

蓝相液晶指向有序的定域化及微结构制备

周康 袁从龙 李箫 王骁乾 沈冬 郑致刚

Localization of blue phase liquid crystal with ordered crystallographic direction and well-defined micro-patterning

Zhou Kang Yuan Cong-Long Li Xiao Wang Xiao-Qian Shen Dong Zheng Zhi-Gang

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 67, 066101 (2018) DOI: 10.7498/aps.67.20172517

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.67.20172517>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2018/V67/I6>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

非晶态合金表面的水润湿动力学

Wetting kinetics of water droplets on the metallic glass

物理学报.2017, 66(17): 176101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.176101>

纳米粗糙度对胶体液滴蒸发图案的影响机制

Influence of nano-scaled roughness on evaporation patterns of colloidal droplets

物理学报.2017, 66(6): 066101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.066101>

应用激光蚀刻不同微织构表面的润湿性

Wettability of surfaces with different surface microstructures textured by laser

物理学报.2015, 64(20): 206101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.206101>

胆甾相和蓝相液晶的透射和反射特性

Transmittance and reflectance of cholesteric and blue phase liquid crystal

物理学报.2015, 64(12): 126101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.126101>

表面极化对弱锚定向列液晶盒饱和特性的影响

The influence of surface polarization on the saturation behaviour of a weak anchoring NLC cell

物理学报.2012, 61(15): 156102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.156102>

# 蓝相液晶指向有序的定域化及微结构制备\*

周康<sup>1)2)</sup> 袁从龙<sup>1)</sup> 李萧<sup>1)2)</sup> 王骁乾<sup>1)</sup> 沈冬<sup>1)</sup> 郑致刚<sup>1)†</sup>

1)(华东理工大学物理系, 上海 200237)

2)(华东理工大学材料科学与工程学院, 上海 200237)

(2017年11月23日收到; 2017年12月29日收到修改稿)

蓝相液晶晶格指向有序性的体系构建对先进光子学应用乃至软物质三维可控生长具有重要的科学与技术意义. 对指向有序性的蓝相液晶进行定域化的高分子稳定, 进而形成蓝相区域的微结构图案化, 有望实现全新的光子调控器件. 本文使用稳定性好、操作简易、普遍的摩擦取向方法, 达到蓝相晶格指向一致化目的, 同时结合掩膜曝光的手段进行区域可控的光聚合, 即定域光聚合, 达到对蓝相晶格的定域化高分子稳定, 实现了晶格指向有序、稳定性强的蓝相区域微结构图案化分布. 最后基于这样的特殊结构, 研究了潜在的光子学等方面的应用.

**关键词:** 蓝相, 高分子稳定, 定域, 微结构

**PACS:** 61.30.Mp, 61.30.Hn, 81.16.Rf

**DOI:** 10.7498/aps.67.20172517

## 1 引言

液晶作为一种典型的智能材料已被广泛应用在显示领域. 近年来, 液晶在微纳光子学<sup>[1,2]</sup>、三维显示<sup>[3,4]</sup>、智能光电器件<sup>[5,6]</sup>等领域催生出新的应用生长点, 伴随着液晶新材料(如光响应液晶材料<sup>[7-9]</sup>、新型液晶高分子材料<sup>[10,11]</sup>、新型液晶半导体材料<sup>[12]</sup>等)的发现, 一个崭新的液晶后显示时代正向我们走来. 手性液晶由于其特殊的螺旋式分子排列结构展现出独特的物理性质, 手性液晶可以通过在液晶分子基团内嵌入手性中心或在非手性液晶中添加手性材料获得, 分子排列上呈现出一维螺旋结构, 即胆甾相, 或三维双螺旋立方结构, 即蓝相. 蓝相通常出现在各向同性态和手性向列相之间, 主要是由液晶分子形成的双螺旋柱体在三维空间堆积而成且具有周期的立方结构<sup>[13]</sup>. 依据蓝相拓扑结构对称性的不同, 蓝相可以分为三种独立的子态, 蓝相I、蓝相II和蓝相III. 其中蓝相I、蓝相II分别具有体心立方和简单立方对称性, 蓝相III则

