



基于光调控胆甾相液晶的圆偏振发光材料的研究进展

康文欣¹, 任天淇¹, 孟宪宇¹, 李山¹, 郭金宝^{1,2*}

1. 北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100029

2. 北京化工大学, 碳纤维及功能高分子教育部重点实验室, 北京 100029

*通讯作者, E-mail: guojb@mail.buct.edu.cn

收稿日期: 2024-04-30; 接受日期: 2024-06-17; 网络版发表日期: 2024-07-22

国家自然科学基金(编号: 51773009, 52073017)资助项目

摘要 圆偏振发光(CPL)在手性荧光探针、圆偏振有机发光二极管和光学防伪等领域具有潜在应用。为了扩大CPL材料的应用范围, 研究人员开始关注刺激响应型CPL活性材料。胆甾相液晶(CLC)因其高度有序的手性环境以及优异的可调性已成为刺激响应CPL活性材料的理想选择。目前, 基于CLC的光响应CPL材料已得到广泛开发, 这些材料通常能在多组分系统中实现CPL信号响应。本综述重点关注CLC中光调控CPL的研究进展, 总结了CPL调控的三种策略: (1) 利用光驱动过程光开关分子的手性或螺旋变化调控CLC的CPL信号; (2) 利用手性光开关与手性掺杂剂间手性竞争关系调控CLC的CPL信号; (3) 利用光驱动非手性二向色性染料有序参数值变化调控CPL信号。本综述有望为基于光响应CLC的CPL调控提供重要的参考和指导, 以推动其在更广泛领域的应用。

关键词 圆偏振发光, 光调控, 胆甾相液晶, 手性反转

1 引言

圆偏振发光(CPL)材料因其具有包括波长、强度和手性等丰富的光学信息, 目前主要被应用于全息成像^[1]、生物传感器^[2]、光学防伪^[3,4]等领域。CPL是指手性发光体系受到激发后产生过量的左旋偏振光或者右旋偏振光的现象。CPL行为的研究反映了手性发光体系在激发态下的手性性质, 同时用于检测激发态手性的产生、转移和放大。采用基于光弹性调制器的CPL光谱仪检测CPL信号并表征其强度。其中CPL光谱主要用于测量 I_L 和 I_R 的发光强度(ΔI)的差异, 如式(1)

所示^[5,6]:

$$\Delta I = I_L - I_R \quad (1)$$

其中 I_L 和 I_R 分别为左旋和右旋圆偏振光的强度。但是, 考虑到绝对发射强度的测量相对困难, 引入发光不对称因子(g_{lum})来量化CPL的大小, 如式(2)所示^[7]。将发光不对称因子定义为

$$g_{lum} = 2 \times \frac{I_L - I_R}{I_L + I_R} \quad (2)$$

显然, 对于纯粹的左旋或右旋偏振光, $g_{lum} = \pm 2$, 分别对应LCP和RCP占比100%; 对于非偏振光, $g_{lum} = \pm 0$ 。在CPL活性材料的实际应用中, 最为棘手的问题

引用格式: Kang W, Ren T, Meng X, Li S, Guo J. Recent advances in circularly polarized luminescent materials based on light regulation of cholesteric liquid crystals. *Sci Sin Chim*, 2024, 54: 1321–1328, doi: 10.1360/SSC-2024-0070

是如何提高 g_{lum} 值^[8,9]. 为此, 研究者提出引入手性聚合物、金属有机框架、液晶(LC)体系等策略^[10]. 迄今为止, 已经开发出手性发光镧系元素^[11,12]、手性超分子共组装体^[13~15]、手性LC^[16~18]、手性液体^[19]等CPL活性材料. 其中胆甾相液晶(CLC)因其高度有序的手性环境以及优异的可调性脱颖而出. 一般情况下, 发光CLC通常利用在CLC中掺杂非手性发射体或在向列相LC中掺杂手性发射体的策略制备而成. 研究学者已经开发出种类繁多的手性或非手性发光体, 用于制备基于发光CLC的CPL材料, 包括量子点(QD)^[20,21]、有机发光分子^[22,23]、上转换纳米粒子^[24,25]等.

