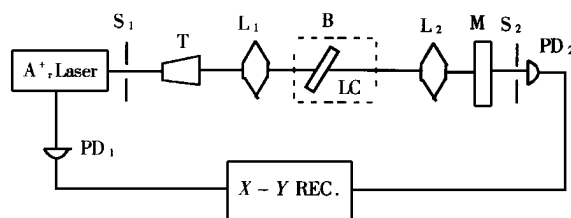


图 1 自聚焦系统实验装置

Fig 1 Schematic of the self-focusing experimental setup

* 国家自然科学基金 (69486004) 和福建省自然科学基金 (A 97008) 资助课题

* 收稿日期: 1998-07-01

统 T 形成平行光后经会聚透镜 L_1 (焦距 100 mm) 会聚于液晶 LC 上; EBBA 液晶置于液晶盒内, 液晶盒是按液晶分子沿平行表面取向的方法制作的^[8]; 液晶膜厚 $60\mu\text{m}$ 并置放于控温炉 B 中, 温控误差 $\pm 0.5^\circ\text{C}$; 样品置于 L_1 透镜焦点后约 10 mm 处; 透镜 L_2 及一个 95% 反射率的反射镜 M 用来提供光反馈; 在 M 后放置了一个可变光阑 S_2 及一光电探测器 PD_2 , 其后接 X-Y 记录仪; A^+ 激光器本身所具有的监控激光输出功率的光电探测器 PD_1 与 X-Y 记录仪相连。 PD_1 与 PD_2 均采用硅光电池。所有的测量均缓慢准静态进行, 从而避免液晶分子重取向及热效应的弛豫时间与硅光电池响应时间相差而造成的滞后。

F-P 腔实验装置如图 2 与光自聚焦法图 1 主要不同是将 F-P 腔取代反馈镜 M。利用 F-P 腔形成多光束共振, 液晶盒置于 F-P 腔中。

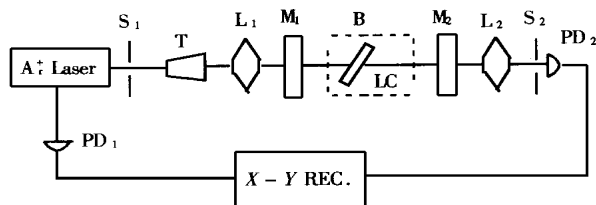


图 2 F-P 腔系统的实验装置

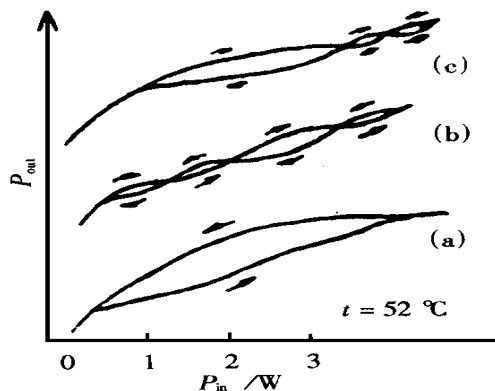
Fig 2 Schematic of the Fabry-Pérot cavity experimental setup

3 实验结果与讨论

利用图 1 装置, 先不放 L_2 及 M 而放上一观察屏, 以便观察光自聚焦效应。当入射激光光强逐渐增加到 $250\text{W}/\text{cm}^2$ 后, 开始出现透射光的光斑缩小, 发散度变小, 即出现自聚焦现象。加入透镜 L_2 及反馈镜 M, 使由 M 反射经 L_2 返回的光束也会聚在液晶上并与经 L_1 的光斑重合, 这就加强了液晶中的非线性作用, 并形成了双稳态回线。取样探测光阑 S_2 放在透射光束不同位置, 当 S_2 很小 (约 0.1 mm), 并置于透射光中心时, 出现了明显的双稳态回线, 见图 3(a); 而当 S_2 偏离中心点或光阑加大约 (1.5 mm) 时出现振荡的多级双稳态回线见图 3(b) 和图 3(c)。

在图 2 的 F-P 腔系统的实验中出现相似情况。入射光束在通过液晶后, 在 S_2 面上形成较大的光斑。其中只有极小部分的光能通过取样小孔进入后面的光电探测器, 如果在弱光作用下, 光束的空间结构不随入射光强而改变, 呈现线性关系; 在强激光 (大于 $250\text{W}/\text{cm}^2$) 作用下, 液晶产生非线性效应, 从而使液晶折

射率发生变化, 导致光束在光阑上面积变小, 通过光阑的相对光能随之增大, 整个系统的光学透过比将表现为入射光的函数, 再加上反馈的线性关系从而形成光学双稳态。



a) M measured at central region of the laser beam

b) M measured at off-central region c) M measured at central axis region with large diaphragm aperture