为无定型结构<sup>[14,15]</sup>. 高度有序的立方结构赋予蓝相不同寻常的物理性能, 包括对可见光特征的布拉格反射以及对电场快速的响应特性, 同时液晶的软物质特性也使得蓝相的结构能够对光<sup>[16,17]</sup>、电场<sup>[18,19]</sup>、应力<sup>[20]</sup>、温度<sup>[21]</sup>等外场产生显著的响应性, 这些都拓展了其在智能材料、光电器件、晶体学方面的应用. 然而, 蓝相液晶同样暴露出明显的应用难点, 具体表现在热稳定性差(温宽约为1—5 °C)和晶格指向分布随机. 前者限制了蓝相液晶的使用范围, 后者则影响了布拉格反射的强度、反射带半峰宽等光子传输和局域特性. 针对热稳定性方面的制约, Kikuchi等<sup>[22]</sup>基于聚合物稳定的方法, 在蓝相的缺陷处引发反应单体的聚合, 形成高分子网络稳定缺陷及整个蓝相结构, 获得了60 K以上温宽的蓝相液晶, 这也终于使得它的应用成为可能. 随后基于液晶母体分子设计<sup>[23]</sup>, 添加弯曲形分子<sup>[24-27]</sup>、氢键分子<sup>[28]</sup>、纳米粒子<sup>[29]</sup>来稳定蓝相等一系列工作都从各方面获得了相对稳定的蓝相, 其中聚合物稳定蓝相已在光电器件<sup>[30,31]</sup>及光子学领域<sup>[32-34]</sup>得到广泛应用. 对于后者, 从器件

\* 国家自然科学基金(批准号: 61435008, 61575063, 61705067)、上海市青年科技启明星计划(批准号: 17QA1401100)和上海市浦江人才计划(批准号: 16PJ1402200)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zgzhen@ecust.edu.cn

应用角度看, 蓝相液晶体系内分子指向场在宏观上是均匀分布的, 光学上蓝相液晶不同于传统向列相液晶, 具有光学各向同性, 因此蓝相液晶器件不需要如同传统液晶器件那样复杂的表面取向工艺, 降低了加工难度和成本. 也正是因为这样, 直至目前, 对蓝相液晶取向乃至相关应用的研究还很少. 以往研究中主要采用电场等外界刺激操控蓝相晶格旋转方向<sup>[35]</sup>、基板表面物化修饰处理控制晶体生长过程等方式制备晶格取向一致的由双螺旋体系组装形成的三维超结构, 实现了更窄的反射带半峰宽、更高的反射强度<sup>[36]</sup>. 同时相关研究表明, 蓝相的晶格有序排列使其具备更加优异的电光效应(更低工作电压和磁滞效应)<sup>[37,38]</sup>, 光子学领域的进一步研究发现取向一致的单畴蓝相作为软光子晶体时可以大幅降低出射激光的抽运能量<sup>[39]</sup>, 这些特性都使得它更具应用前景. 以往的探索一定程度解决了晶格的宏观连续取向, 获得分子指向场序一致的单畴蓝相区域. 近来随着电子学、微纳光学及晶体学领域的快速发展, 蓝相晶格指向的定域控制及微结构化, 结合自组装晶格与人工微结构对光子传输作用的影响, 有望获得全新的光子应用器件; 同时从应用角度而言, 器件结构的稳定性是另一亟待解决的关键问题, 但是相应的报道相对较少. 表面光取向是一种有效的控制液晶分子空间排列的技术, 成功应用于手性向列相、近晶相的表面精细微结构的制备<sup>[40,41]</sup>. 近期, 通过光取向的可定域性, 成功实现了蓝相晶格指向有序-无序排列的周期、准周期或微图案化<sup>[42]</sup>. 但其取向稳定性、工艺流程、制作成本都很大程度上限制了它的工业化应用.

本文采用取向稳定性好、操作简易、普遍的摩擦取向方法来实现蓝相晶格的指向有序性. 相对光取向, 摩擦取向无法达到微观定域取向的目的. 为了在微域内实现蓝相晶格指向的有序, 进而达到在摩擦取向条件下蓝相晶格指向有序区域的微结构化, 并获得稳定的晶格结构, 本文利用聚合物稳定蓝相结构的方法, 同时基于掩膜曝光手段, 在定域条件下实现对特定微观区域的蓝相结构稳定, 并实现该微观区域的微结构分布, 应用于光子器件.