CLC中CPL的产生机制分为两种: 一种是基于CLC的旋光性, 即圆偏振光沿着CLC的螺旋轴传输, 实现高不对称CPL; 另一种是基于CLC的选择性反射即只透过相反旋向的圆偏振光, 实现超高不对称CPL. Cheng课题组^[26]报道了手性客体 and 4种非手性AIE客体在向列相LC中共组装, 通过高效的手性传递提升了 g_{lum} 值, 由于螺旋超结构中手性客体和非手性客体间的 π - π 相互作用, 所得AIE-N*-LCs具有超强CPL, g_{lum} 值范围在0.97~1.42之间. 该课题组^[16]还利用手性诱导剂PCPH₅作为能量供体, 手性红发光聚合物DTBTf8作为能量受体, 精确构建了一种优异的T-N*-LCs-CPL活性材料, T-N*-LCs的 g_{lum} 值达到0.7/-0.67.

以上诱导产生CPL信号的方法均可归因于第一种方法, 即利用CLC的旋光性. 大部分在CLC中掺杂荧光发射体所产生的CPL, 仍存在 g_{lum} 值较小的局限性, 难以达到理论值 ± 2 . 第二类方法, 即利用CLC的选择性反射, 可以获得更高 g_{lum} 值的CPL材料. Zhuang课题组^[27]将QD作为非手性荧光客体, S/R811为手性客体, 构建了高分散性和稳定性的三元CPL手性LC材料. 通过调整三元体系中QD和手性向列相LC之间的比例关系, 获得最大的 g_{lum} 值为0.89^[28]. Deng课题组^[29]通过调整5CB中手性荧光掺杂剂CFHP的质量比, 使得选择性反射带与发射峰重叠, 成功制备了具有高 g_{lum} 值的发光CLC, g_{lum} 值达到-1.87. Duan课题组^[30]将[2,2]对环烷的平面手性发射体R-PCP, 作为手性荧光掺杂剂掺杂到LC中, 通过调节手性荧光分子的掺杂量来实现CLC螺旋方向和CPL信号的反转. 当R-PCP含量为4 wt%时, 反射带与发射峰匹配, 可以实现CPL信号的反转和放大(g_{lum} =1.2). 本课题组^[31]通过引入CLC反射层, 制备了具有反射-发射双层结构的CPL系统, 有效放大了手

性, g_{lum} 值从0.25提升至1.43.

为了进一步满足不同领域实际应用的需要, 研究者已经开发出光^[32~34]、电^[35,36]、溶剂^[37,38]等刺激响应CPL活性材料. 刺激响应CPL材料是指在外界刺激下调控材料本身CPL的发射波长、强度和手性, 被认为是信息存储与显示领域的理想材料. 光作为一种可远程调谐的节能型刺激源, 受到研究者的青睐. 目前, 基于发光CLC的刺激响应CPL材料已得到广泛开发, 这些材料通常可在多组分系统中实现CPL信号响应, 具有显著优势.

如图1所示, 基于CLC的光调控CPL策略通常是利用手性光开关分子诱导CLC螺旋结构变化, 实现CPL信号的反转、抵消、减弱. 设计思路分为两种: 一是利用手性光开关分子发生光异构化过程扰动LC分子发生重排, 使得发光CLC发生螺旋反转和CPL反向; 二是将相反手性的光开关分子掺杂到发光CLC中, 利用手性掺杂剂和手性光开关分子之间手性竞争关系实现CPL信号和手性可调. 此外, 研究学者还利用非手性二向色性染料的有序度(SF)变化来开发新型的CPL响应型材料.

2 光调控发光胆甾相液晶的CPL信号

2.1 基于光开关分子的手性或螺旋变化调控CLCs的CPL信号

联萘化合物是一种具有特殊的光学活性的分子, 其光学活性衍生物具有优异的手性, 故双萘基是最适合开发CPL材料的骨架结构之一^[39,40]. 联萘的手性与两个萘环之间的二面角相关, 左手性联萘的二面角范围在0~90°, 右手性联萘的二面角范围在90°~180°.

Yang课题组^[41]提出了一种基于联萘手性基团直接引入腈光开关上的新策略, 制备了一组手性腈光开关分子CH, CH发生异构化过程会引起联萘二面角改变, 从而表现出较大的HTP变化和可逆手性反转能力, 如图2所示. 将其掺杂到LC中实现光调控螺旋手性反转, 将尼罗红荧光染料掺杂到体系中, 实现了CPL的可逆反转, 且 g_{lum} 值达到0.4. 手性腈光开关分子CH在可见光照射下发生开环反应, 诱导联萘的二面角变大, 使得腈光开关的手性转变为右手性, CLC螺旋方向反转并发射左旋的CPL信号. 在紫外光刺激下CH分子的手性部分恢复, CLC的螺旋方向变为左旋, 发射右旋

