

一种短焦距双层液晶透镜阵列

李睿¹, 储繁¹, 李磊¹, 王琼华²

1. 四川大学电子信息学院, 成都 610065

2. 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京 100191

Email: qionghua@buaa.edu.cn

摘要: 液晶透镜的电控焦距特性可广泛适用于 2D/3D 可切换显示领域¹。然而, 由于液晶透镜的光焦度与半径的平方成反比, 导致液晶透镜的大孔径和短焦距性能很难兼得, 这一因素限制了液晶透镜的应用范围²。本文提出了一种短焦距双层液晶透镜阵列。如图 1 所示, 该液晶透镜阵列上下两层采用相同结构。每层结构中, 条形电极涂敷于基板上方, 由三棱柱高介电层与低介电层组成的复合介电层制作于条形电极之上, 有效降低了液晶透镜阵列的工作电压, 且三棱柱高介电层有效的平滑了液晶透镜阵列的剖面。施加电压时, 由于复合介电层的作用, 条形电极之间产生空间不均匀的电场, 使液晶层内实现梯度折射率分布。双层设计使每个透镜元内液晶层的中心与边缘之间的相位差增加一倍, 从而减小了液晶透镜阵列的焦距。当驱动电压 $V=3.3\text{V}$ 时, 液晶透镜阵列获得最短焦距 ($\sim 1.78\text{mm}$)。此外液晶透镜阵列具有较大的调焦范围。

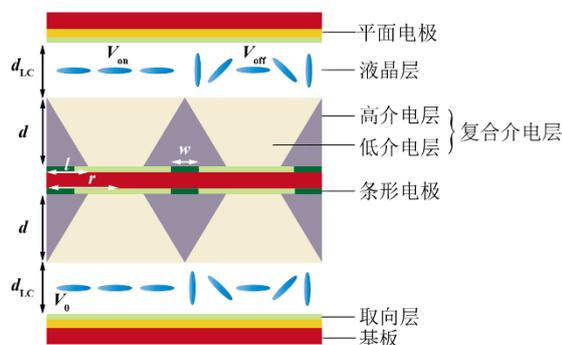


图 1 提出透镜阵列的结构

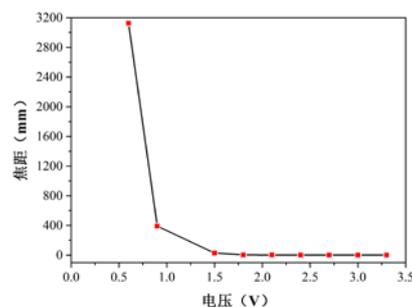


图 2 提出透镜阵列的焦距

关键词: 液晶透镜, 短焦距, 低驱动电压

参考文献

- 【1】 Hiddink MGH, Zwart STD, Willemsen OH et al, Locally switchable 3D displays, Soc Inf Disp Tech Dig. 2006, 20(1),1142-1145.
- 【2】 Dou H, Chu F, Guo YQ et al, Large aperture liquid crystal lens array using a composited alignment layer, Opt Express. 2018, 26(7),9254-9262.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 61535007) 和装备预先研究项目 (No.JZX2017-1570/Y464)

一种短焦距双层液晶透镜阵列

李睿¹, 储繁¹, 李磊¹, 王琼华²

1. 四川大学电子信息学院, 成都 610065

2. 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京 100191

Email: qionghua@buaa.edu.cn

摘要: 液晶透镜的电控焦距特性可广泛适用于 2D/3D 可切换显示领域¹。然而, 由于液晶透镜的光焦度与半径的平方成反比, 导致液晶透镜的大孔径和短焦距性能很难兼得, 这一因素限制了液晶透镜的应用范围²。本文提出了一种短焦距双层液晶透镜阵列。如图 1 所示, 该液晶透镜阵列上下两层采用相同结构。每层结构中, 条形电极涂敷于基板上方, 由三棱柱高介电层与低介电层组成的复合介电层制作于条形电极之上, 有效降低了液晶透镜阵列的工作电压, 且三棱柱高介电层有效的平滑了液晶透镜阵列的剖面。施加电压时, 由于复合介电层的作用, 条形电极之间产生空间不均匀的电场, 使液晶层内实现梯度折射率分布。双层设计使每个透镜元内液晶层的中心与边缘之间的相位差增加一倍, 从而减小了液晶透镜阵列的焦距。当驱动电压 $V=3.3\text{V}$ 时, 液晶透镜阵列获得最短焦距 ($\sim 1.78\text{mm}$)。此外液晶透镜阵列具有较大的调焦范围。

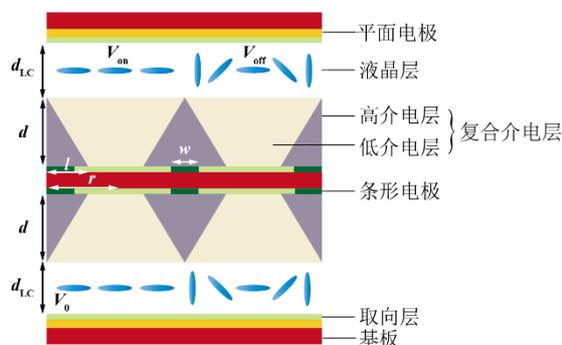


图 1 提出透镜阵列的结构

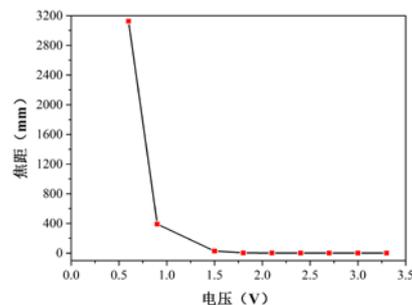


图 2 提出透镜阵列的焦距

关键词: 液晶透镜, 短焦距, 低驱动电压

参考文献

- 【3】 Hiddink MGH, Zwart STD, Willemsen OH et al, Locally switchable 3D displays, Soc Inf Disp Tech Dig. 2006, 20(1),1142-1145.
- 【4】 Dou H, Chu F, Guo YQ et al, Large aperture liquid crystal lens array using a composited alignment layer, Opt Express. 2018, 26(7),9254-9262.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 61535007) 和装备预先研究项目 (No.JZX2017-1570/Y464)

Controllable dynamic solitary waves in liquid crystals

可控的液晶拓扑孤波

Satoshi Aya (謝 曉晨)

华南理工大学 华南软物质科学与技术高等研究院, 广州
satoshiaya@scut.edu.cn

摘要: Topological solitary waves, dubbed “solitons (孤波)”, represent nontrivial and distorted vector fields, which are distinct to the far-field background, exhibiting particle-like nature. Generating and switching solitons¹⁻⁴, resembling topologically-protected states such as magnetic skyrmions, have risen up tremendous interests in understanding solitonic behaviors at microscopic scale. Recently, Li et al showed an electrically-driven solitonic movement⁵. The utmost challenge is to generate new types of dynamic solitons and control the motions of them.

Here, we present a novel example of generating a swarm of motile dynamic solitons in nematic liquid crystals mediated by topological networks by using an electric field. We show that reversible generation-extinction processes of the solitons and the subsequent motion control with variable angles can be achieved by simply tuning frequency and amplitude of the electric field.

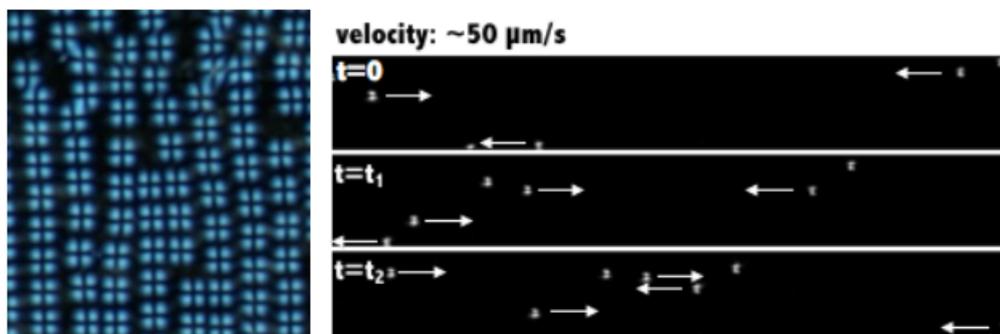


Figure 1 (Left) Electrically-pumped topological solitons, floating in planarly-aligned nematic background. Diameter of solitons is about $10\mu\text{m}$; (Right) Snapshots of solitons upon movement under an electric field of $5V_p$ at 20Hz.

References

- [1] P. J. Ackerman, R. P. Trivedi, B. Senyuk, J. van de Lagemaat, Ivan I. Smalyukh, Phys. Rev. E 90, 012505 (2014).
- [2] P. J. Ackerman, Ivan I. Smalyukh, Phys. Rev. Lett., 7, 011006 (2017).
- [3] P. J. Ackerman, Ivan I. Smalyukh, Nature Mater., 16, 426 (2017).
- [4] A. Nych, J. Ichi Fukuda, U. Ognysta, S. Žumer, I. Mušević, Nat. Phys., 13, 1215 (2017).
- [5] B.-X. Li, V. Borshch, R.-L. Xiao, S. Paladugu, T. Turiv, S. V. Shiyankovskii, O. D. Lavrentovich, Nat. Commun. 9: 2912. doi: 10.1038/s41467-018-05101-y (2018).

生物化学液晶光学传感器

牛小方, 罗丹

电子与电气工程系, 南方科技大学, 深圳市南山区学苑大道 1088 号, 518055

我们展示了几种基于液晶的生物和化学光学传感器, 用于检测胆酸, 氨和 Pb^{2+} 。基于液晶的光学传感器展示了一种高选择性, 灵敏度高的新型裸眼传感器, 通过改变传感分子, 可以为生物和化学领域的其他重金属, DNA 或抗原提供了一个新的平台。

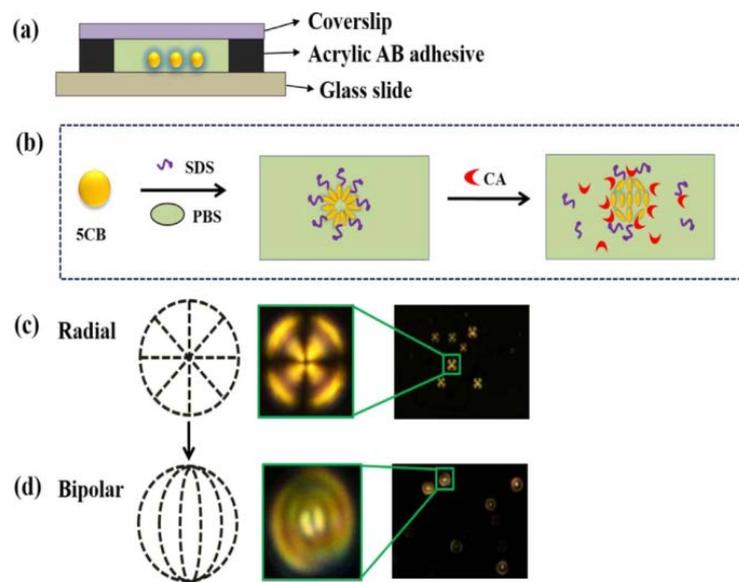


图 1 胆酸的探测机理示意图

光响应液晶的光控行为

项颖

广东工业大学信息工程学院, 广州 510006

Email: xiangy@gdut.edu.cn

摘要:

Herein, we have investigated four-ring based bent-core molecules with methylated azobenzene wings exhibiting nematic mesophase. The materials were able to show photoswitching behaviour and photo-masking effect in liquid crystalline state *via* nematic to isotropic order to disorder transition when illuminated with UV light. In solid state the materials change its colour from yellow to orange-red as a function of UV light exposure. The representative compound was studied to observe the optically-enhanced Fréedericksz transition (FT) effect stimulated by UV light intensity. A prototype of phase grating has also been devised based upon the observed FT enhanced effect that have prospect in certain photonic devices of dynamic and reversible light manipulation.

关键词: 液晶, 微观结构, 光控, 偶氮

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11774070)

液晶漏波天线设计

孟繁义

哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 哈尔滨 150001

Email: blade@hit.edu.cn

摘要: 漏波天线本身具有随着馈入的电磁波频率的变化, 天线主瓣方向也会变化的频率扫描特性。漏波天线的频扫特性在过去有着较为广泛的应用[1], 但这种频扫特性往往会占据一段较宽的连续的频带资源。因此定频扫描漏波天线的概念引起人们的关注。定频扫描漏波天线一般是在漏波天线上加载电控开关或电调介质, 通过外加电压来改变开关的通断或介质的电磁特性, 以在某个固定频点上改变漏波天线的波束方向, 实现定频波束扫描。液晶是一种介电各向异性的材料, 在外加电场变化时, 液晶各个方向的介电常数也会发生变化, 而且在整个微波甚至太赫兹频段中, 液晶的电磁特性十分稳定, 损耗也很低, 由于这些优良的性质, 液晶材料开始应用于 Ku 波段以上的电控扫描漏波天线的设计中, 但液晶电控扫描漏波天线现在仅仅处于起步阶段, 设计方法和加工工艺均不够成熟。

课题组对液晶电控扫描漏波天线的设计方法进行了讨论, 并设计了如图 1 所示的纵横缝隙混合漏波天线结构。仿真结果表明该纵横缝隙混合漏波天线在 13.6 GHz 实现了 -7.7° 至 $+7^\circ$ 连续平滑的过零扫描, 总扫描角度到达 17.5° , 天线的实际增益从 8.27 dB 变化至 8.86 dB。研究中并利用半模梳状波导理论将其尺寸缩小到之前的一般, 成功实现了液晶电控扫描漏波天线的小型化。

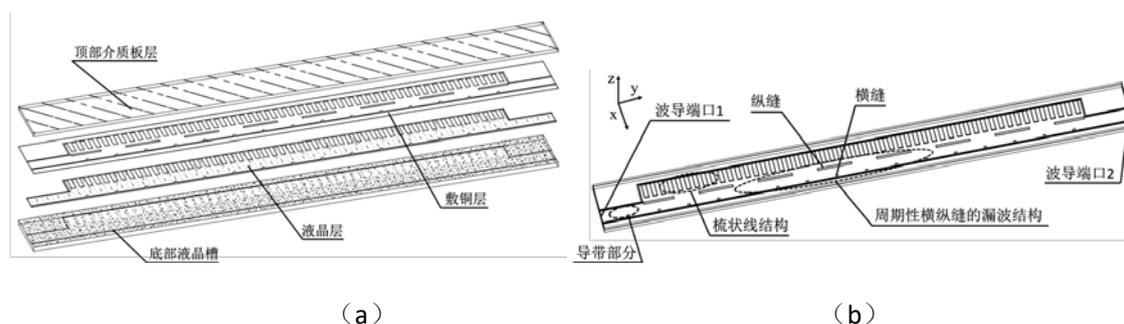


图 1 液晶漏波天线结构示意图 (a) 分层结构示意图 (b) 俯视图

关键词: 液晶; 电控扫描; 漏波天线

参考文献

- 【1】 Li Y, Long Y. Frequency-fixed beam-scanning microstrip leaky-wave antenna with multi-terminals[J]. Electronics Letters, 2006, 42.