图 3 加入反馈镜后透射光强与输入光强的关系

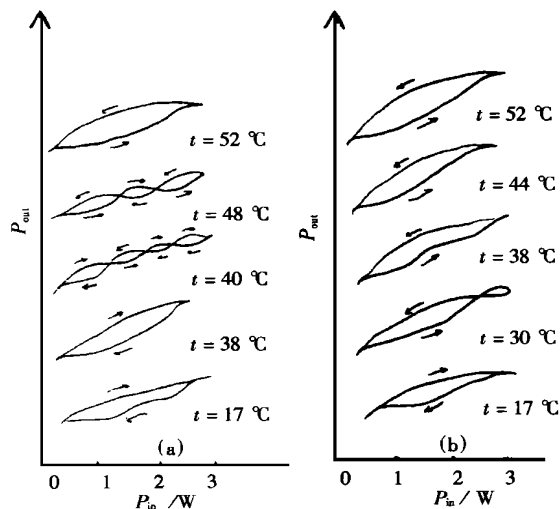
Fig 3 Transmitted intensity vs incident intensity with feedback mirror

因分子重取向与分子排列有很大关系, 液晶 EBBA 在液晶相时呈现向列相。向列相液晶分子彼此间大致平行, 激光透过后, 显现出明暗相间干涉图样^[9]。当取样光阑 S_2 位于透射光束中心 (主极大点), 呈现出明显的双稳态回线 [图 3(a)]。当 S_2 偏离光束中心, 如在暗纹区, 则透射光就出现振荡的多级稳态回线 [图 3(b)]。而当光阑加大, 明暗条纹均通过光阑, 呈现出振荡的多级双稳态回线 [图 3(c)]。

当液晶由于温度变化, 分别处于固态相及液晶相等不同相态时, 光学双稳态回线将发生变化。在上述 2 个实验中均可以观察到。图 4(a) 为光自聚焦实验。从室温开始, 每隔 $3\sim 5^\circ\text{C}$ 做一次测量, 直达 62°C 。从实验中发现, 在低于 EBBA 液晶的熔点温度时, 液晶呈固态相, 相应的光学双稳态回线的运行方向与液晶相相反; 温度上升达相变温度 (38°C), 出现运行方向仍为固态相的双稳态回线; 直到 40°C 才出现多级双稳态回线; 当继续升至 48°C 后, 开始出现向列相的双稳态回线, 其运转方向与固态相反。

反之, 当温度由 52°C 下降至 38°C 时, 仍出现明显的液晶态的双稳回线, 只有温度下降到 30°C 才出现振荡的多级双稳态回线, 见图 4(b)。利用 F-P 腔进行实验, 出现类似情况 (见图 5)。

两个实验也有不同点, 如在液晶态温度时 (如 t

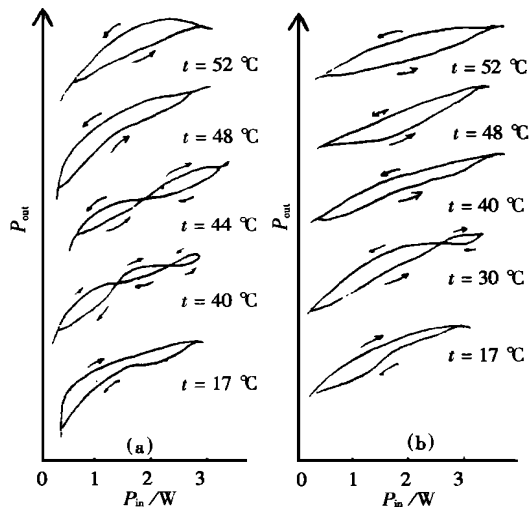


a) Recorded from low temperature to high temperature

b) Recorded from high temperature to low temperature

图 4 自聚焦实验系统中对应不同温度的双稳回路

Fig 4 Bistable loops of self-focusing experiment



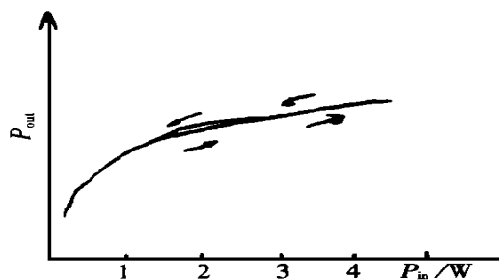
a) Recorded from low temperature to high temperature

b) Recorded from high temperature to low temperature

图 5 F-P腔系统对应不同温度的双稳回路

Fig 5 Bistable loops of Fabry-Perot cavity experiment

$= 52^{\circ}\text{C}$), 在光自聚焦实验中, 发现将样品转到使液晶分子的排列方向与激光线偏振方向垂直, 即 $\Gamma = \pi/2$ 时没有明显的双稳态回线, 如图 6(a)。说明在光自聚



(a) In optical self-focusing system

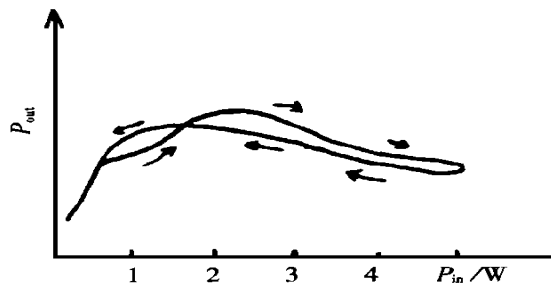


图 6 当 $\alpha = \pi/2$ 时透射光强与输入光强的关系

Fig 6 Transmitted intensity vs incident intensity when $\alpha = \pi/2$

焦实验条件下, 液晶 EBBA 在液晶相时, 分子重取向起主要作用 (因热效应引起的双稳态现象, 即使在 $\Gamma = \pi/2$ 条件下也应观察到) 而在 F-P 腔实验中, 利用