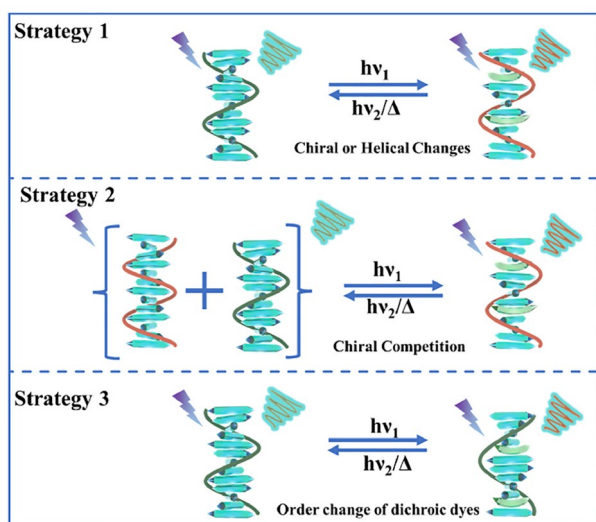


图 1 基于CLC的光响应CPL材料的构筑策略(网络版彩图)
Figure 1 Construction strategies of photoresponsive CPL materials based on CLC (color online).

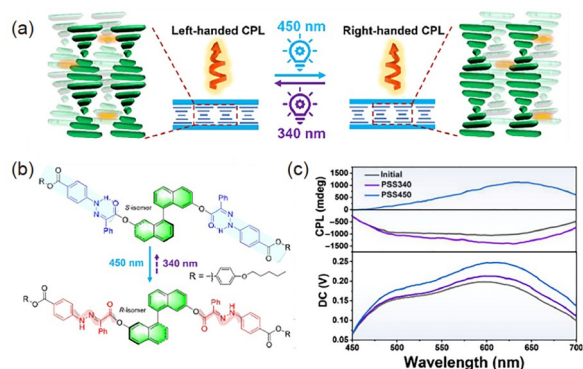


图 2 (a) 由CH驱动CLC实现可调谐手性和CPL的原理图;
(b) CH的光异构化示意图; (c) CH掺杂CLC在光稳态下的CPL光谱^[41](网络版彩图)

Figure 2 (a) Schematic diagram of CH-driven CLC to achieve tunable chirality and CPL. (b) Schematic diagram of photoisomerization of CH. (c) CPL spectra of CH-doped CLC under photostable state ^[41] (color online).

CPL信号, 实现了CPL信号的反转. 除此之外, 这类光开关具有很好的热稳定性和耐疲劳性.

本课题组及合作者^[42]基于分子内手性竞争诱导CLC螺旋结构反向或退化策略, 开发了一系列氢键型手性荧光分子开关, 将其掺杂到LC中, 在光刺激下发生手性和CPL信号的消失和翻转, 如图3a所示. 其中(R,S,R)-switch 1的中心受体部分由(S)-型手性联萘荧光分子开关组成, 供体部分由相反旋向的联萘衍生物

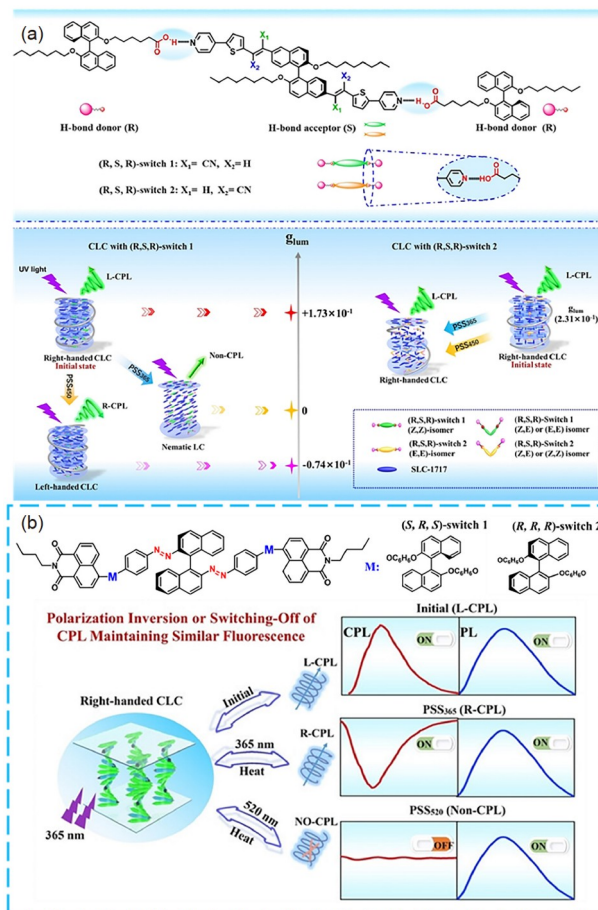


图 3 (a) 两种氢键光开关^[42]和(b) CPL分子开关^[43]的分子结构及其在CLC中手性和CPL调控示意图(网络版彩图)