新型 PB 相位元件的设计与制备

陈万

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033

Email: chenwanht@163.com

摘要: 在发现光是一种横波之后, 光的偏振逐渐被人们所熟知。传统意义上的偏振光包括线偏振、椭圆偏振和圆偏振, 这些偏振态都是空间均匀分布的, 即光的波阵面上各点有着相同的偏振态。近年来, 具有空间非均匀偏振分布的矢量光束开始受到研究人员的青睐。PB(Pancharatnam-Berry)相位是一种几何相位, 它是由于光的偏振态的不均匀变化带来的相位变化。一些具有优良性能的 PB 相位已经被报道, 例如液晶偏振光栅、偏振透镜、叉形偏振光栅等。

课题组团队从光与物质的相互作用出发, 以光的偏振态的变化所产生的 PB 相位为基础建立液晶偏振光栅的物理模型, 通过基于有限元法的 COMSOL Multiphysics 软件模拟光通过液晶偏振光栅的物理过程, 解释光通过液晶偏振光栅所产生的现象, 并在理论上研究液晶偏振光栅的衍射效率、电压响应特性和光谱特性等。在此基础上, 从光与液晶分子的相互作用, 建立起基于麦克斯韦方程计算求解的物理模型, 通过软件仿真设计 PB 相位元件的液晶分子的排布, 实现 PB 相位元件的预设目标需求。在建立起完整的物理原理模型及仿真模型之后, 搭建 PB 相位元件的制备光路, 在实验室原有的液晶偏振光栅的制备光路的基础上做调整, 实现新型 PB 相位元件的制备。

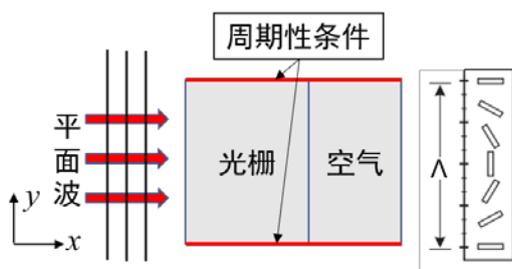


图 1 偏振光栅仿真方案: 单周期结构模型

关键词: PB 相位 偏振态调制

参考文献

- 【1】 S. Pancharatnam. Generalized theory of interference, and its applications, Proc. Indian Acad. Sci.1956, A 44, 247
- 【2】 J. Kim, C. Oh, M. J. Escuti, L. Hosting, and S. Serrati. Wide-angle, nonmechanical beam steering using thin liquid crystal polarization gratings, Proc. SPIE, 2008, 7093, 709302

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11604327、11704377、11804336)

液晶偏振透镜变焦组合设计

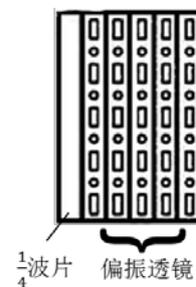
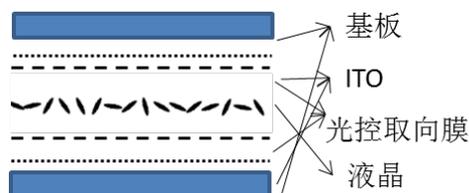
魏如东

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，长春 130033

Email: weirudong17@mails.ucas.ac.cn

摘要:液晶偏振透镜属于液晶偏振器件的一种。与传统的光学器件对光学材料形状和折射率的调制不同，液晶偏振器件调制的液晶分子指向矢的（光学各向异性轴）具体特定的空间排列，因而不同空间位置会产生特定相位差，达到波前控制的效果。对比传统光学器件，其具有体积小、重量轻、光束偏振可调性等优势；此外其光学效率很高，与传统光学玻璃相当；口径可以从微米做到米；制作成本低。因此这种新的光学器件具有很高的适用性，利于集成化，工业化，发展前景十分乐观。

主动式偏振液晶透镜本体是由两片基板压成的液晶“盒”，其中基板内侧涂有ITO膜和光控取向膜。利用偏振全息干涉光路，将透镜的波前信息记录在光控取向膜上，在利用光控取向膜对液晶分子的锚定作用对液晶进行定向排列，从而实现偏振透镜效果。同时，利用电场对液晶分子的作用力，在特定电压下，液晶分子随电场重新排列，透镜效果消失。利用电场对偏振透镜屈光能力的改变，在圆偏振光下，液晶透镜组就可以实现变焦的功能。



关键词：液晶偏振透镜；变焦

参考文献

【1】Tabiryan N V, Serak S V, Roberts D E, et al. Thin waveplate lenses of switchable focal length - new generation in optics[C]// 2015:25783.

【2】Kim J . Liquid Crystal Geometric Phase Holograms for Efficient Beam Steering and Imaging Spectropolarimetry[J]. Dissertations & Theses - Gradworks, 2011.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11604327、11704377、11804336）

基于神经网络的傅里叶叠层成像重建算法

孙铭璐

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林省长春市东南湖大路 3888 号 130033

Email: 1498929112@qq.com

摘要: 傅里叶叠层成像技术 (Fourier ptychographic microscopy, (FPM)) 是 2013 年提出的一种新型计算成像技术, 其借鉴了传统叠层成像 (Ptychography) 的思想, 具有大视场, 高分辨率, 定量相位测量等诸多优势。在 FPM 系统的成像过程中, 二维的薄物体由来自不同角度的平面波照明, 在物镜后焦面上物体的频谱被平移到对应的不同位置上, 因此一些本来超出物镜数值孔径的频率成分被平移到物镜数值孔径以内, 从而能够传递到成像面进行成像。FPM 的成像原理如图 1(a)所示, 传统的 FPM 重建算法利用迭代的思想在频域空域间交替进行, 在频域有光瞳函数作为约束, 空域有测量强度作为约束。然而近几年随着深度学习在图像处理领域的不断发展, 如何用神经网络来解决超分辨图像重建问题成为了人们关注的热点, 本文结合深度学习框架 (TensorFlow) 将待恢复的高分辨率频谱作为网络中可被训练的参数并搭建了针对 FPM 超分辨重建的神经网络。与传统深度学习网络不同, 本次提出的神经网络算法本质上采用的依旧是迭代更新的方式, 所以其不需要用大量的已知数据对网络进行预先的训练, 从而可以省下大量的训练时间。该网络的结构图以及采用该方法的重建效果如图 1(b)-1(c)所示。

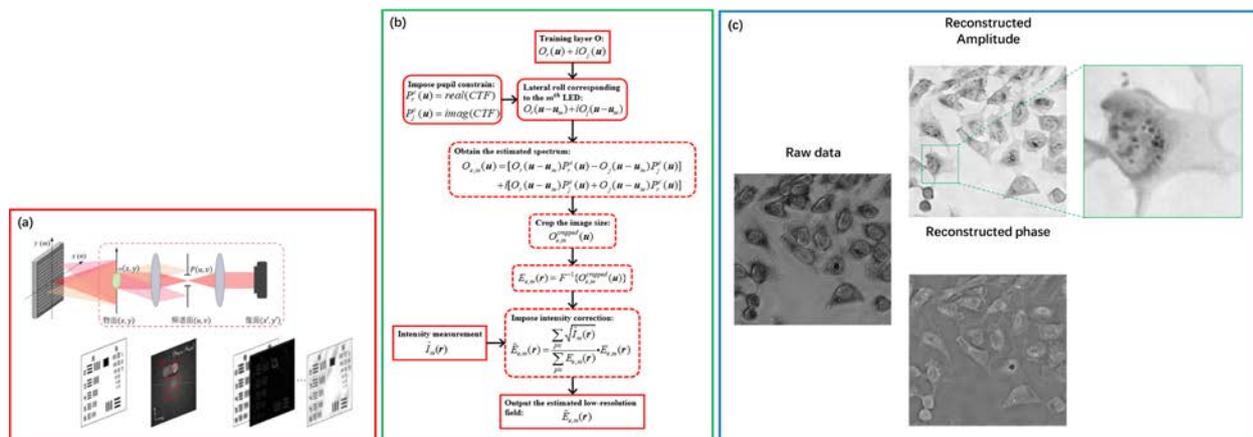


图 1 FPM 成像原理图以及重建网络结构图和重建结果

关键词: 傅里叶叠层成像, 深度学习

参考文献

- 【1】 Zheng G, Horstmeyer R, Yang C. Wide-field, high-resolution Fourier ptychographic microscopy[J]. Nature Photonics, 2013, 7(9):739-745.
- 【2】 Shaowei J, Kaikai G, Jun L, et al. Solving Fourier ptychographic imaging problems via neural network modeling and TensorFlow[J]. Biomedical Optics Express, 2018, 9(7):3306-.

利用液晶空间光调制器实现超高精度光束偏转的优化相位生成算法

王承邈、穆全全、王启东

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033

Email: wang985504950@163.com

摘要: 基于液晶空间光调制器的高精度光束偏转技术目前广泛应用于激光雷达, 激光通信等领域。传统的相位生成算法——变周期法 (VPG) 存在局部位置指向精度劣化, 角分辨率不足等问题。而针对此类缺陷提出的子孔径相干算法 (SAC) 在光束口径误差, 装调误差, 横向机械振动等复杂因素存在时同样显示出了扫描角度稳定性欠缺的弊端。

本课题组根据 SAC 算法思想首次提出对称径向子孔径相干算法 (SRSAC), 在提升指向精度、扫描精度的同时保证偏转角度的稳定性。在此基础上, 该团队对底层 VPG 算法中偏转角度误差的具体形式进行了深入分析, 得出了局部指向精度缺陷 (误差峰) 的分布规律, 并对不同阶次误差峰的峰宽进行了详细的模拟计算。针对加载常规 SRSAC 算法时上述误差峰存在少量残留的现象, 一种主动、定向式的误差剔除算法被明确地提出: 在已知目标缺陷中心位置、半径的前提下, 精调两子孔径对应的偏转角度, 使其规避误差峰的影响。该定向式误差剔除方法摆脱了高耗时的循环优化过程, 在有效保证捷变扫描频率的前提下实现了局部指向精度缺陷的完全剔除, 将最大误差的典型值限制在亚微弧度量级。

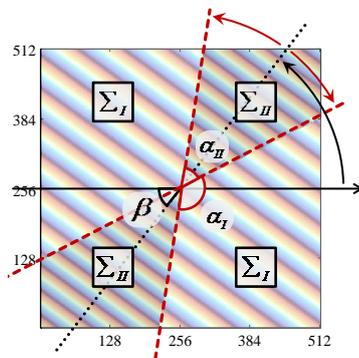


图 1 对称径向子孔径相干算法的相位示意图

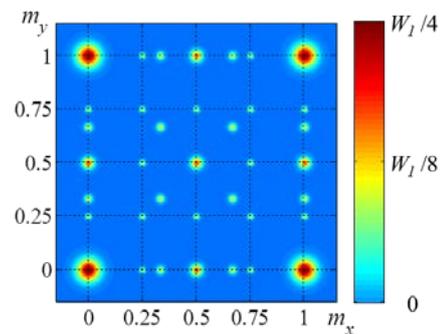


图 2 特征角度方域内待剔除误差峰的分布

关键词: 液晶空间光调制器 高精度光束偏转 变周期算法 对称径向子孔径相干算法 局部误差剔除方法

参考文献

- 【1】 C. Wang et al. "Radial sub-aperture coherence method used to achieve beam steering with high precision and stability," Opt. Express **27** (5), 6331-6347(2019).
- 【2】 C. Wang et al. "Two-dimensional symmetrical radial sub-aperture coherence and the local precision defect elimination method for high-precision beam steering," Opt. Express **27**(13), 18751-18765(2019).