## 2 实验

### 2.1 材料与制备

实验中所使用的蓝相液晶是由 86.1 wt.% 的向列相液晶 TEB 300 (Slichem) 和 3.5 wt.% 手性掺杂

剂 R5011 (HCCH, 扭曲力  $HTP = 115 \mu\text{m}^{-1}$ ) 以及具有类似液晶结构的丙烯酸酯类单体 4-(3-丙烯酰氧基丙氧基) 苯甲酸 2-甲基-1, 4-苯酯 (RM257) 与丙烯酸异辛酯 (EHA) 组成, Irgacure 184 (BASF) 作为紫外引发剂. 将上述材料按比例准确称量后加热至清亮点以上 ( $\sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 搅拌 1 h 直至混合均匀后, 在该温度下注入液晶盒内, 然后以  $0.3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  缓慢降温到  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ , 此时样品处于蓝相状态. 在该温度保持 30 min, 使系统达到动力学平衡, 然后在 365 nm 紫外光 (Lamplic UVCE-4) 照射下引发可聚合单体的自由基聚合形成空间高分子网络, 稳定蓝相拓扑结构中的缺陷, 可以制备整片热稳定性优异的蓝相样品, 曝光强度为  $6 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , 曝光时间为 150 s. 体系温度由精密热台进行控制、监测, 液晶盒由两片玻璃基板组成, 基板内表面镀有氧化铟锡导电薄膜, 同时进行了反平行取向处理, 盒厚控制在  $4 \mu\text{m}$ . 同时为了在样品表面构造周期微结构, 在上述曝光步骤前于样品表面盖上定制光刻掩膜板, 然后再进行区域曝光, 曝光强度为  $6 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , 曝光时间为 120 s, 曝光完毕后将样品自然冷却到室温并移除膜板.

### 2.2 性能表征

实验中样品织构通过反射式偏光显微镜 (LVPOL 100, Nikon) 在正交偏光片的条件下观察, 织构照片通过安置在显微镜上的电荷耦合器件 (DS-U3, Nikon) 采集, 特征反射光谱通过连接好的精密光谱仪 (ULS2048, Avantes) 探测收集. 同时为了考察样品在电场作用下的结构稳定性及其性能表现, 在实验中给该样品加上一个交流方波电场 (1 kHz) 以探测其相关特征. 最后为了研究样品微结构的潜在光学特性, 将其放入如图 4(a) 的光路中.

## 3 结果与分析

当液晶盒没有进行表面取向处理时, 蓝相晶格的生长不受表面锚定作用控制, 生长方向随机, 造成晶面指向的无序, 织构上呈现碎片状, 如图 1(a) 所示. 当表面进行取向处理后, 液晶分子在表面各向异性锚定与自组装长程有序的共同作用下, 晶格指向趋于一致, 显微织构不再呈现碎片状而展现出非常均匀的颜色, 如图 1(b) 所示. 前人的研究结论表明, 这种均匀的织构来源于蓝相晶格的



有序指向, 而颜色则是晶格选择反射的结果<sup>[43-45]</sup>. 图1(c)为表面取向处理的蓝相和未取向蓝相样品的特征光谱图, 可以明显发现表面取向处理后的蓝相样品拥有更高的布拉格反射峰及相对窄的半峰宽, 表现出更加优异的光学特性. 在此研究基础上, 通过掩膜曝光, 获得了如图2(a)和图2(e)所示周期性分布且晶面指向有序的蓝相微域阵列. 在曝光区域, 蓝相结构被高分子网络稳定, 晶面指向有序, 因而当温度下降至室温, 仍然保持指向有序的蓝相状态; 而在非曝光区域, 蓝相结构不稳定, 因而在室温(20 °C)时仍然呈现液晶分子螺旋排列的手性向列相, 光学上表现出强烈的散射特性, 表明此状态

下螺旋轴随机取向. 原因可能是由于曝光区域单体分子参与光聚合反应被大量消耗, 未受光照区域单体几乎不消耗, 造成上述区域之间单体浓度失衡, 产生化学势差; 在此作用下, 为了达到体系的动态平衡, 单体逐渐从未曝光区域向曝光区域迁移来补充单体的消耗, 从而在此动态过程中扰乱原有手性向列相区域, 即改变螺旋轴垂直于液晶盒基板的有序排列的状态. 对样品施加电压发现, 室温(20 °C)时, 随着电压逐渐增大, 蓝相区域由于高分子稳定作用几乎无变化, 而手性向列相区域则在电场作用下逐渐解旋, 最终光学上呈现暗态; 撤除电场后恢复到原有的排列状态(图2(d)和图2(h)).