Figure 3 Schematic representations of the molecular structures of (a) two hydrogen-bonded optical switches ^[42] and (b) CPL molecular switches ^[43] and their chiral and CPL regulation in CLC media (color online).

组成. 初始态下, (R,S,R)-switch 1的(R)-联萘贡献较大, 分子整体诱导右旋的CLC, 发射左旋CPL, g_{lum} 值为0.173; 在450 nm蓝光照射下羧基发生光异构化, 诱导中心(S)-联萘手性增强, 导致分子手性翻转和CPL信号反转, 此外由于羧基的异构化导致荧光强度下降, g_{lum} 值为-0.074; 在365 nm紫外光照射下, 供受体之间联萘的手性抵消, CLC螺旋退化形成向列相LC, CPL信号消失. 由于(R,S,R)-switch 1在发生螺旋和CPL反转的过程中, 荧光强度发生明显变化, 为进一步实现多模式信息加密材料, 本课题组^[43]还设计了一类联萘偶氮基的CPL分子开关(S,R,S)-switch 1, 如图3b所示. 该CPL分子开关能够在LC介质中通过光的可逆调控来改变CLC的螺旋结构, 实现CPL信号反转或消失, 在整个光

调控过程中, 其荧光强度保持不变。

Akagi课题组^[44,45]开发出一系列二萘基二芳基乙烯光开关, 利用分子内源手性和固有手性之间的冲突, 在不同波长光辐照下诱导CLC实现螺旋方向的可逆调控。2024年, 该课题组^[45]将光响应性双苯并噻吩基(BTE)部分与轴向手性二萘基连接, 合成具有双重手性的环状手性化合物(R/S)-D2s, 将其掺杂到LC中制备光响应CLC, 如图4所示。利用右旋轴向联萘基部分和分子内诱导的左旋BTE部分间的手性冲突, 诱导CLC实现了手性的可逆光反转。此外, 将具有三原色荧光的手性芳香族共轭共聚物和(R/S)-D2s混合引入LC中, 成功制备了可逆调控的三原色和白色CPL信号, 且具有较大 g_{lum} 值(范围为0.2~1.0)。在紫外/可见光驱动环化/环裂过程中, CPL实现可逆的光反转。

除了上述将光响应基团与手性联萘衍生物结合的设计策略, 手性光开关分子还包括一类轴手性分子开关, 即分子马达, 其中最典型的代表是拥挤螺旋烯烃。螺旋烯烃结构本身并非手性的, 然而, 由于具有较大的螺旋面, 在光/热刺激下, 螺烯能够利用中心烯烃双键作为旋转轴进行连续定向运动, 这导致螺旋度发生变化的同时伴随着螺旋扭曲力的变化。

Feringa课题组^[46]报道了以4种分子马达作为光开关分子, 将其与非手性BODIPY荧光染料掺杂到LC中, 利用光驱动螺旋烯转子的定向运动实现了CPL信号和手性的调控(图5)。此外, 引入不同种类的荧光染料实现了CPL的颜色变化。其中将分子马达M1和绿色荧光染料GB掺杂到LC中, 诱导产生右手性的CPL信号, g_{lum} 值达到-0.45, 量子产率高达0.75; 在紫外光照射下分子马达发生定向旋转, 分子马达的螺旋度变化导致CLC的螺旋手性变化, 实现CPL的信号反转。最后, 在455 nm光照下, 螺旋手性和CPL信号得以恢复。

2.2 基于手性光开关与手性掺杂剂间手性竞争调控CLCs的CPL信号

α -氰基苯乙烯光开关分子能发生可逆的光异构化。2019年, 本课题组^[47]发现了含 α -氰基苯乙烯光开关分子switch 4的CLC体系具有光调控CPL行为。同年, 本课题组^[48]利用 α -氰基苯乙烯手性荧光光开关switch 5和相反固有手性掺杂剂CD-1之间的手性竞争在LC体系中实现了光驱动CPL信号的反转, 如图6所示。