基金项目: 国家自然科学基金 (NO. 11604327, 11704377, 11804336, 61405194, 11774342, 61805238, 61475152, 61775212, 61811530061, 61378075 and 61377032), 吉林省科技发展计划项目 (20170519016JH)

大视场高分辨率液晶自适应双光子光片显微成像系统

孙文强

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033

Email: 164610727@qq.com

摘要: 生物荧光显微成像技术在活体生物组织高时空分辨率成像领域占据重要地位。随着现代生命科学的发展, 各种类型的显微系统相继出现, 不同系统也在高时空分辨率、大成像视场、大成像深度、低光毒性等参数之间取舍。双光子光片显微镜兼具高时空分辨率、大穿透深度、低光毒性等优势, 使得活体生物组织的高时空分辨率长时间活体成为可能。但是, 由于活体生物组织通常是非透明、非均匀、各向异性的复杂三维结构, 激发光在生物组织内传播时会由于折射、散射、吸收等作用使得光波波前发生明显畸变, 造成激发光点扩散函数的性能显著降低, 严重限制了其照明视场 ($200\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ 以内)。借助自适应光学技术可对上述经由生物组织传播产生的波前畸变进行实时探测和精确校正, 从而提升激发光深层照明的空间分辨率, 进而提升照明和成像视场。

将自适应光学技术加入双光子光片显微镜的照明光路, 设计了自适应双光子光片显微成像系统。系统使用调制超声可调制梯度 (TAG) 透镜和液晶空间光调制器 (LC-SLM) 进行分区域轴向高速点扫描产生片层光, 使用夏克-哈特曼波前探测器 (S-H WFS) 对经由生物组织传播产生的波前畸变进行分区域探测, 并使用 LC-SLM 对波前畸变进行精确预校正。对系统进行光学分析和设计, 最终系统的轴向分辨率理论值达 700nm, 横向分辨率理论值达 400nm, 成像视场达 $700\mu\text{m}\times 700\mu\text{m}$, 突破了原始显微镜的成像视场限制, 同时保持了双光子高速点扫描特性, 从而保持了其低光毒性/光漂白的优势, 得到了大视场高分辨率自适应双光子光片显微成像系统, 使得活体生物组织的长时间大视场高分辨率成像成为可能。

关键词: 自适应光学, 生物活体成像, 荧光显微成像, 大视场

参考文献

- 【1】 张财华等. 自适应光学在生物荧光显微成像技术中的应用. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2017, 47: 084204
- 【2】 Zong W *et al.* Large-field high-resolution two-photon digital scanned light-sheet microscopy. *Cell Res*, 2015, 25: 254–257
- 【3】 Wang K *et al.* Rapid adaptive optical recovery of optimal resolution over large volumes. *Nat Meth*, 2014, 11: 625–628
- 【4】 Wang K *et al.* Direct wavefront sensing for high-resolution in vivo imaging in scattering tissue. *Nat Commun*, 2015, 6: 7276

基金项目: 应用光学国家重点实验室自主课题研究基金 (612205021)

高衍射效率与偏振无关硅基液晶

孙长俐、黄凯、陆建钢

上海交通大学电子工程系, 上海 200240

Email: lujg@sjtu.edu.cn

摘要: 随着光通信技术的不断发展, 可调谐全光网络正在成为研究热点, 其中具有波长无关性、方向无关性、无冲突及灵活栅格 (CDCG) 的可重构光分插复用系统是构成全光网络的重要设备。硅基液晶 (LCoS) 可通过电控相位调制, 进行波长选择、光束偏转与滤波等功能, 是实现 CDCG 的核心光器件。然而现有 LCoS 器件存在着大偏转角度下衍射效率较低, 串扰大的问题, 针对以上问题, 我们提出了大相位深度 LCoS 的概念, 开发了通信波段大 Δn 和 $\Delta \epsilon$, 以及低吸收的液晶材料, 减少了相位分布的回程区域, 降低了空间光束的散射损耗, 实现了大偏转角情况下 (4.5°) 的高衍射效率 (56.6%), 同时可以实现 0.004° 的偏转角分辨率。[1] 由于常规 LCoS 为偏振相关器件, 需要在系统中加入偏振片以及其他的器件来保证入射光的偏振态与 LCoS 器件的偏振方向一致, 这样大大增加了系统的功耗、复杂度以及成本。因此, 我们提出了一种基于蓝相液晶的硅基液晶空间光调制器, 设计了基于反射结构与液晶光波导的多光程相位调制, 实现了低电压 (小于 6V) 驱动下的 $2\pi@1550\text{nm}$ 的偏振无关相位调制深度, 并通过优化倾斜电场来匹配光束传播方向, 将调制光束的偏振相关度降至 3.09%。该高衍射效率与偏振无关硅基液晶器件在通信领域以及成像系统中具有相当的潜在应用。

关键词: 硅基液晶, 蓝相液晶, 衍射效率, 偏振无关

参考文献:

- [1] C. Sun, B. Zhang, S. Zha, Z. Yuan and J. Lu, "High-Efficiency Beam Steering LCOS for Wavelength Selective Switch," *Phot. Tech. Lett.*, 2018, 30(19), 1683-1686
- [2] R. M. Hyman, A. Lorenz and T. D. Wilkinson, "Phase modulation using different orientations of a chiral nematic in liquid crystal over silicon devices," *Liquid Crystals*, 2016, 43(1), 83-90
- [3] C.-T. Wang, C.-L. Wu, H.-W. Zhang, T.-H. Lin and C.-K. Lee, "Polarization-independent 2π phase modulation for Terahertz using chiral nematic liquid crystals," *Opti. Mate. Expr.*, 2016, 6(7), 2283-2290

基金项目: 自然科学基金面上项目 (61775135)

不同聚合物材料在聚合物稳定液晶器件的应用

孙玉宝

河北工业大学理学院，天津 300401

Email: sun_yubao@163.com

摘要：聚合物稳定液晶器件在应用中得到了越来越多的应用，但是其驱动电压较高，迟滞效应较大的缺点，始终限制着其应用的广度。降低这些液晶器件的驱动电压和迟滞效应，是该类型液晶器件急切需要解决的问题。聚合物材料与液晶之间的相互作用力的大小，聚合物材料中的电压降，聚合物网络空间尺寸的大小，都是影响着该类液晶器件性能的主要因素。

课题组团队在以下几个方面进行了研究：（1）在研究液晶和聚合物等材料的介电常数的基础上，结合电动力学中电势分布与介电常数的关系，提出了采用高介电常数聚合物材料来降低驱动电压的方法。通过在聚合物单体的侧向增加 F 基团，提高该材料的横向介电常数，从而提高材料的平均介电常数，达到在聚合物中的电压降下降的结果，可以得到 30% 的电压下降。（2）使用非线性刚性基团的聚合物单体替代传统的 RM257 聚合物单体材料，可以获得驱动电压的 3 倍改进，但是迟滞效应会变差一些。（3）在优化了混合 RM257 和新的聚合物单体的比例情况下，添加一些表面活性剂，可以获得驱动电压的一倍改进，并且迟滞效应降低一半。使用新的聚合物单体材料和表面活性剂材料，可以有效地降低驱动电压和迟滞效应，将对实现低驱动电压聚合物稳定液晶体系有重要的指导意义。

关键词：聚合物稳定液晶，高介电常数，活性剂，迟滞效应

参考文献

- 【1】 L. Gao *et al.*, High dielectric polymer and its application on electro-optical Kerr effect of blue phase liquid crystal, *Appl. Phys. Lett.* 2018, 113 (22), 221907.

基金项目：科技部重点研发计划项目（NO. 2018YFB0703701）国家自然科学基金项目（NO. 61475042）

胆甾相液晶核壳微结构的激光发射与结构色研究

陈鹭剑*, 车凯军, 杨玉洁, 单雨威, 李森森

厦门大学电子科学与技术学院电子工程系, 厦门 361005

*Email: Lujianchen@xmu.edu.cn

摘要: 近年来, 使用微流控技术制备胆甾相液晶 (Cholesteric liquid crystal, CLC) 液滴的研究正在引起越来越多的关注。面向芯片实验室 (Lab-on-chip) 应用, 我们使用玻璃毛细管微流控装置, 制备了具有多重乳液核壳微结构的染料掺杂胆甾相液晶 (Dye-doped CLC, DDCLC) 微激光器。通过使用不同泵浦光束直径对 DDCLC 液滴进行端向泵浦, 分析了不同激光模式的谐振机制, 并实现调控。除此之外, 我们还将讨论胆甾相液晶液滴中与结构色相关的最新工作进展。

关键词: 胆甾相液晶, 微流控, 核壳微结构, 激光, 结构色

参考文献

1. Humar, M., et. al., 3D microlasers from self-assembled cholesteric liquid-crystal microdroplets. *Opt. Express* **2010**, *18* (26), 26995-27003.
2. Uchida, Y., et. al., Controlled Fabrication and Photonic Structure of Cholesteric Liquid Crystalline Shells. *Adv. Mater.* **2013**, *25* (23), 3234-3237.
3. Chen, L. J., et. al., Photoresponsive Monodisperse Cholesteric Liquid Crystalline Microshells for Tunable Omnidirectional Lasing Enabled by a Visible Light-Driven Chiral Molecular Switch. *Adv. Optical Mater.* **2014**, *2* (9), 845-848.
4. Chen, L. J., et. al., Microfluidic fabrication of cholesteric liquid crystal core-shell structures toward magnetically transportable microlasers. *Lab Chip* **2016**, *16* (7), 1206-13.
5. Lin, Y. L., et. al., Competitive excitation and osmotic-pressure-mediated control of lasing modes in cholesteric liquid crystal microshells. *Appl. Phys. Lett.* **2017**, *110* (22), 223301.
6. Che, K. J., et. al, Microfluidic generation of cholesteric liquid crystal droplets with an integrative cavity for dual-gain and controllable lasing, *Lab Chip* **2019**, accepted.
7. Lee, S. S., et. al., Wavelength-tunable and shape-reconfigurable photonic capsule resonators. *Sci. Adv.* **2018**, *4*, eaat8276.
8. Noh, J., et. al., Tuneable multicoloured patterns from photonic cross-communication between cholesteric liquid crystal droplets. *J. Mater. Chem. C* **2014**, *2* (5), 806-810.
9. Geng, Y., et. al., Through the Spherical Looking-Glass: Asymmetry Enables Multicolored Internal Reflection in Cholesteric Liquid Crystal Shells. *Adv. Optical Mater.* **2018**, *6* (1), 1700923.
10. Schwartz, M., et. al., Cholesteric Liquid Crystal Shells as Enabling Material for Information-Rich Design and Architecture. *Adv. Mater.* **2018**, *30* (30), e1707382.
11. Lee, S. S., et. al., Structural Color Palettes of Core-Shell Photonic Ink Capsules Containing Cholesteric Liquid Crystals. *Adv. Mater.* **2017**, *29* (23), 1606894.

基金项目: 国家自然科学基金 (61675172), 福建省自然科学基金 (2017J01124)

向列相类矩形井内的有序重构的探究

吴金兵

河北工业大学, 天津

摘要: 基于 Landau-de Gennes 理论, 利用松弛迭代法, 研究填充了向列相液晶的类矩形浅微米或亚微米级井内的结构转变。研究发现, 由于弧形边界的存在, 会在类矩形井的四个角各形成一个点缺陷。和正常的方形井类似, 也会在中心处形成两个斜对角点缺陷, 并且随着井尺寸的减小而逐渐向两斜对角移动。与方形井不同的是, 这两个点缺陷最后会与两个角处的缺陷相互抵消而只存在另外两个斜对角的点缺陷, 这是一个双稳态。当尺寸减小到一定的程度时, 也会出现星状的有序重构, 但由于弧形边界的存在, 星状有序重构的尺寸会减小。

关键词: Landau-de Gennes 理论、类矩形井、弧边效应、有序重构

柔性光驱动液晶显示器

孙嘉瞳、刘洋、桑景新

东华大学信息学院, 上海 201620

Email: jsun@dhu.edu.cn

摘要: 电子纸是一种特殊的显示屏幕, 利用外界环境光作为光源, 不需要背光灯管, 具有广阔的应用前景。然而传统的电子纸显示技术在响应速度、驱动电路复杂程度、分辨率、灰阶显示、彩色显示、柔性显示以及成本方面遇到了很大困难。本文中的“新型、快速、光驱动、全彩色、柔性液晶电子纸显示系统”针对上述问题进行深入的分析研究。首先在非接触式光控取向技术的基础上建立光驱动液晶显示响应时间的物理模型, 利用液晶层的排列来优化响应速度; 其次设计、实现光驱动模块, 集成灰阶控制, 并提高出射光的准直性; 接下来通过胆甾醇液晶材料的选择和设计, 提高对比度和背面基板的光反射率, 优化色域大小; 最后实现显示层面上的柔性, 通过柔性间隙子的设计, 提高电子纸的受力能力。希望在综合解决上述问题的基础上实现液晶电子纸显示系统的研究与制备。

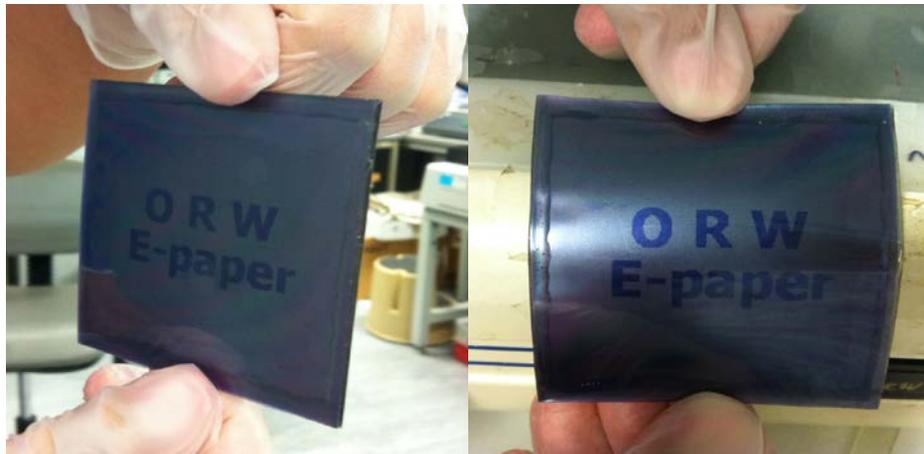


图 1 柔性电子纸

关键词: 电子纸, 光取向技术, 擦写速度, 彩色, 柔性

参考文献

【1】 J. T. Sun *et al*, Effect of Azo Dye Layer on Rewriting Speed of Optical Rewritable E-paper, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2012, 561, 1.

【2】 J. T. Sun *et al*, Optically Tunable and Re-writable Diffraction Grating with Photo-aligned Liquid Crystals, *Optics Letters*, 2013, 38(13), 2342.

【3】 J. T. Sun *et al*, Optically Rewritable 3D Liquid Crystal Displays, *Optics Letters*, 2014, 39(21), 6209.