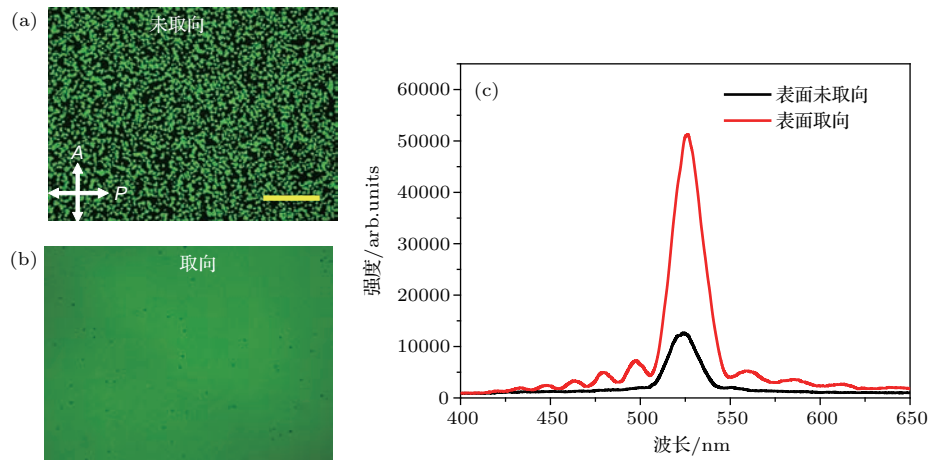


图1 (a) 未做表面取向处理的蓝相显微结构; (b) 表面摩擦取向后的蓝相显微结构; (c) 表面不同处理方式制备的蓝相的特征光谱图; 标尺为 100 μm

Fig. 1. Typical polarizing optical microscope textures of samples with (a) no surface treatment and (b) surface alignment; (c) the characteristic spectra of blue phase samples prepared by different surface treatment. Scale bar: 100 μm.

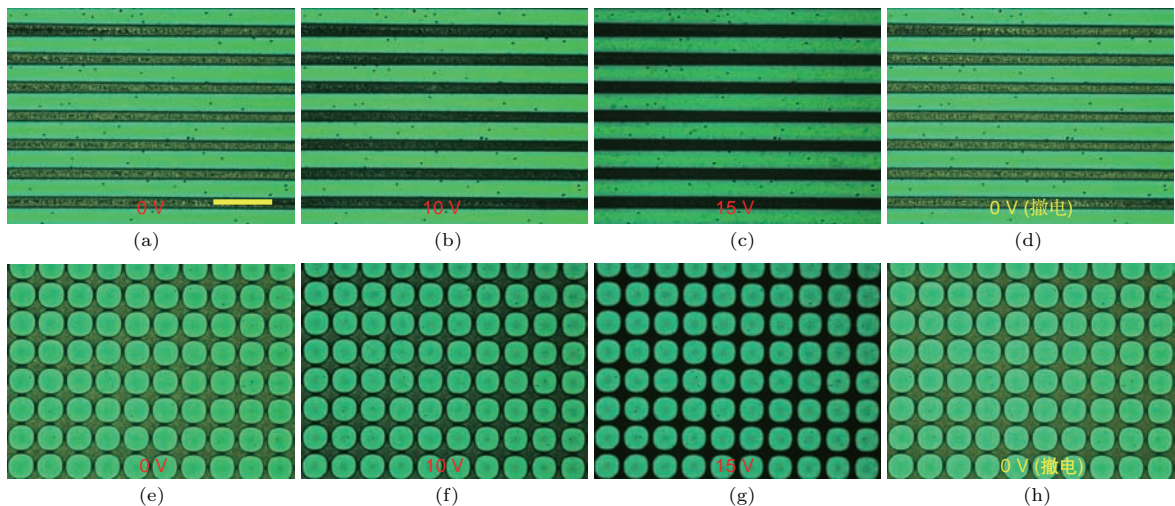


图2 (a)–(d) “蓝相-手性向列相”一维微结构在不同电压下的结构图变化; (e)–(h) “蓝相-手性向列相”二维阵列微结构在不同电压下的结构图变化; 标尺为 100 μm

Fig. 2. (a)–(d) Textures of blue phase-chiral nematic phase (BP-N\*) one-dimensional microstructure under different external bias; (e)–(h) textures of BP-N\* two-dimensional microstructure under different external bias. Scale bar: 100 μm.

如前所述, 制约蓝相液晶应用的突出问题是其结构稳定性差, 因此微结构的稳定性及其相关特性对于蓝相液晶的研究颇为关键, 从研究结果可以发现在样品升温过程中蓝相区域始终保持良好的稳定性及结构特性, 同时在将样品从高温降温时发现处于蓝相微域之间的非曝光区域经历了从各向同性到蓝相碎片再到手性向列相的状态转变(图3(a)—(c)). 如图3(d), 在蓝相区域之间呈现清晰的蓝绿色碎片, 实验测量了该区域对应的光谱(图3(e)), 呈现典型的蓝相特征光谱. 于是可以通过该方法方便地实现对蓝相晶格取向的周期性交替分布控制, 在曝光区域呈现晶格取向有序的蓝相晶格结构, 而在非曝光区域呈现与蓝相截然不同的手性向列相结构. 人为可控且微结构化的两相共存体系在以往很少报道, 对于常规有机晶体甚至无机晶体材料而言很难操作, 甚至在凝胶粒子自组装及其可控组装体系中也很难实现<sup>[46–48]</sup>.