同一液晶盒, 并将之旋到 $\Gamma = \pi/2$ 结果仍发现双稳态回线, 见图 6(b)。分析可能有 2 个原因, 一方面是 F-P 腔使多光束在液晶中来回传播, 很难保证使 $\Gamma = \pi/2$ 另一方面是光束来回传播, 激光对液晶的加热效应较明显。

当液晶温度低于熔点时, 液晶处于固态相, 重复上面实验, 将液晶盒旋转到 $\Gamma = \pi/2$ 时, 双稳态回线未发生变化。从而证实在固态相时, 激光热效应是造成液晶双稳态的主要原因。

EBBA 液晶在液晶相与固态相 2 种不同相态时, 形成光学双稳态的主要机制不同。从而出现不同的双稳态回线。而在相变过程中, 形成了多级双稳态回线, 见图 6。从相变动力学角度看, 从固态到液晶态之间存在一个亚稳态, 即这时固态与液晶态同时存在, 从而存在势垒, 即使升温达 38°C , 双稳态回线也仍保持固态相的回线, 存在一个过热过程。我们认为固态时, 分子受到光场感应的重取向要比在液态相时难, 因而激光热效应就显现出来。而在固态相至液晶相的相变过程, 固态与液晶态同时存在, 所以重取向与热效应二者互相竞争, 从而出现多级双稳态回线。反之, 当液晶向列相至液晶相变化过程中, 即使温度下降至 38°C , 由于过冷效应, 液晶主要仍处于液晶态, 液晶的分子排列方向要比固态时容易发生改变, 所以主要是分子重取向起作用, 故仍出现液晶相的双稳态回线, 只有当温度下降较多, 液晶开始固化后, 才出现固

热效应作用而产生的多级双稳态回线。

参 考 文 献

- 1 I C. K hoo, *et al* Liquid crystals nonlinear optical properties and processes *Opt Engi neering*, 1985 **24**(4): 579~585
- 2 沈元壤. 非线性光学原理. 北京: 科学出版社, 1987
- 3 谢毓章. 液晶物理学. 北京: 科学出版社, 1988
- 4 I C, K hoo, *et al* Optical bistability in nematics film s utilizing self-focusing of liquid crystals *Appl Phys Lett*, 1982 **41**(10): 909~ 911
- 5 I C K hoo *et al* Optical bistability using a nematic liquid crystal film in a Fabry-Perot cavity *J. Appl Phys*, 1982 **53**(11): 7599~ 7601
- 6 M. M. Cheung, *et al* Optical bistability and self-oscillation of a nonlinear Fabry-Perot interferometer filled

with a nematic liquid crystal film. *Opt Lett*, 1983 **8**(1): 39~ 41

- 7 I C, K hoo *et al* Nonlinear Fabry-Perot action and optical bistability of a dielectric cladded thin film near the total internal reflection state *J. Opt Soc Am.*, 1985 **B2**(5): 761~ 765
- 8 M. Nakamura, *et al* Alignment of nematic liquid crystals on ruled grating surfaces *J. Appl Phys*, 1981 **52**(1): 210~ 217
- 9 S. D. Curbin, *et al* Laser-induced diffraction rings from a nematic-liquid-crystal film. *Opt Lett*, 1981, **6**(9): 411 ~ 413

周海光 男, 1945年生. 1967年毕业于厦门大学物理系, 现任厦门大学物理系副教授, 教研室主任. 主要从事激光物理和非线性光学的教学和科研工作. 发表学术论文 40余篇.

(上接第 35页)

参 考 文 献

- 1 J. J Degnan Theory of the optim ally coupled Q -switched laser *IEEE J. Quantum Electron.*, 1989, **25** 214~ 220
- 2 Xingyu Zhang Shengzhi Zhao, Q ingpu Wang Optimization of Cr^{4+} -Doped Saturable Absorber Q -Switched Lasers *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33** 12
- 3 J Zayhowski P. L. Kelley. Optimization of Q -switched lasers *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **27**: 2220~ 2225
- 4 J. J. Degnan Optimization of passively Q -switched

lasers *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **33** 1890~ 1901

李 平 男, 1966年出生, 博士研究生. 主要从事激光技术、光学信息处理、激光与物质的相互作用等方面的研究.

王青圃 男, 1942年出生, 现工作于山东大学光电子信息工程系, 教授, 博士生导师. 长期从事激光物理与技术、非线性光学、激光与物质的相互作用等方面的教学和科研工作. 曾先后完成国家 863 自然科学基金、省科委等项目, 在国内外重要学术刊物上发表论文 90余篇, 编著《激光物理学》一书, 获国家教委、省级等多项奖励.

高 达 男, 1974年出生, 硕士研究生, 研究方向为激光器件、技术及应用.