喷墨打印高性能绝缘金属氧化物薄膜研究

宁洪龙、朱镇南、蔡炜、周尚雄、梁志豪、张旭、张观广、姚日晖*、彭俊彪

华南理工大学高分子光电材料与器件研究所, 发光材料与器件国家重点实验室, 材料科学与工程学院, 广东 广州 510640

Email: yaorihui@scut.edu.cn

摘要: 近年来, 喷墨打印由于其低成本、简工艺和图形化灵活的特点受到了广泛关注, 并在未来微电子制造领域表现出了巨大潜力。金属氧化物如氧化锆具有宽禁带与高介电常数的优势, 作为超高分辨率和超高刷新率显示技术的核心之一, 其喷墨打印制备相当关键。由于氧化物薄膜的绝缘参数与其厚度直接相关, 因此薄膜厚度的均匀性控制极为重要。然而由于液滴的不均匀蒸发引发的外向毛细流动, 喷墨打印的薄膜常常表现出环状的不均匀形貌, 从而限制了其在绝缘薄膜制备中的应用。

在不引入额外设备的前提下, 我们通过一种含聚合物的功能性墨水体系改善了氧化物打印的均匀性。引入具有热交联性质的线性高分子使墨水体系具备了热致凝胶特性。当打印薄膜受热时, 其内部形成聚合物分子链的网状结构。由于极性基团的存在, 凝胶网络对溶剂与溶质分子的亲和能力较强, 从而限制了溶质向液滴边缘的富集。同时, 由于凝胶网络对氧化物前驱体的亲和, 使得前驱体在局部富集, 从而降低了其缩聚温度, 进而降低了薄膜的退火温度。最终在退火温度为 250°C 下打印制备了高性能氧化锆薄膜, 其介电常数为 10, 当电场强度为 1MV/cm 时漏电流密度为 $5.4 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$ 。该墨水体系在印刷电子中展现出了较好的应用前景。

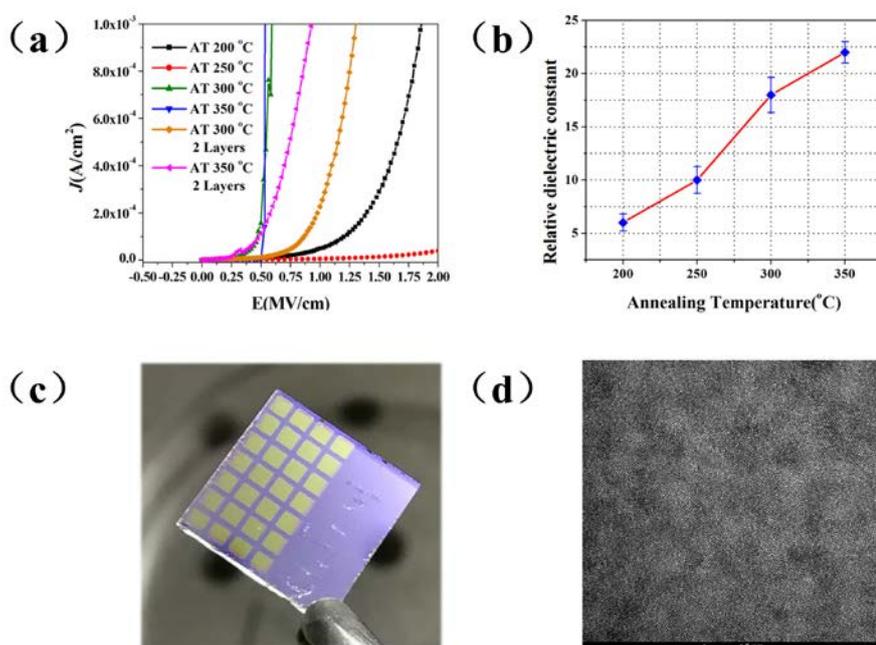


图 1 (a) 打印氧化锆薄膜在不同退火温度下的漏电性能 (b) 打印氧化锆薄膜在不同退火温度下的介

电常数 (c) 打印氧化锆薄膜阵列实物图 (d) 打印氧化锆薄膜截面 TEM 图像

关键词: 喷墨打印, 氧化锆薄膜, 打印均匀性, 聚合物, 凝胶

- 【1】 Zhennan Zhu, Honglong Ning*, Wei Cai, Jinglin Wei, Shangxiong Zhou, Rihui Yao*, Xubing Lu, Jianhua Zhang, ZhongWei Zhou, Junbiao Peng. Morphology Modulation of Direct Inkjet Printing by Incorporating Polymers and Surfactants into a Sol-Gel Ink System [J]. *Langmuir*, 2018, 34(22): 6413-6419.
- 【2】 Zhennan Zhu, Jianhua Zhang, ZhongWei Zhou, Honglong Ning*, Wei Cai, Jinglin Wei, Shangxiong Zhou, Rihui Yao*, Xubing Lu, Junbiao Peng*. A simple, low cost ink system for Drop-On-Demand printing high performance metal oxide dielectric film at low temperature [J]. *ACS applied materials & interfaces*, 2019, 11, 5, 5193-5199.

基金项目: 国家自然科学基金委员会创新群体编号 (NSC) : 51521002、2019 年广东大学生科技创新培育专项资金 (“攀登计划”专项资金) pdjh2019a0028 和 pdjh2019b0041、国家级大学生创新创业训练计划 (201910561005 和 201910561007) 和华南理工大学百步梯攀登计划研究项目 (j2tw201902475)

准分子激光处理平台的设计与搭建

邓宇熹、刘贤哲、李晓庆、黎群杰、姚日辉、宁洪龙*、彭俊彪

华南理工大学高分子光电材料与器件研究所, 发光材料与器件国家重点实验室, 材料科学与工程学院, 广东 广州 510640

Corresponding Email: ninghl@scut.edu.cn

摘要: 非晶氧化物半导体薄膜晶体管(AOS-TFT)需要通过后处理工艺来减少半导体体内缺陷、平衡氧空位、增加化学键有序性, 以提升器件的电学性能。传统热处理工艺耗时长, 热积累多, 且加热范围不可控。而激光处理技术是自上而下的工艺, 其具有光束能量高, 处理速度快, 加热范围可控等特点[1]。与热处理相比, 激光退火过程样品的热积累更少, 对基板的热损伤更少, 减少了杂质因热扩散对上层薄膜的污染, 很好地弥补了热退火的不足。由于准分子激光光强分布是矩形, 属于平顶光, 光束能量分布相较于高斯光更加均匀; 同时准分子激光分布在紫外光波段, 属于冷光源, 对材料的热损伤更低[2]。因此, 准分子激光退火是一种面向大尺寸、柔性电子器件的理想退火方法。

课题组团队选用交叉滚柱导轨式移动平台搭建3轴平移台, 平台可以在 $\pm 12.5\text{mm}$ 的行程内进行三轴移动, 基本满足实验室对小尺寸样品加工的定位需求, 且平台轻便, 操作简单, 可以随时根据光路变化调整位置。在此基础上, 课题组团队设计并搭建了全反镜-光阑-凹/凸透镜光路调控系统, 根据平顶光束通过光阑后能量会随光斑大小等比例减小的原理, 可通过调节光阑孔径来调节光束的能量, 调节凹/凸透镜与样品的距离实现光斑大小的调节。此系统结构简单, 光束调控灵活, 成本低, 能够实现光斑大小和光束能量在一定范围内连续可调, 为非晶氧化物半导体准分子激光退火工艺的探索提供了可靠的实验平台。

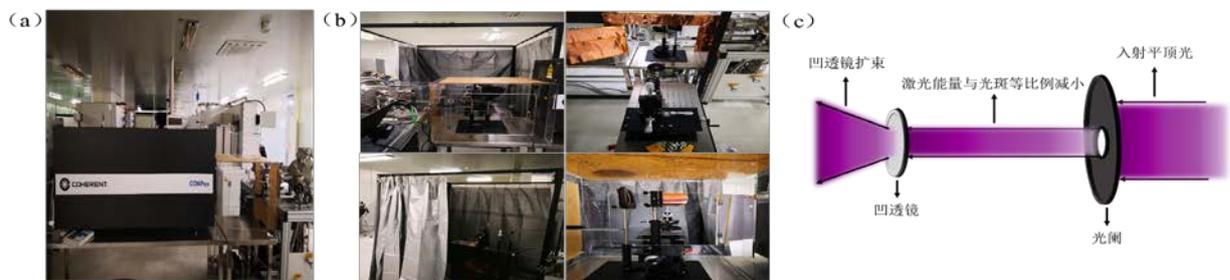


图1 激光平台示意图。(a) 248nm 激光器; (b)激光退火平台; (c) 光束调节系统

关键词: 准分子激光退火 搭建简易退火平台 氧化物半导体

参考文献

- 【1】 Narayan J, *et al.*, A comparative study of laser and thermal annealing of boron - implanted silicon[J]. Journal of Applied Physics, 1978, 49(7): 3912-3917.
- 【2】 邓琦林, *et al.*, 准分子激光器与 CO₂、Nd : YAG 激光器在陶瓷加工中的比较和分析, 航空精密制造技术, 1995(2):27-29.

液晶超分子结构与圆偏振发光性能的构效关系研究

任相魁、黄国斌

天津大学化工学院, 天津 300350

Email: renxiangkui@tju.edu.cn

摘要: 具有圆偏振发光 (CPL) 性质的液晶 (LC) 发光材料在液晶显示等领域具有广阔的应用前景¹⁻², 如何理解其超分子结构与 CPL 性质的关系, 进而制备具有高不对称因子的 CPL 液晶是该类材料研究所面临的两个关键科学问题。我们以茚酰亚胺 (PDI) 为模型液晶基元, 合成了具有不同取代基的手性 PDI 衍生物: POSS-PDI-T12 和 C10C8-PDI-T12 (图 1)。X 射线衍射和 CPL 实验结果表明: 具有大体积取代基的 POSS-PDI-T12 仅形成传统柱状液晶结构 (图 1a), 柱内缺少螺旋超分子结构, 因此不具有 CPL 性质; 而 C10C8-PDI-T12 则形成了长程有序的手性螺旋超分子液晶结构 (图 1b-c), 因此具有明显的 CPL 信号 (图 1d), 其不对称因子高达 0.07。为进一步研究手性取代基对超分子结构及 CPL 性能的影响, 我们用手性取代基 A12 替代 T12, 合成了新的液晶分子 POSS-PDI-A12、C10C8-PDI-A12。X 射线衍射和 CPL 实验结果表明: 由于 A12 具有较强手性诱导作用, POSS-PDI-A12 和 C10C8-PDI-A12 都可发育出手性螺旋超分子结构, 进而展现出优异的 CPL 性能。以上结果阐明了液晶超分子结构与圆偏振发光性能之间的内在联系, 为圆偏振发光液晶材料的设计和制备提供了重要的理论和实验依据。

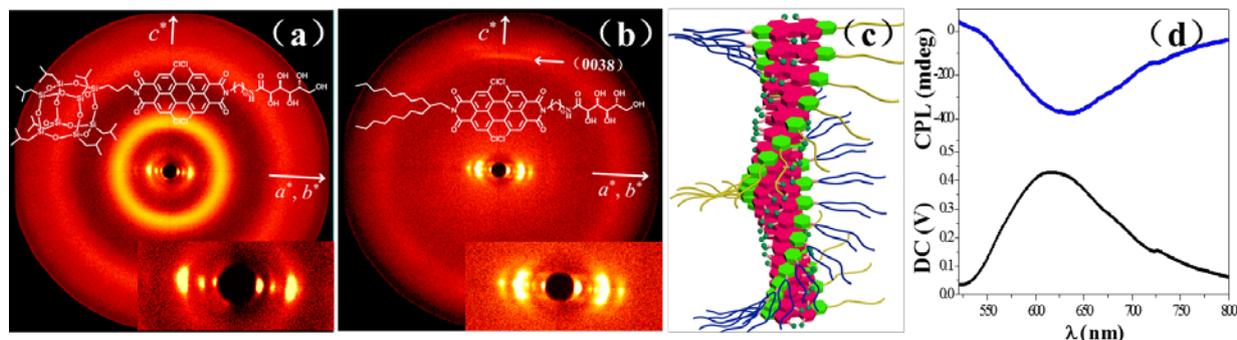


图 1 (a) POSS-PDI-T12 结构式及 X 射线衍射图; (b) C10C8-PDI-T12 结构式及 X 射线衍射图; (c) C10C8-PDI-T12 螺旋柱状超分子结构; (d) C10C8-PDI-T12 的圆偏振发光性能。

关键词: 液晶, 圆偏振发光, 超分子结构, X 射线衍射

参考文献:

- 【1】 Yang *et al*, Photon-Upconverting Chiral Liquid Crystal: Significantly Amplified Upconverted Circularly Polarized Luminescence, *Chemical Science* 2019, 10, 172-178.
- 【2】 Jing *et al*, Synthesis, Aggregation-Induced Emission, and Liquid Crystalline Structure of Tetraphenylethylene-Surfactant Complex via Ionic Self-Assembly, *Journal of Physical Chemistry C*, 2016, 120, 27577-27586.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 21875157)

Freedericksz-like Positional Transition

Ke Xiao, Xi Chen, Chenxu Wu

Department of Physics, College of Physical Science and Technology, Xiamen University,
Xiamen 361005, Peoples Republic of China

Email: cxwu@xmu.edu.cn

摘要: Understanding and manipulating a micro-particle suspended in nematic liquid crystal (NLC) cell are of great importance in both fundamental research and practical applications. However, the properties of a single micro-droplet immersed in a uniform NLC cell in the presence of an external electric field have not been fully addressed. Based on the numerical calculation of elastic energy using Green function method, a positional transition is found for a spherical micro-droplet suspended in a NLC cell in the presence of an external electric field, and the equilibrium position of micro-droplet can be decided through a competition between the buoyant force and the effective force built by the elastic energy gradient existing inside the NLC cell. It is shown that the elastic energy dominates the competition until the external field applied reaches a critical value large enough to flatten the elastic energy contour in the central region, which enables the asymmetric buoyant force to drive the liquid droplet abruptly from the cell midplane to a new equilibrium position. It is also found that such a threshold value of external field, which triggers positional transition, depends on thickness L and Frank elastic constant K , in a Freedericksz-like manner, but multiplied by a factor $3\sqrt{\pi}$. An explicit formula proposed for the critical electric field agrees extremely well with the numerical calculation.