基于上述二维阵列分布的蓝相微域, 进一步实验研究其在光学领域的应用. 实验设计如图4(a)所示. 一束波长为405 nm的激光从激光器出射, 先后通过透镜L1、空间滤波器以及另一个透镜L2, 然后垂直入射到实验样品的表面, 最后在光屏上产生

图4(b)和图4(c)所示的特有衍射图案. 其中设置透镜L1和空间滤波器的目的在于消除空间杂散光对实验的影响, 再经过透镜L2目的在于获得相对准直的出射光束, 呈现好的光学衍射效果, 整个实验均在室温(20 °C)完成. 这种衍射图案的产生主要源于蓝相区域与手性向列相区域的透过率差异, 即形成了周期性的振幅调制. 蓝相区域分子指向场分布均匀, 呈现宏观上的光学各向同性, 光直接透过; 在手性向列相区域, 由于手性螺旋轴的排列不一致造成光散射, 透过率下降. 值得说明的是, 样品中存在蓝相自组装形成的周期晶格结构及由于定域化曝光所形成的蓝相/手性向列相周期分布结构, 前者周期尺度在光波长量级(即几百纳米), 后者尺寸为光波长的两个数量级, 约60  $\mu\text{m}$ , 因而衍射效应主要归结为蓝相/手性向列相周期分布结构. 同时, 由于手性向列相螺距很小, 反射波段位于紫外, 因而来自于结构之间的相互干扰基本可以忽略. 进一步, 若在材料中配合增益介质, 依赖蓝相结构的光子局域特性, 在外界抽运的条件下蓝相微域产生光激发, 因而可以形成微型激光阵列, 对于高清晰激光显示、高密度激光通信以及先进集成光子器件方面具科学和工程应用意义.

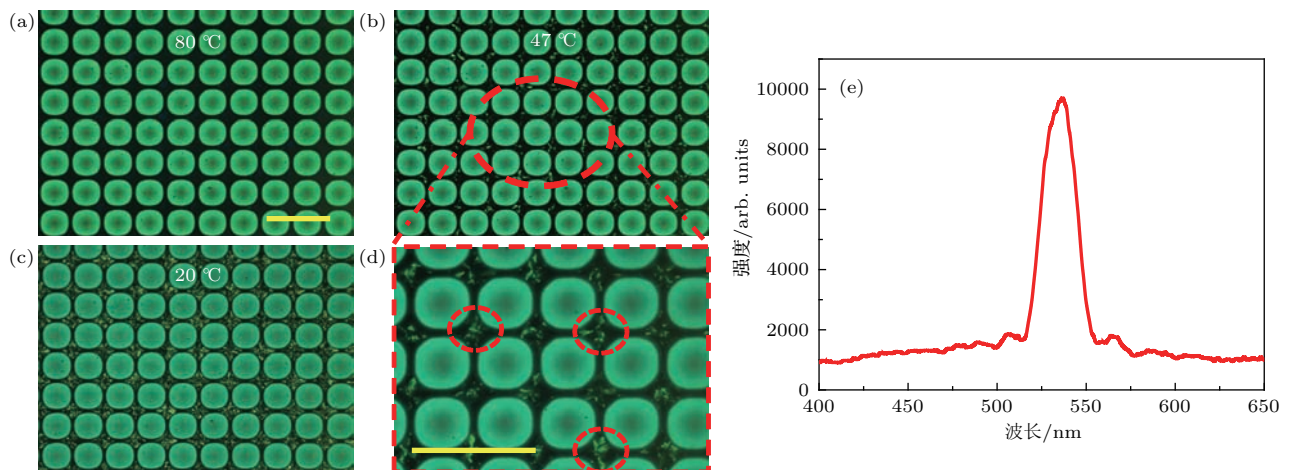


图3 聚合物稳定的二维取向蓝相阵列微结构在不同温度下的显微结构及其变化 (a) 80 °C时晶格取向一致的蓝相区与各向同性区; (b) 47 °C时晶格取向一致/随机取向分布的蓝相混合区; (c) 20 °C时晶格取向一致的蓝相区与无序手性向列相区; (d) 图(b)的局部放大, 标记处为二维取向蓝相阵列的间隔区域; (e) 图(d)中二维取向蓝相阵列间隔区域的光谱图; 标尺为100  $\mu\text{m}$

Fig. 3. Variations of polarizing optical microscope textures of two-dimensional polymer-stabilized blue phase array with uniform lattice orientation at different temperatures: (a) Uniformly oriented blue phase pattern and isotropic area at 80 °C; (b) uniform and random crystallographic orientation pattern of blue phase soft lattice at 47 °C; (c) uniformly oriented blue phase pattern and randomly dispersed chiral nematic phase at 20 °C; (d) partial enlarged drawing of panel (b); (e) the spectrum of area dispersed in two-dimensional polymer-stabilized blue phase array with uniform lattice orientation. Scale bar: 100  $\mu\text{m}$ .