关键词: Positional transition, Green function method, Threshold electric field, Freedericksz-like manners

参考文献

- 【1】 T. C. Lubensky, David Pettey, Nathan Currier, and Holger Stark, Topological defects and interactions in nematic emulsions, *Phys. Rev. E*. 1998, 57(1), 610.
- 【2】 S. B. Chernyshuk and B. I. Lev, Theory of elastic interaction of colloidal particles in nematic liquid crystals near one wall and in the nematic cell, *Phys. Rev. E*. 2011, 84 (1), 011707.
- 【3】 S. B. Chernyshuk, O. M. Tovkach, and B. I. Lev, Theory of elastic interaction between colloidal particles in a nematic cell in the presence of an external electric or magnetic field, *Phys. Rev. E*. 2012, 85(1), 011706.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11574256)

溶液法制备的氧化钨电致变色薄膜

姚日晖, 史沐杨, 张观广, 吴琼, 陈皇星, 江曼, 李聪昊, 宁洪龙*, 彭俊彪

华南理工大学高分子光电材料与器件研究所, 发光材料与器件国家重点实验室, 材料科学与工程学院, 广东 广州 510640

*Corresponding Email: ninghl@scut.edu.cn

摘要: 电致变色材料的反射率、透过率和吸收率等在电场作用下可发生可逆的颜色变化, 电致变色器件近年来广泛应用于智能窗^[1]、全视角信息显示、卫星热控和可控反射镜等领域, 市场潜力非常大。氧化钨(WO_3)是一种间接带隙过渡族金属氧化物半导体, 是最早被研究的电致变色材料, 也是应用最为广泛的电致变色材料之一, 具有颜色转变柔和与变色效果明显的优点^[2]。传统的氧化钨薄膜制备方法为真空法, 其工艺条件复杂, 成本较高, 一定程度上限制了其发展, 因此成本低廉的溶液法成为了近年来的研究热点。

本文使用溶液法在 ITO 玻璃基板上旋涂制备了氧化钨电致变色薄膜。研究发现, 通过优化热处理温度等参数, 能够有效改善氧化钨电致变色薄膜的表面形貌; 200°C 热处理氧化钨薄膜后, 其表面有着大量细微的孔径和沟道, 可显著提升电致变色薄膜的离子扩散和传输效率; 优化工艺后制备的氧化钨薄膜在波长 700nm 处着色态与漂白态的透射率差值达到了 72%, 在可见光波段调制能力优异, 为全溶液法无机全固态的电致变色器件制备提供了新的思路。

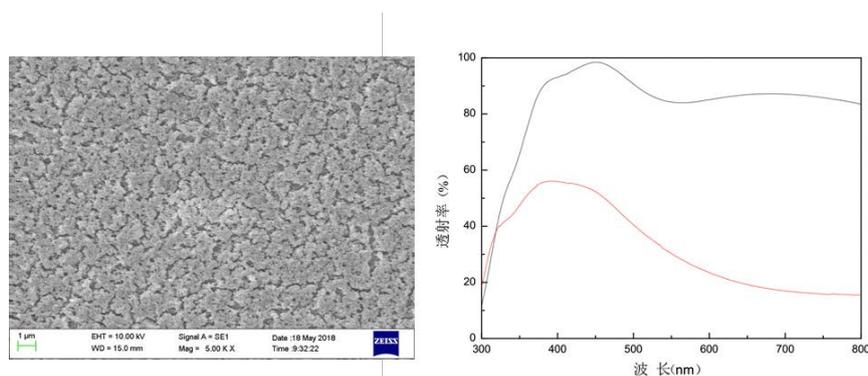


图 1 200°C 热处理的 WO_3 薄膜的 SEM 图像 (左) 以及其在可见光波段的光学透射率 (右)

关键词: 电致变色 氧化钨 溶液法

- 【1】 Goldner R B , Arntz F O , Berera G , et al. A monolithic thin-film electrochromic window[J]. Solid State Ionics, 1992, 53-56:617-627.
- 【2】 Ding Zhou, Dong Xie, Xinhui Xia, Xiuli Wang, Changdong Gu, & Jiangping Tu, All-solid-state electrochromic devices based on WO_3/NiO films: material developments and future applications, November 2, 2016

基于二维纳米材料的仿生可调液晶光子晶体结构色

王玲^{1, 2*}, 曾格伦², 成正东²

1.天津大学, 材料科学与工程学院, 天津 300350, 中国

2.Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA.

* Email: lwang17@tju.edu.cn

摘要: 自然世界五彩缤纷。经过亿万年的进化, 很多生物都被大自然赋予了神奇的特性, 蛋白石、蝴蝶翅膀和孔雀羽毛等显示出绚丽的色彩, 这种依靠光与物体表面周期性纳米结构的相互作用而产生的色彩, 被称为“结构色”, 而这种表面结构我们称之为“光子晶体” [1,2]。光子晶体的工作波长在实验室已从微波波段推进到可见光波段。但是可见光波长范围的光子晶体的使用制造仍然具有挑战。基于二维纳米材料的可调光子晶体是当前光子学领域的研究热点[3-5]。乌贼、鱿鱼等头足纲动物体内的虹细胞形成类似二维纳米片组成的布拉格“光栅”结构, 在背景光、温、生物等环境条件及自身情绪刺激下, 虹细胞可发生面积、体积变化等一系列反应导致光栅间距变化, 实现身体颜色的自适应变化和调控 (图 1a-1c)。从而使自身融入背景环境, 以躲避天敌或捕捉猎物, 进而提高自身的生存能力; 体色变化在领地划分、求偶竞争等信息传递过程中也发挥着重要作用 [6]。这种虹细胞的布拉格“光栅”选择性反射机理, 为人工仿生制备光调节功能材料提供新思路, 且有助于探索其在智能隐身、降温涂层、能源和安全等诸多领域的应用潜力。

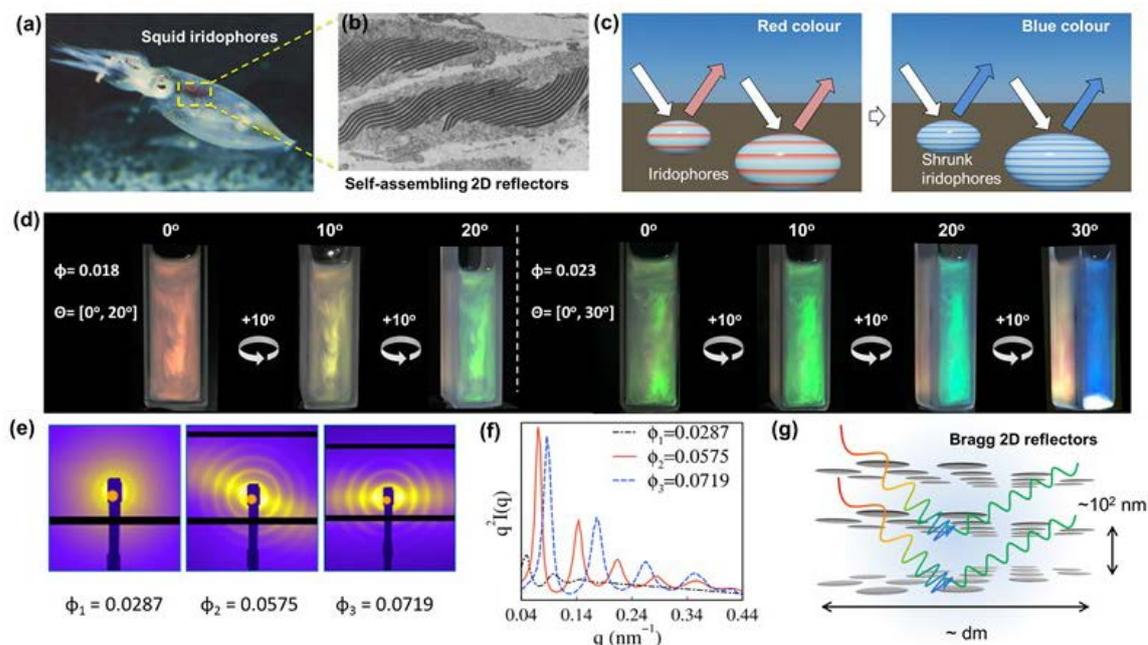


图 1 功能高分子修饰的剥层磷酸锆 (ZrP) 二维纳米片液晶及仿生可调液晶光子晶体结构色。

我们设计和制备了一系列功能高分子修饰的剥层磷酸锆（ZrP）二维纳米片，这些功能化二维纳米片在一定浓度的有机分散液中可形成多种液晶相，并呈现在可见光范围内的布拉格发射颜色(图 1d-1g)。通过调节二维纳米液晶的浓度或相转变点，我们能够实现对红蓝绿 RGB 颜色的精确调控。研究还发现，通过调节二维纳米片的尺寸和静电相互作用，也可实现布拉格反射颜色的大范围调控。本研究不仅有利于进一步理解二维纳米软物质材料的自组装特性和相转变物理机制等基本科学问题，也为二维纳米功能材料和仿生智能材料的设计与制备及其应用提供重要的实验指导。

关键词：光子晶体；二维纳米；液晶；结构色；仿生

参考文献

- 【1】 P. Vukusic, J. R. Sambles. *Nature* 2013, 424, 852.
- 【2】 A. R. Parker, H. E. Townley. *Nature Nanotechnology* 2017, 2, 347.
- 【3】 K. Sano, Y. S. Kim, Y. Ishida, Y. Ebina, T. Sasaki, T. Hikima, T. Aida. *Nature Communications* 2016, 7, 12559.
- 【4】 Y. Liu, Z. Xu, W. Gao, Z. Cheng, C. Gao, *Advanced Materials* 2017, 29, 1606794.
- 【5】 L. Wang, A. M. Urbas, Q. Lli. *Advanced Materials*, 2019, 31, 1801335.
- 【6】 K. M. Cooper, R. T. Hanlon, B. U. Budelmann. *Cell and Tissue Research* 1990, 259, 15.

基金项目：国家“千人计划”青年项目和国家自然科学基金面上项目（NO. 51973155）。

太赫兹微纳液晶可调谐器件

范飞、冀允允、常胜江

南开大学现代光学研究所, 天津 300350

Email: fanfei@nankai.edu.cn

摘要: 太赫兹 (THz) 波是指振荡频率在 0.1-10 THz 范围内的电磁波, THz 波因其在电磁波谱中的特殊地位, 在安全检测, 无损检测, 材料光谱等领域具有广阔的应用前景。液晶因其具有较大的双折射系数以及可通过外加热、光、电以及磁场的方式灵活地操控, 被广泛地应用于可调控相位和偏振控制器件。然而, 与可见光和近红外波段相比, 现有液晶材料在 THz 波段要想获得足够大的相移或调制范围所需要的器件厚度应为百微米量级, 导致 THz 液晶相位器件往往存在预取向较弱、工作电压高以及响应慢等缺点。本报告将介绍南开大学太赫兹微结构功能器件课题组近年来在 THz 液晶可调谐功能器件方面的研究。通过探索液晶与人工电磁微结构 (包括光子晶体、超材料和超表面等) 的相互作用与各向异性增强机理, 同时研究在 THz 波尺度下液晶与微纳功能材料 (包括碳纳米管、磁纳米颗粒、金纳米颗粒等) 的相互作用与相移增强机理, 解决 THz 液晶光子器件在液晶层厚度、表面锚定、阈值外场、响应时间等方面的瓶颈, 发展 THz 液晶可调谐滤波和开关器件、THz 可调谐相移与偏振调控器件[1-7]。这些 THz 液晶可调谐器件在 THz 成像、光谱和信息处理等应用中具有重要作用。

关键词: 太赫兹、液晶、人工电磁结构、纳米材料

参考文献

- 【1】 Ji Yun-Yun, Fan Fei*, Xu Shi-Tong, et al. Manipulation enhancement of terahertz liquid crystal phase shifter magnetically induced by ferromagnetic nanoparticles[J]. *Nanoscale*, 2019, 11(11): 4933-4941.
- 【2】 Yun-Yun Ji, Fei Fan*, Shi-Tong Xu, et al. Terahertz dielectric anisotropy enhancement in dual-frequency liquid crystal induced by carbon nanotubes, *Carbon* 2019,152: 865-872.
- 【3】 Xu Shi-Tong, Fan Fei*, Ji Yun-Yun, et al. Terahertz resonance switch induced by the polarization conversion of liquid crystal in compound metasurface. *Opt. Lett.*, 2019, 44(10): 2450-2453.
- 【4】 Ji Yun-Yun, Fan Fei*, Wang Xiang-Hui, et al. Broadband controllable terahertz quarter-wave plate based on graphene gratings with liquid crystals. *Opt. Express*, 2018, 26(10): 12852-12862.
- 【5】 Ji Y Y, Fan F*, Chen M, et al. Terahertz artificial birefringence and tunable phase shifter based on dielectric metasurface with compound lattice. *Opt. Express*, 2017, 25(10): 11405-11413.
- 【6】 Yu J P, Chen S, Fan F*, et al. Tunable terahertz wave-plate based on dual-frequency liquid crystal controlled by alternating electric field. *Opt. Express*, 2018, 26(2): 663-673.
- 【7】 Yang L, Fan F*, Chen M, et al. Active terahertz metamaterials based on liquid-crystal induced transparency and absorption. *Opt. Commun.*, 2017, 382: 42-48.

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFA0701000); 国家自然科学基金 (61831012, 61971242, 61671491)

液晶导向自组装构筑聚合物有序纳米结构

冯训达*

东华大学先进低维材料中心, 201620, 上海

*E-mail: xunda.feng@dhu.edu.cn

摘要: 过去二十年, 超分子或者大分子自组装研究领域取得很大进展, 主要集中在研究分子结构与自组装行为的关系上。超分子或者大分子自组装的潜在应用, 很大程度依赖于如何能够精准地控制宏观块体的自组装行为。例如, 嵌段共聚物最具有吸引力的应用就是它们的大面积有序自组装可能为下一代为存储器和集成电路提供更小的电路节点。导向自组装是实现嵌段共聚物大面积高度有序化的常用的技术。然而, 嵌段共聚物的大面积有序取向需要很苛刻的技术, 同时较难克服自身缺陷密度高, 自组装尺度较大等弱点。液晶在由于具有较强的各向异性, 对电场、磁场有极强的响应度, 相比嵌段共聚物其大面积有序取向更容易获得。同时, 液晶的结构多样, 通过合理的分子设计能够得到更为丰富的物理性能。我们利用了具有倾斜堆积的盘状超分子液晶的对称破缺, 其两维的晶格在磁场中的取向是唯一的特点, 成功取向了盘状液晶自组装柱状相的晶格。同时, 通过传统液晶显示器使用的表面锚定作用, 就可以控制自组装柱状相的柱长轴的取向, 因此在磁场和表面场的协同作用下, 通过简单的热退火, 就可以获得大面积的(平方厘米级别)单晶结构。同时, 我们设计的超分子液晶由于具有可聚合的官能团, 所得到的单晶结构很容易通过光固化的办法保持下来。

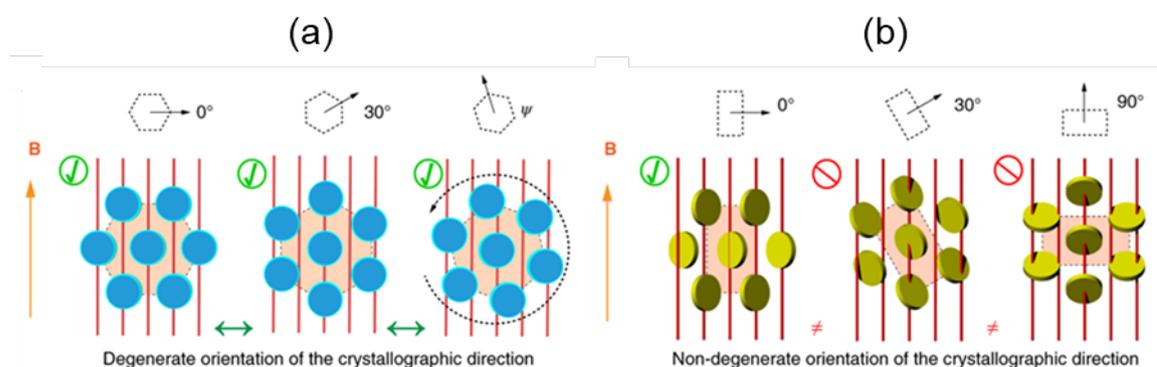


Fig. 1 (a) Degenerate orientation of the crystallographic direction of a non-tilted discogen in a magnetic field.
(b) Non-degenerate orientation of the crystallographic direction of a tilted discogen in a magnetic field.

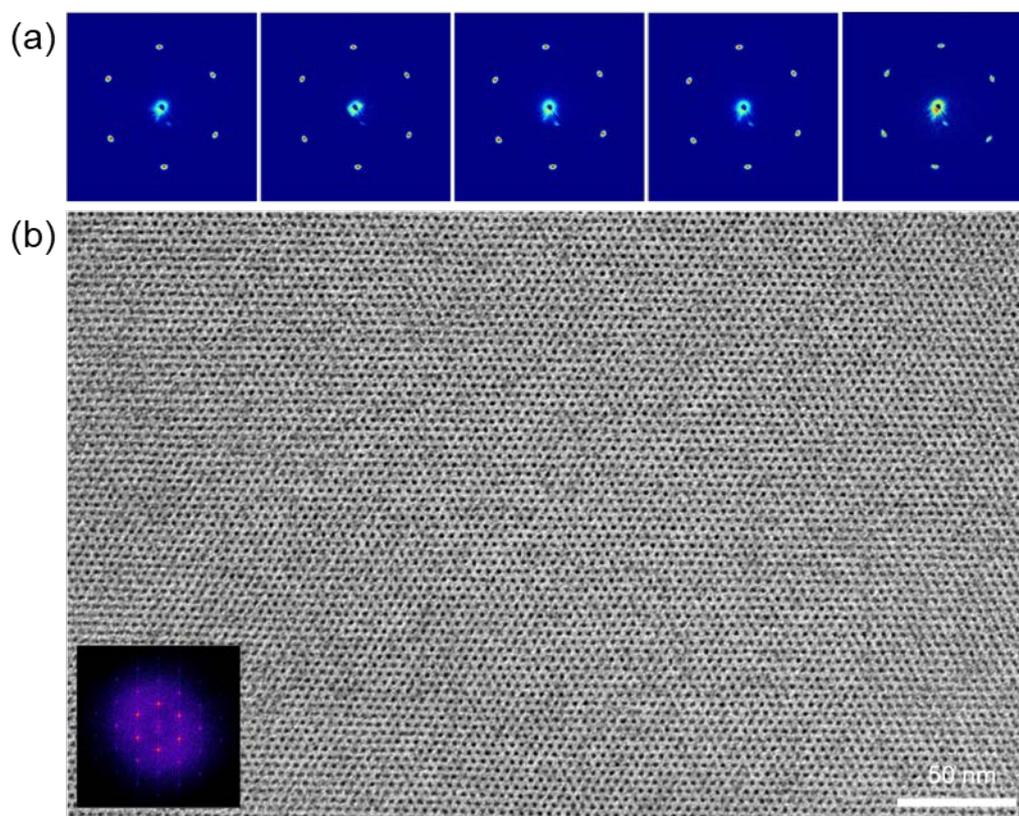


Fig. 2 (a) SAXS patterns at varied locations and (b) TEM image showing single crystalline texture by directed self-assembly along dual axes

关键词: 自组装, 超分子液晶, 导向自组装, 磁场

参考文献:

- [1] X. Feng, K. Kawabata, M. Cowan, M. Dwulet, K. Toth, L. Sixdenier, A. Haji-Akbari, R. Noble, M. Elimelech, D. L. Gin, C. O. Osuji, **Sci. Adv.**, **2019**, 5, eaav9308
- [2] X. Feng, K. Kawabata, M. Cowan, M. Dwulet, K. Toth, L. Sixdenier, A. Haji-Akbari, R. Noble, M. Elimelech, D. L. Gin, C. O. Osuji, **Nat. Mater.**, **2019**, DOI: 10.1038/s41563-019-0389-1
- [3] X. Feng, K. Kawabata, G. Kaufman, M. Elimelech, C. O. Osuji, **ACS Nano** **2017**, 11, 3911
- [4] X. Feng, S. Nejati, M. G. Cowan, M. Tousley, B. R. Wiesenauer, R. Noble, M. Elimelech, D. L. Gin, Osuji, C. O. **ACS Nano** **2016**, 10, 150
- [5] X. Feng, M. Tousley, M. G. Cowan, B. R. Wiesenauer, S. Nejati, Y. Choo, R. Noble, M. Elimelech, D. L. Gin, C. O. Osuji, **ACS Nano** **2014**, 8, 11977

Highly ordered polymeric nanostructures by directed liquid crystal self-assembly

Xunda Feng*

Center for Advanced Low-dimension Materials, Donghua University, Shanghai, China

There has been great progress in the research of self-assembly of supramolecules or macromolecules in the past 20 years, mainly focused on the relationship between the molecular structure and the assembled behavior. The ultimate applications of self-assembled materials strongly rely on the ability to precisely control the self-assembled behavior of the materials in their bulk. For instance, the most compelling application of block copolymers has been considered to provide the semiconductor industry with the next generation nodes of sub-10 nm features that cannot be realized by the current state of the art lithography. However, the high defect densities as intrinsically present in block copolymers as well as the difficulties to align their self-assembled nanostructures represent the most marked challenges to realize highly ordered, defect-free single crystals of block copolymers in bulk. Liquid crystals are sensitive to external fields such as electric fields and magnetic fields, and therefore can be easily aligned into ordered structures as compared to block copolymers. Furthermore, rational molecular designs can endow liquid crystals with a variety of compelling physical properties. We use two modes of directed self-assembly, physical confinement and magnetic fields, to achieve control of the orientations of the columnar axes and the hexagonal lattice of a tilted discotic liquid crystal along orthogonal directions. Field control of the lattice orientation emerges in a low-temperature phase of tilted discotic molecules that breaks the field degeneracy around the columnar axis present in non-tilted states. Conversely, column orientation is controlled by physical confinement and the resulting imposition of homeotropic anchoring at bounding surfaces. These results extend our understanding of molecular organization in tilted systems and may enable the development of a range of new materials for distinct applications.

Keywords: self-assembly, supramolecular liquid crystal, directed self-assembly, magnetic field

液晶半导体化合物的电荷迁移速率的实验测试和理论计算方法

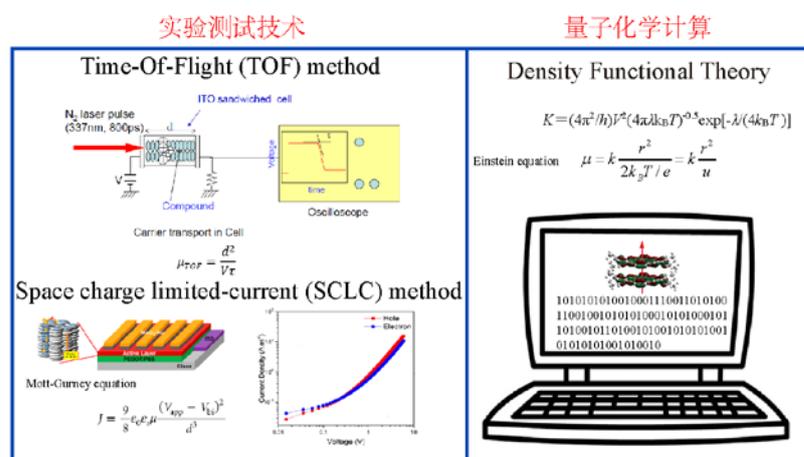
余文浩*, 夏美好, 胡平, 汪必琴, 骆开均, 赵可清

四川师范大学化学与材料科学学院, 四川成都, 610068

Email: yuwenhao@sicnu.edu.cn

摘要: 有机半导体材料具有质量轻、柔韧易加工、易化学修饰、可低温大面积成膜等特点, 将低成本的有机半导体材料用于微电子及光电子器件的研究近年来备受关注。液晶半导体是一类新型的有机半导体材料, 在有机电子学领域占有重要的地位。载流子输运现象是在半导体材料中的一个极其重要的物理过程, 载流子迁移率是衡量半导体材料导电性能的重要参数。在聚集态下, 有机半导体分子结构、分子取向以及分子聚集形成的凝聚相态对电荷传输有重要影响。理解有机半导体中电荷传输性能与结构之间的关系, 对于设计合成新型有机半导体材料从而改进器件性能具有重要意义。一般液晶半导体分子间排列有序度越高, 其电荷载流子迁移速率越高。

本报告主要介绍了近来我们在液晶半导体材料领域的研究工作: (1) 通过 Suzuki 偶联反应和 FeCl₃ 氧化环化脱氢 (Scholl 反应), 成功合成了多个系列含噻吩的盘状液晶半导体化合物, 通过光电流飞行时间 (TOF) 技术测试了液晶化合物的电荷迁移速率; (2) 设计合成了系列金属铂、铱液晶配合物, 利用空间电荷限制电流法 (SCLC) 测试了金属液晶配合物的电荷迁移速率; (3) 基于密度泛函理论, 采用密度泛函 B3LYP、M06-2X、wB97XD 等计算了准平面共轭大 π 体系的电荷迁移速率。



关键词: 液晶半导体, 半导体性质, 自组装, 电荷迁移速率, 量子化学计算

资助项目: 国家自然科学基金 (51773140), 四川省教育厅项目 (16ZB0059)

参考文献

- 【1】 K. C. Zhao, J. Q. Du, H. F. Wang, K. Q. Zhao, P. Hu, B. Q. Wang, H. Monobe, B. Heinrich, B. Donnio, Board-like Fused-Thiophene Liquid Crystals and their Benzene Analogs: Facile Synthesis, Self-Assembly, p-Type Semiconductivity, and Photoluminescence, *Chem. Asian. J.* **2019**, 14, 462.
- 【2】 G. Zou, L. Zhao, L. Zeng, K. J. Luo, H. L. Ni, H. F. Wang, Q. Li, W. H. Yu, X. L. Li, Columnar Iridium(III) Metallomesogens Based on Polycatenar Pyridyltetrazolate with Ambipolar Carrier Mobility Behavior, *Inorg. Chem.* **2019**, 58, 861.
- 【3】 Z. R. Chen, W. H. Yu, Theoretical study of the optical and charge transport properties in non-peripherally octasubstituted phthalocyanine-tetrabenzoporphyrin hybrids, *Mol. Phys.* **2017**, 115, 424.