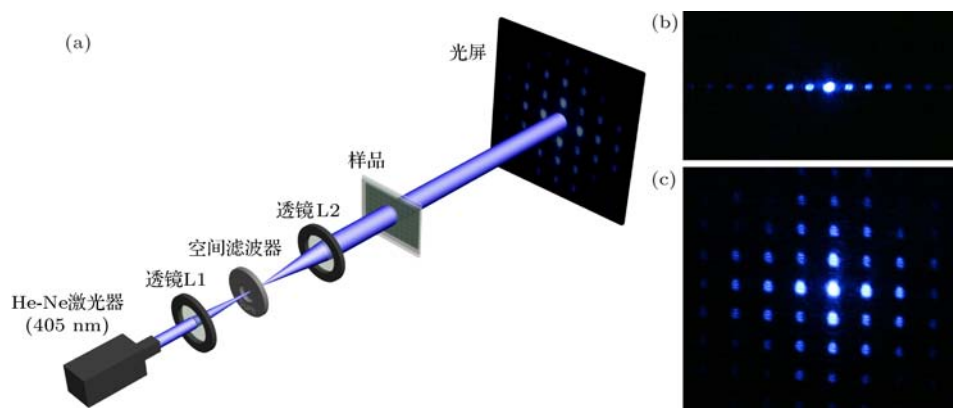


图4 (a) 样品微结构衍射测试光路图; (b) 一维微结构的特征光学衍射图案; (c) 二维方格阵列微结构的特征光学衍射图案

Fig. 4. (a) Schematic of optical setup for diffraction pattern measurement; (b) the characteristic diffraction pattern of one-dimensional grating micropattern; (c) the characteristic diffraction pattern of two-dimensional square array micropattern.

## 4 结 论

本文研究了周期分布的微区域蓝相的晶格取向的控制、稳定化及其光子器件化的工作。首先基于表面摩擦取向控制晶体的生长方向, 获得晶格指向有序的蓝相液晶样品, 然后通过聚合物稳定的方法克服蓝相自身存在的稳定性差的特点, 获得温度、电场等外场作用下稳定存在的样品, 同时基于掩膜曝光法任意地控制取向稳定区域的微区图案分布, 相应地在非曝光区域由于可能的单体迁移及聚合物扰动等因素使得该区域的取向结构被打乱, 使得分子排列在空间呈现任意分布, 从而在实验中形成奇特的晶格指向的有序/无序共存分布, 并基于一系列这样的微结构研究了它在光子学方面的应用。这项工作拓宽了蓝相液晶应用的范围, 同时为蓝相在晶体学、光子学等领域的应用奠定了基础, 在很大程度上为其他软物质材料的晶体学取向操控及微结构化拓宽了思路。