非手性 β -甲基-丁基含氟三苯乙炔类液晶合成及介电性能研究卢金应^a、向陆军^a、瞿毅^a、关金涛^a、张智勇^{a*}、汪相如^b、余承勇^b

(a:武汉轻工大学化学与环境工程学院, 湖北武汉 430023)

(b:电子科技大学电子科学与工程学院, 四川成都 611731)

Email*: zzy6211@126.com

摘要: 目前液晶材料存在 Δn 值小、介电损耗高、低共熔点高和向列相温度范围较窄等问题, 不利于微波器件开发研究。本文以 DL-2-甲基-1-碘丁烷和溴联苯为原料, 通过格氏偶联、碘代、sonogashira 偶联等反应, 设计合成了非手性 β -甲基-丁基含氟三苯乙炔液晶化合物 (I), 该化合物通过核磁共振氟谱 ($^{19}\text{F-NMR}$)、氢谱 ($^1\text{H-NMR}$) 以及碳谱 ($^{13}\text{C-NMR}$) 的检测, 结果表明其结构与所设计的目标化合物相符; 通过偏光显微镜 (POM)、差热扫描仪 (DSC) 测定液晶的相态, 结果表明目标化合物与相似结构的化合物相比, 具有较低熔点(只有 43°C)、宽向列相和粘度, 双折射率达到 0.52 左右。并将化合物 (I) 按照一定比例混合配制, 得到低熔点、宽温向列相液晶组合物 M1~M5, 它们在 5~35GHz 的介电性能测试结果见表 1 和 Fig3 所示。实验数据表明, 通过化合物 (I) 配制出的液晶组合物在微波频段的介电各向异性良好, 介电损耗较低。

关键词: 非手性侧位烷基; 低熔点液晶; 液晶组合物; 介电各向异性; 微波

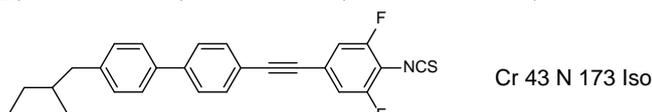


Figure 1 molecular structure of the target compound (I)

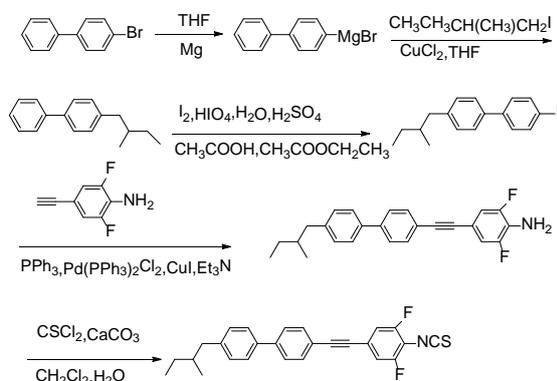


Fig. 2 The synthesis route of target compound (I)

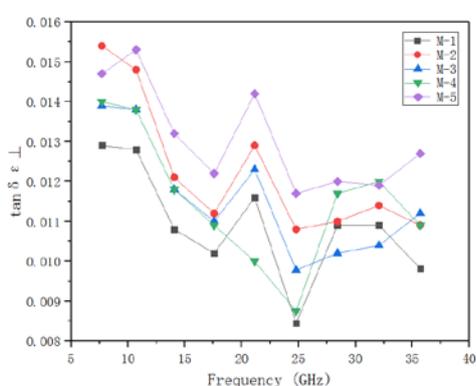
Fig. 3. Dielectric loss ($\tan\delta\epsilon_{\perp}$) of the LC mixtures M1~M5 on the different frequencies at 20°C

Table 1. Data of LC mixtures properties with about 10% wt of compound (I) (18 GHz).

Mix-LC	$\epsilon_r//$	$\epsilon_r\perp$	$\Delta\epsilon_r$	$\tan\delta\epsilon_r\perp$	$\tan\delta\epsilon_r//$	τ	η
M1	3.802	2.666	1.136	8.22E-3	2.48E-03	0.299	36.37
M2	3.423	2.607	0.816	1.06E-2	4.59E-03	0.238	22.45
M3	3.733	2.745	0.988	9.70E-3	4.10E-03	0.265	27.32
M4	3.749	2.683	1.066	8.59E-3	4.38E-03	0.284	33.06
M5	3.700	2.648	1.052	1.16E-2	4.33E-03	0.284	24.70

参考文献: [1]Peng Z,Wang Q,et al. Liquid Crystals, 43:276-284. (2016)

[2] J. Dziaduszek, R. Dąbrowski, et al. Liquid Crystals, 44:1277-1292. (2017)

微波用新型侧位乙基四联苯液晶合成与性能研究

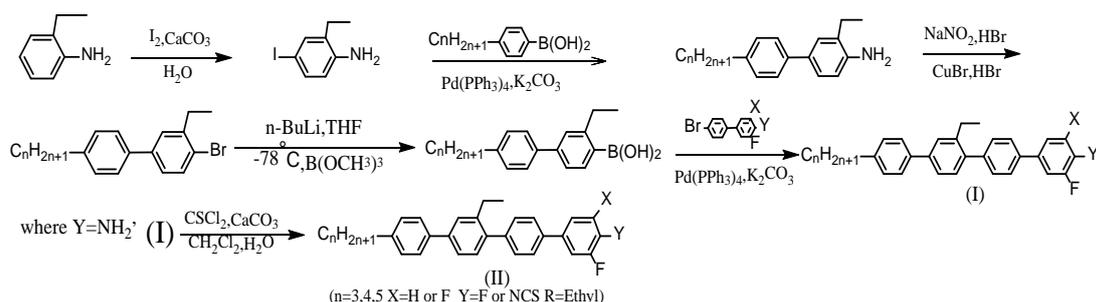
洪磊、李诗妍、刘豪浩, 卢金应, 张智勇*, 关金涛

武汉轻工大学化学与环境工程学院, 武汉 430023

Email: zzy6211@126.com

摘要: 基于液晶材料在微波 K 频段 ($\leq 40\text{GHz}$) 具有低介电损耗、介电连续可调、超低功耗等优点, 近年来人们开始将液晶材料应用于微波通信器件设计中, 已受到学术界和工业界的广泛关注。但目前的显示用液晶材料普遍存在双折射率低, 介电损耗较大等缺陷。

本课题重点解决低熔点高双折射率以及低介电损耗等关键性问题。设计合成长共轭体系四联苯结构液晶化合物, 以提高分子的共轭体系, 使其结构更加稳定; 选取直链烷基作为柔性端基以扩大分子长度, 提高分子的有序性; 同时在苯环不同侧位引入乙基和氟原子将影响分子的极性和长径比, 以利于降低化合物熔点和粘度, 拓宽液晶向列相温度范围; 引入异硫氰基作为极性端基提高双折射率和介电常数。实验结果表明, 所设计合成新型侧乙基四联苯分子结构稳定、低熔点、介电各向异性大、介电损耗低。以该四联苯液晶化合物 (I) (II) 为主要组分配制液晶组合物材料 M29-1, 在微波 (18GHz) 测试的介电各向异性 ($\Delta\epsilon_r$) 为 0.88, 最大介电损耗 ($\tan\delta\epsilon_r$) 为 6.35×10^{-3} , 可调谐性 (τ) 为 0.26, 品质因数 (Q) 高达 40.67。其具体合成路线如下:



具体目标化合物的相变温度, 双折射率见表 1 所示:

表 1. 目标化合物的相变温度、双折射率

目标化合物	相变温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_N/^{\circ}\text{C}$	Δn
	Cr 35.2 Sm 107 N 255.5 Iso	148.3	0.445
	Cr 67.5 N 270.3 Iso	202.8	0.448
	Cr 72.2 N 277.5 Iso	205.3	0.382
	Cr 63.2 N 262.1 Iso	198.9	0.391

注: Cr 表示各向异性晶体; Sm 表示近晶相; N 表示向列相; Iso 表示各项同性液体;

关键词: 液晶; 侧位乙基; 四联苯; 合成; 介电性能

参考文献

- 【1】 Valeri Lapanik et al, New highly anisotropic liquid crystal materials for high-frequency applications. Liq Cryst. 2018, 45(8), 1242-1249.

微波用液晶组合物介电性能研究

李诗妍¹、卢金应¹、刘豪浩¹、洪磊¹、关金涛¹、张智勇¹、汪相如²、余承勇²

1. 武汉轻工大学化学与环境工程学院, 武汉, 430023

2. 电子科技大学电子科学与工程学院, 成都, 610066

Email: zzz6211@126.com

摘要: 液晶用于微波器件的研究始于上个世纪, 高速发展于本世纪初, 尤其是近几年来得到了全世界广泛的关注。目前微波用液晶材料主要存在介电损耗偏大, 双折射率不够大, 介电常数($\Delta\epsilon'$)低的问题。

本课题组根据文献报道^[1]以及微波通信器件使用要求^[2-3], 设计合成新型的低熔点三苯二炔类液晶化合物和高双折射率, 低介电损耗的四联苯类液晶化合物。经过提纯精制后, 通过液晶化合物混合配制研究, 在成都电子科技大学超净车间配制对微波 K 频段的介电性能影响小的低介电损耗液晶材料, 并在成都恩驰微波科技有限公司采用矩形谐振腔微扰法对液晶组合物进行微波表征, 在 25°C 和 30GHz 下的测试结果如下:

表 1 不同液晶组合物性能测试结果 (频率: 30GHz)

混晶	$\epsilon_{//}'$	ϵ_{\perp}'	$\Delta\epsilon'$	$\tan\delta\epsilon_{\perp}$	$\tan\delta\epsilon_{//}$	τ	η
M6-1	3.75	2.71	1.04	7.28E-03	3.54E-03	0.28	38.22
M7-1	3.72	2.71	1.01	7.13E-03	3.80E-03	0.27	38.05
M8-1	3.45	2.56	0.89	4.96E-03	1.58E-03	0.26	52.08
M9-1	3.44	2.63	0.82	4.89E-03	1.92E-03	0.24	48.46
M10-1	3.67	2.74	0.94	5.98E-03	2.45E-03	0.26	42.68

关键词: 液晶组合物 低介电损耗 微波频段

参考文献

- [1] Lapanik V, Sasnouski G, Timofeev S, et al. New highly anisotropic liquid crystal materials for high-frequency applications[J]. *Liquid Crystals*, 2018, 45(8):1-8.
- [2] 候承昊, 戴朝波. 可控移相器研究现状及其发展前景[J]. *智能电网*, 2014, 2(1): 2095-5944.
- [3] Bulja S., Mirshekar-Syahkal D., Yazdanpanahi M., James R., Day S., Fernandez F., "Liquid crystal based phase shifters in 60 GHz band," in *European Wireless Technology Conference (EuWIT)*, 2010, pp. 37-40
- 基金项目: 国家兵器装发预研基金, (项目编号 61409230701)

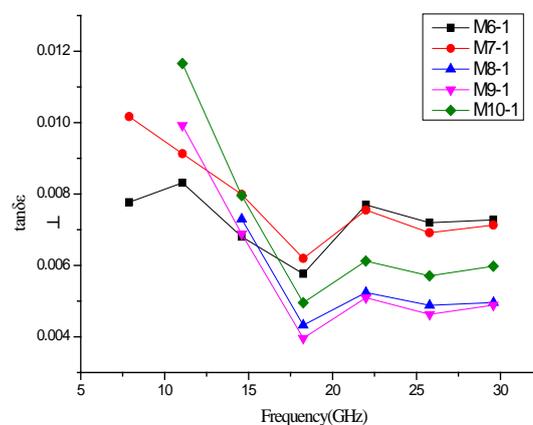


图 1 不同混晶在不同频率下的介电损耗性能参数

微波用侧甲基多联苯液晶化合物合成及性能研究

刘豪浩 刘曼曼 洪磊 胡晨 关金涛 张智勇* 乔俊飞

武汉轻工大学化学与环境工程学院, 武汉 430023

Email: zzz6211@126.com

摘要: 基于液晶特殊的光电各向异性, 在微波频段 (10~40GHz) 表现出了超低功耗、介电连续可调、低介电损耗等优点, 使液晶成为新一代微波移相器的介质材料^[1]。但由于目前的液晶材料的光学各向异性和介电各向异性不能满足微波频段性能要求, 需要设计合成低熔点、宽温向列相区、高双折射率, 低介电损耗液晶化合物成为液晶微波器件发展的关键。本文以 4-碘-甲基苯胺为主要原料, 通过卤代、重氮化、丁基锂制烷基联苯硼酸、Suzuki 偶联等多种反应, 设计合成了两个系列十几种新型的侧位甲基含氟多苯环类液晶化合物, 通过测试分析表明极性端基为氟原子的目标化合物部分单体具有超低熔点, 最低可达到 -34℃; 极性端基异硫氰基的化合物其熔点在 35℃-76℃, 其双折射率 (Δn) 高达 0.404; 前者可以作为降低液晶材料低温粘度的添加剂, 后者可作为配制微波液晶材料的有效组分, 可降低混合液晶材料的低共熔点, 改善向列相态温度范围, 有效降低介电损耗, 最大介电损耗达到 5×10^{-3} , 改善介电调制性能。

关键词: 向列相液晶组合物、高介低耗、低熔点、合成

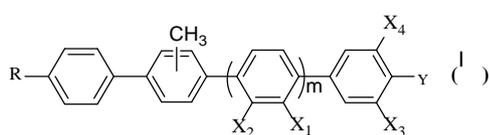


Figure 1 molecular structure of the target compound (I) R=C₁-C₅ alkyl; Y = NCS, F, R; and X₁, X₂, X₃, X₄ = H, F, Cl; m = 0, 1.

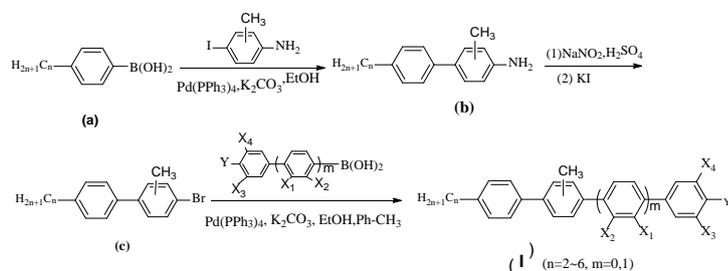


Figure. 2 The synthesis route of target compound (I)

Table 1 Phase transition temperature and refractive index of the compound

Compound	Heating(T/°C)	Δn	Compound	Heating(T/°C)	Δn
5PP(1)GF	Cr 34 Iso	0.247	5PPI(1)GF	Cr -27 Iso	0.251
5PP(1)UF	Cr -30 Iso	0.225	5PPI(1)UF	Cr -31 Iso	0.237
5PP(1)GS	Cr 70 Sm 97 Iso	0.401	5PPI(1)GS	Cr 35 N 116 Iso	0.404
5PP(1)US	Cr 48 Iso	0.388	5PPI(1)US	Cr 46 Iso	0.391
5PP(1)GIP4	Cr 85 N 194 Iso	0.376	5PP(1)PUF	Cr 76 N 132 Iso	0.393
5PPI(1)GIP4	Cr 49 N 175 Iso	0.387	5PPI(1)PUF	Cr 72 N 136 Iso	0.398
5PP(1)PGS	Cr 75 N 238 Iso	0.441	5PPI(1)PUS	Cr 64 N 242 Iso	0.449

参考文献:

- 【1】 Lapanik V, Sasnouski G, Timofeev S, et al. New highly anisotropic liquid crystal materials for high-frequency applications[J]. Liquid Crystals, 2018.