## 参考文献

- [1] Wei B Y, Hu W, Ming Y, Xu F, Rubin S, Wang J G, Chigrinov V, Lu Y Q 2014 *Adv. Mater.* **26** 1590
- [2] Zheng Z G, Liu B W, Zhou L, Wang W, Hu W, Shen D 2015 *J. Mater. Chem. C* **3** 2462
- [3] Qi L, Wang Q H, Luo J Y, Zhao W X, Song C Q 2012 *J. Disp. Technol.* **8** 397
- [4] Wang Q H, Ji C C, Li L, Deng H 2016 *Opt. Express* **24** 9
- [5] Zheng Z G, Song J, Liu Y G, Guo F Z, Ma J, Xuan L 2008 *Liq. Cryst.* **35** 489
- [6] Sun P Z, Liu Z, Wang W, Ma L L, Shen D, Hu W, Lu Y, Chen L, Zheng Z G 2016 *J. Mater. Chem. C* **4** 9325
- [7] Lin T H, Li Y, Wang C T, Jau H C, Chen C W, Li C C, Bisoyi H K, Bunning T J, Li Q 2013 *Adv. Mater.* **25** 5050
- [8] Wen Y, Zheng Z G, Wang H F, Shen D 2012 *Liq. Cryst.* **39** 509
- [9] Zheng Z G, Li Y, Bisoyi H K, Wang L, Bunning T J, Li Q 2016 *Nature* **531** 352
- [10] Gu W, Wei J, Yu Y L 2016 *Chin. Phys. B* **25** 096103
- [11] Koçer G, Ter Schiphorst J, Hendrikx M, Kassa H G, Leclère P, Schenning A P H J, Jonkheijm P 2017 *Adv. Mater.* **29** 1606407
- [12] Chen Y T, Li C, Xu X R, Liu M, He Y W, Murtaza I, Zhang D W, Yao C, Wang Y F, Meng H 2017 *ACS Appl. Mater. Interfaces* **9** 7305
- [13] Crooker P P 1983 *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **98** 31
- [14] Meiboom S, Sammon M, Berreman D W 1983 *Phys. Rev. A* **28** 3553
- [15] Henrich O, Stratford K, Cates M E, Marenduzzo D 2011 *Phys. Rev. Lett.* **106** 107801
- [16] Chen X W, Wang L, Li C Y, Xiao J M, Ding H J, Liu X, Zhang X G, He W L, Yang H 2013 *Chem. Commun.* **49** 10097
- [17] Wang J, Lin C G, Zhang J Y, Wei J, Song Y F, Guo J B 2015 *J. Mater. Chem. C* **3** 4179
- [18] Chen H Y, Chiou J Y, Yang K X 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 181119
- [19] He Z H, Chen C P, Zhu J L, Yuan Y C, Li Y, Hu W, Li X, Li H J, Lu J G, Su Y K 2015 *Chin. Phys. B* **24** 064203
- [20] Castles F, Morris S M, Hung J M, Qasim M M, Wright A D, Nosheen S, Choi S S, Outram B I, Elston S J, Burgess C, Hill L, Wilkinson T D, Coles H J 2014 *Nat. Mater.* **13** 817
- [21] Hur S T, Lee B R, Gim M J, Park K W, Song M H, Choi S W 2013 *Adv. Mater.* **25** 3002
- [22] Kikuchi H, Yokota M, Hisakado Y, Yang H, Kajiyama T 2002 *Nat. Mater.* **1** 64
- [23] Coles H J, Pivnenko M N 2005 *Nature* **436** 997
- [24] Zheng Z G, Shen D, Huang P 2010 *New J. Phys.* **12** 113018



- [25] Zhu G, Lin X W, Hu W, Zheng Z G, Wang H F, Cui H Q, Shen D, Lu Y Q 2011 *Opt. Mater. Express* **1** 1478
- [26] Zheng Z G, Shen D, Huang P 2011 *New J. Phys.* **13** 063037
- [27] Yang W Q, Cai G Q, Liu Z, Wang X Q, Feng W, Feng Y, Shen D, Zheng Z G 2017 *J. Mater. Chem. C* **5** 690
- [28] He W L, Pan G H, Yang Z, Zhao D Y, Niu G G, Huang W, Yuan X T, Guo J B, Cao H, Yang H 2009 *Adv. Mater.* **21** 2050
- [29] Karatairi E, Rozic B, Kutnjak Z, Tzitzios V, Nounesis G, Cordoyiannis G, Thoen J, Glorieux C, Kralj S 2010 *Phys. Rev. E* **81** 041703
- [30] Wang J, Mao J L, Fan H X, Wang Q H 2016 *Chin. Phys. B* **25** 094223
- [31] Li X, Yang W Q, Yuan C L, Liu Z, Zhou K, Wang X Q, Shen D, Zheng Z G 2017 *Sci. Rep.* **7** 10383
- [32] Cao W, Munoz A, Palfy-Muhoray P, Taheri B 2002 *Nat. Mater.* **1** 111
- [33] Wang L, Wang M, Yang M C, Shi L J, Deng L G, Yang H 2016 *Chin. Phys. B* **25** 094217
- [34] Jo S Y, Jeon S W, Kim B C, Bae J H, Araoka F, Choi S W 2017 *ACS Appl. Mater. Interfaces* **9** 8941
- [35] Chen Y, Wu S T 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 171110
- [36] Yamamoto S I, Haseba Y, Higuchi H, Okumura Y, Kikuchi H 2013 *Liq. Cryst.* **40** 639
- [37] Nayek P, Jeong H, Park H R, Kang S W, Lee S H, Park H S, Lee H J, Kim H S 2012 *Appl. Phys. Express* **5** 051701
- [38] Yan J, Wu S T, Cheng K L, Shiu J W 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 081102
- [39] Kim K, Hur S T, Kim S, Jo S Y, Lee B R, Song M H, Choi S W 2015 *J. Mater. Chem. C* **3** 5383
- [40] Ma L L, Li S S, Li W S, Ji W, Luo B, Zheng Z G, Cai Z P, Chigrinov V, Lu Y Q, Hu W, Chen L J 2015 *Adv. Opt. Mater.* **3** 1691
- [41] Ma L L, Tang M J, Hu W, Cui Z Q, Ge S J, Chen P, Chen L J, Qian H, Chi L F, Lu Y Q 2017 *Adv. Mater.* **29** 1606671
- [42] Zheng Z G, Yuan C L, Hu W, Bisoyi H K, Tang M J, Liu Z, Sun P Z, Yang W Q, Wang X Q, Shen D, Li Y, Ye F, Lu Y Q, Li G, Li Q 2017 *Adv. Mater.* **29** 1703165
- [43] Nayek P, Park N H, Noh S C, Lee S H, Park H S, Lee H J, Hou C T, Lin T H, Yokoyama H 2015 *Liq. Cryst.* **42** 1111
- [44] Oton E, Netter E, Nakano T, Katayama Y D, Inoue F 2017 *Sci. Rep.* **7** 44575
- [45] Martinez-Gonzalez J A, Li X, Sadati M, Zhou Y, Zhang R, Nealey P F, de Pablo J J 2017 *Nat. Commun.* **8** 15854
- [46] Dziomkina N V, Vancso G J 2005 *Soft Matter* **1** 265
- [47] Rossi L, Sacanna S, Irvine W T M, Chaikin P M, Pine D J, Philipse A P 2011 *Soft Matter* **7** 4139
- [48] Quan Z W, Xu H W, Wang C Y, Wen X D, Wang Y X, Zhu J L, Li R P, Sheehan C J, Wang Z W, Smilgies D M, Luo Z P, Fang J Y 2014 *J. Am. Chem. Soc.* **136** 1352