磁调控液晶微管激光器件

高美妮、Ahmed Aneela、戴海涛

天津大学理学院, 天津市低维功能材料物理与制备技术重点实验室, 天津 300355

Email: htdai@tju.edu.cn

摘要: 由于分子定向能够被外界激励调控的特性, 液晶材料不仅在显示方面获得了巨大的成功, 也在可调控光子学器件方面获得了广泛的关注, 比如可调控液晶滤波器, 可调控液晶微型激光器件, 液晶传感器件等等。近年来, 人们在液晶器件方面开展了大量的工作, 比如电、热、光调控的液晶激光器件。同样磁场对液晶分子的定向也具有调控作用, 因此磁场也被用做液晶器件的激发源之一。此外, 目前大部分针对液晶激光的研究集中在平行液晶盒结构或者比色皿中的结构。由于体积的原因这种结构限制了液晶激光器件的应用范围。在集成光子学器件中, 需要采用光纤结构或者更小体积的液晶激光器件。因此, 在光纤或者微管中制备液晶激光器件也是可调控液晶激光器件研究的重点之一。而在光纤或者微管中, 液晶激光相关的研究开展的还不广泛和深入。研究发现, 虽然温度以及光等调控方式能够对微管液晶激光器进行调控, 但是精准方便的对微管液晶激光器的出射特性进行调控仍然是一个挑战, 而在更小的体积内制备电极的难度也阻碍了电场调控方式的广泛运用。本文研究铁磁纳米颗粒掺杂的聚合物/液晶散射体系的随机激光的磁场调控机制和特性。详细的研究了外加磁场和纳米磁子掺杂浓度改变对出射随机激光光谱, 阈值等特性的影响。

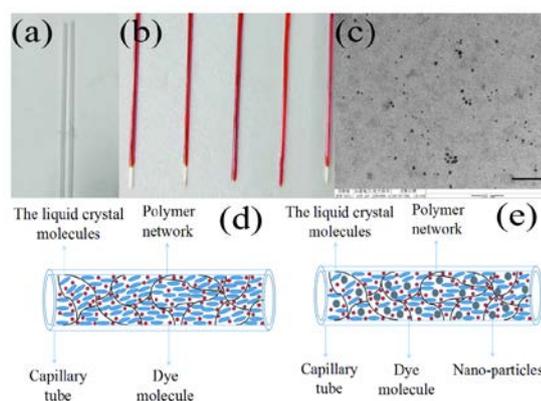


图 1 磁性纳米粒子掺杂液晶微管实验及结构图

关键词: 液晶激光、磁纳米颗粒、磁场调控

参考文献

- [1] J. Zhang *et al.*, Lasing properties from dye-doped holographic polymer dispersed liquid crystal confined in two-dimensional cylindrical geometry, *Opt. Mater. Express* 2016, 6, 1367.
 [2] N. M. Lawandy *et al.* Laser action in strongly scattering media *Nature* 1994, 368, 436.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61975148) 等

光致形变非交联液晶高分子材料及其柔性执行器研究

吕久安

西湖大学工学院, 杭州 310024

Email: lvjiuan@westlake.edu.cn

摘要: 光致形变液晶高分子材料能够产生丰富的可逆形状变化, 因此在执行器、机器人、传感器、微机械系统、微流体等众多领域具有良好的应用前景, 成为科学家们研究的热点^[1]。目前, 绝大多数的光致形变液晶高分子材料为交联液晶高分子, 这类材料结合了液晶的各相异性和高分子网络的橡胶弹性, 因而具有良好的外场响应性、分子协同作用和弹性^[2]。但是, 化学交联结构导致材料不溶不熔, 无法与传统高分子加工方法兼容, 严重地制约了其应用推广。

本研究仿生设计和制备了一种可熔可溶的新型非交联线型光致形变液晶高分子材料。因为没有化学交联网络的存在, 所以从分子设计上要保证新型非交联线型液晶高分子材料具有良好的机械性能。受自然界强韧生物执行器动脉血管的启发, 我们设计了具有类似动脉血管壁复合层状结构的新型非交联线型液晶高分子材料, 其主链类似橡胶主链, 为材料提供强韧的机械性能, 侧链含有“光子肌肉”偶氮苯液晶基元, 赋予材料光致形变性能。液晶高分子的自组装特性保证新型非交联线型液晶高分子材料可以在纳米尺度上自组装形成类似动脉血管壁层状复合结构。

采用新型非交联线型液晶高分子材料, 实现了熔融法、溶液法等传统高分子加工方法制备了薄膜和纤维执行器, 这是现已报道的所有响应形变液晶高分子材料都不具有的加工性能。我们不仅可以采用热压法、滴涂法等加工方法制备传统的薄膜执行器, 还可以采用溶液法批量制备出阵列图案化的薄膜执行器, 甚至制备具有三维立体结构的管状执行器。在制备过程中无需电场、磁场、摩擦等外场进行取向, 只需退火执行器即可自组装形成高度有序的液晶排列。这种高性能的非交联液晶高分子材料将有力推动液晶高分子全光控柔性器件的全面应用。

关键词: 光致形变、液晶高分子、柔性执行器

参考文献

- 【1】 T. Ube *et al.*, Photomobile Polymer Materials with Crosslinked Liquid-Crystalline Structures: Molecular Design, Fabrication, and Functions, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2014, 53, 10290.
- 【2】 T. J. White *et al.*, Programmable and Adaptive Mechanics with Liquid Crystal Polymer Networks and Elastomers, *Nat. Mater.* 2015, 14, 1087.

金纳米棒的液晶态自组装及其应用

谢勇、刘清坤、Ghadah H. Sheetah, 陈子瑜、Ivan I. Smalyukh

北京航空航天大学物理学院, 北京 100083

Email: xiey@buaa.edu.cn

摘要: 棒状金纳米粒子由于其高度的稳定性、形状各向异性、良好的分散性, 以及形状、尺寸依赖的等离子性质, 一直是研究人员关注的热点领域。由金纳米棒“自下而上”形成的各种自组装超结构, 区别于传统“自上而下”的微加工结构, 有望成为一种低成本、大面积、可操控的纳米尺度的制备技术。同时, 随着无机纳米粒子合成技术的快速发展, 大量新颖的无机纳米粒子不断涌现, 为发展具有显著富电子性质的无机液晶态材料提供了机会, 可弥补纯无机液晶态材料极度匮乏的空白。其次, 研究纳米粒子的自组装行为, 还对人们认识纳米尺度物质的无序-有序相变, 纳微尺度的各种相互作用, 甚至生命过程有所助益。

课题组团队采用排空剂诱导的自组装方法, 通过液晶盒内观察和液滴挥发技术, 得到了由金纳米棒自发组装形成的丰富单层、多层胶体膜超结构。改变纳米颗粒表面修饰的配体分子, 可以实现自组装晶格对称性的细微调控。【1, 2】在单个自组装结构内部, 由于受到外部因素的影响, 熵的作用会导致自组装膜由内而外的自发扭曲, 进而形成多种不同的面内、面外结构。【3】调控颗粒表面静电相互作用形成的多层自组装膜结构中, 也得到由颗粒间相互作用和自发对称性破缺导致的丰富结构变体。【4】除此之外, 还对自组装体之间的相互作用进行了研究, 得到类似“ π -wall”的液晶畴壁结构。进一步, 我们利用排空力诱导的纳米颗粒与衬底间的相互作用, 实现了宏观面积可取向、可区域化的金纳米棒单分散吸附效应, 可用于制备器件电极以及用做 SERS 活性衬底等。

关键词: 金纳米棒、自组装膜结构、熵诱导的内部结构、单分散吸附效应

参考文献

- 【1】 Y.J. Liang, Y. Xie *et al.*, Symmetry control of nanorod superlattice driven by a governing force, *Nat. Comm.* 2017, 8, 1410 .
- 【2】 Y. Xie *et al.*, Liquid crystal self-assembly of upconversion nanorods enriched by depletion forces for mesostructured material preparation, *Nanoscale* 2018, 10(9), 4218.
- 【3】 Y. Xie *et al.*, Vortical superlattices in a gold nanorods' self-assembled monolayer, *Nanoscale* 2014, 6(6), 3064.
- 【4】 Y. Xie *et al.*, Self-assembly of gold nanorods into symmetric superlattices directed by oh-terminated hexa(ethylene glycol) alkanethiol, *Langmuir* 2011, 27(18), 11394.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 51502011), 北航青年拔尖项目。

液晶快速偏振控制

李浩

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，长春 130033

Email: 921665514@qq.com

摘要:基于液晶的激光快速偏振控制技术及其实用化组件的研究具有广泛的应用需要和市场前景。在偏振控制，偏振成像以及磁场测量中有着强烈的应用需求，是未来激光偏振控制的主要技术途径之一，同时也是下一代全光磁力仪的核心组件之一。随着偏振控制技术的不断发展，在激光偏振态的精确控制中，比起机械式偏振调制和传统的调制光学器件，液晶器件的响应时间已经有了极大的提升，但液晶材料的响应时间仍是限制系统精度和控制带宽的主要因素，因此提高液晶材料的响应时间、降低驱动波动以及提高器件均匀性仍是至今不断追求的目标之一。

本工作通过对液晶快速偏振控制的工作原理的深入研究，研制出了高速、高精度、高适应性的偏振态控制装置，该控制装置采用了全新合成的液晶材料，通过实验测得该液晶材料对于 1083nm 的激光的全波响应时间为 7ms。在此基础上开发了精密压盒技术基础，全盒调制均匀性达到 98%，采用了新的驱动方式，使驱动波动降低至 $\pm 2\%$ 以下。利用这种液晶材料和精密液晶盒成功制备了任意线偏振入射任意线偏振出射的高速、高精度偏振控制器，与传统的偏振调制方法相比较，该方法具有无需机械转动、实时可控、响应速度快、精度高等优点。

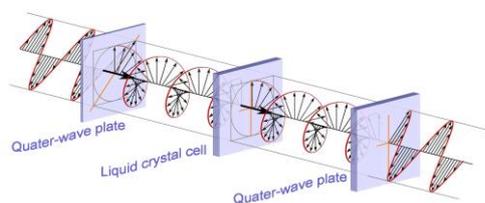


图 1 液晶偏振态旋转器原理

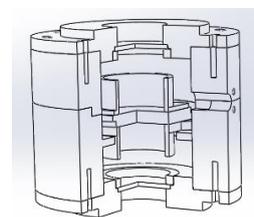


图 2 液晶偏振态旋转器结构

关键字：液晶 偏振态旋转 快速调制

参考文献

[1] Peng Z H, Cao Z L, Yao L S, et al. The review of liquid crystal wavefront corrector with fast response property[J]. Scientia Sinica(Physica, Mechanica & Astronomica), 2017.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11604327、11704377、11804336）

具有高效电荷转移的非晶态 Mn_3O_4 提升液晶电光性能的研究

赵东宇

北京航空航天大学化学学院，北京 100191

Email: zhaodongyu@buaa.edu.cn

摘要：纳米技术已成为 21 世纪的主导技术。元器件的超微化和高空间分辨率要求材料尺寸越来越小，要求性能越来越高，其中纳米材料扮演了重要角色。纳米材料的量子尺寸效应、小尺寸效应、表面效应和宏观量子隧道效应等等，使其能够广泛应用于机械、微电子、光学、医药和化工等众多领域。本课题组以过渡金属基纳米材料为研究对象，通过对材料的设计，研究了过渡金属基纳米材料在液晶电光性能中的应用。

课题组团队以氧化亚铜为模板成功制备了形状规则、尺寸均匀的非晶相 Mn_3O_4 八面体纳米笼，并掺杂到向列相液晶 E7 中。当掺杂浓度为 0.03 wt% 时，E7 的阈值电压 (V_{th}) 和饱和电压 (V_{sat}) 获得最大降幅，分别为 34% 和 31%， C_{on} 的增幅为 160%。通过 XPS 分析和拉曼测试对其机理进行研究，发现掺杂非晶 Mn_3O_4 纳米笼后，液晶介电常数和弹性常数的变化共同导致了液晶光电性能的提升。此外，在氩气气氛下分别制备了晶相 Mn_3O_4 及晶相-非晶相共存的 Mn_3O_4 八面体纳米笼。实验表明不同 Mn_3O_4 纳米笼掺杂后液晶 V_{th} 的变化有以下规律：非晶相 Mn_3O_4 八面体纳米笼 > 晶相-非晶相共存 Mn_3O_4 八面体纳米笼 > 晶相 Mn_3O_4 八面体纳米笼。此外掺杂体系不仅具有优异的 E-O 特性还具有良好的稳定性，电光性能可稳定保持一个月以上。

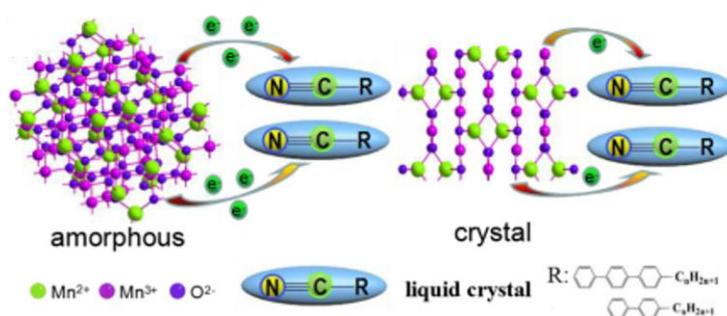


图 1 Mn_3O_4 八面体纳米笼和液晶分子之间的电荷转移示意图

关键词：液晶 纳米材料 电光性能

参考文献

- 【1】 G. S. Ma, D. Y. Zhao, *et al.*, Amorphous Ag_2S Micro-rods-Enhanced Fluorescence on Liquid Crystals: Cation-p Interaction-Triggered Aggregation-Induced Emission Effect., *iScience* 2019, 15, 119–126.

基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFB0703703）国家自然科学基金项目（51673008）和北京市自然科学基金项目(2192030)。