# Localization of blue phase liquid crystal with ordered crystallographic direction and well-defined micro-patterning\*

Zhou Kang<sup>1)2)</sup> Yuan Cong-Long<sup>1)</sup> Li Xiao<sup>1)2)</sup> Wang Xiao-Qian<sup>1)</sup> Shen Dong<sup>1)</sup>  
Zheng Zhi-Gang<sup>1)†</sup>

1) (*Department of Physics, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China*)

2) (*School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China*)

( Received 23 November 2017; revised manuscript received 29 December 2017 )

## Abstract

The construction of uniform orientation of crystallographic direction of blue phase is of great importance for its practical applications and the scientific research of multi-dimensional controllable growth of soft matter. With the consideration of the weak thermal stability of blue phase, the uniform lattice orientation of blue phase is combined with localized polymer-stabilization in this work. So the relatively stable fabrication of micro-patterns for blue phase can be realized, and it is promising for researchers to prepare brand new photonic devices. To the best of our knowledge, the relevant reports are rather rare, and the successful implementation of the above ideas is full of difficulties according to current conditions. In this paper, the uniform, patterned and stable orientation of crystallographic direction of blue phase is achieved by using the aforementioned integrated method. Here in this work, facile rubbing alignment is used as the primary way to realize the uniform lattice orientation. Meanwhile, the polymer-stabilization, as an effective technological way, is used to stabilize the frustrated topological structure of aligned blue phase for a better stability and its application perspective. Furthermore, we construct the well-defined micro-patterned blue phase array including one-dimensional and two-dimensional pattern in virtue of facile and effective localized exposure. Simultaneously, the stability of such a micro-pattern under external field is also investigated to evaluate the validity of stabilized superstructure and characteristic behavior of unstable region. As a result, the micro-patterned blue phase array keeps good state even under the adequate exposure to high voltage. Finally, the potential photonic application is explored based on the above micro-patterns which exhibit good optical diffraction effects in the experiment that follows. In conclusion, it really provides a feasible route for achieving stable control about orientation of soft matter, like liquid crystal, and fabricating field-stable and periodic superstructure. Such a research will speed up the development of blue phase liquid crystal in crystallography, electronics, and photonics.

**Keywords:** blue phase, polymer stabilization, localization, micropattern

**PACS:** 61.30.Mp, 61.30.Hn, 81.16.Rf

**DOI:** 10.7498/aps.67.20172517

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61435008, 61575063, 61705067), the Shanghai Rising-Star Program, China (Grant No. 17QA1401100), and the Shanghai Pu-jiang Program, China (Grant No. 16PJ1402200).

† Corresponding author. E-mail: [zgzheng@ecust.edu.cn](mailto:zgzheng@ecust.edu.cn)