2022年, Cheng课题组^[49]利用手性荧光光开关分

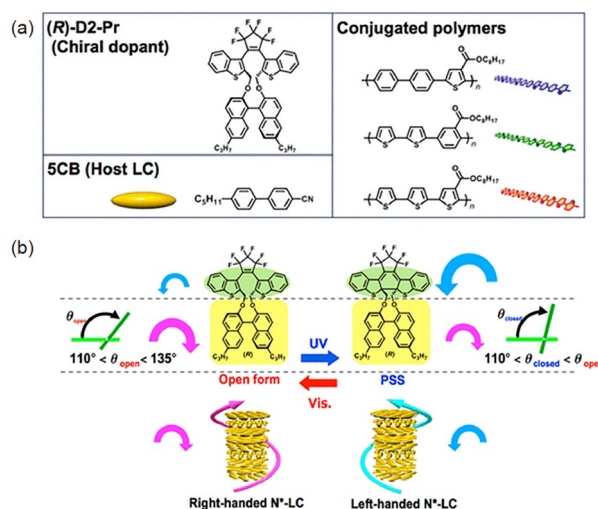


图4 (a) 环状手性光敏化合物开闭环异构体、5CB以及三原色荧光聚合物的化学结构; (b) CPL信号的可逆反转示意图^[45](网络版彩图)

Figure 4 (a) Chemical structures of the open and closed ring isomers of the cyclic chiral photosensitive compounds, 5CB, and the trichromatic fluorescent polymers. (b) Schematic representation of the reversible inversion of CPL signals ^[45] (color online).

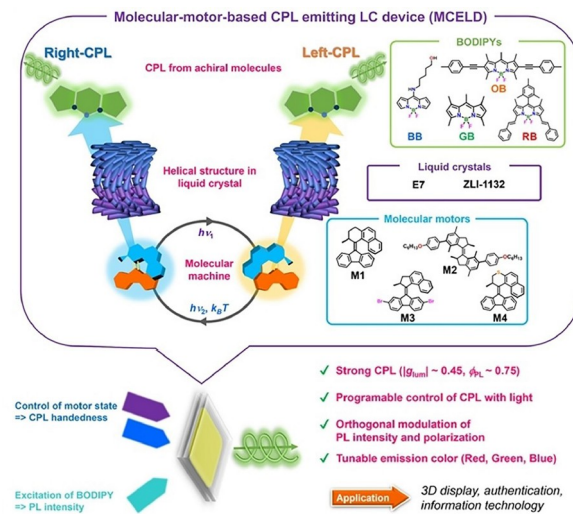


图5 分子马达和荧光染料的结构以及光调控分子马达的运动实现手性和CPL信号反转的示意图^[46](网络版彩图)

Figure 5 Structures of molecular motors and fluorescent dyes, and schematic diagrams of light modulation of molecular motor motion to achieve chirality and CPL signal reversal ^[46] (color online).

子R-S-R-1、相反固有手性掺杂剂S-2和荧光染料NR掺杂到LC中制备四元的光敏型发光CLC, 利用R-S-R-1和S-2之间的手性竞争实现了光驱动CLC的手性和CPL信号的切换, 如图7所示。R-S-R-1由左旋的二萘酮

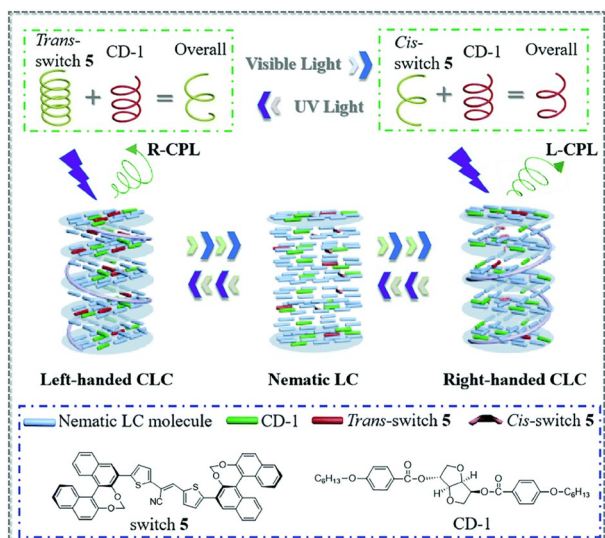


图 6 由不同波长光激发CLC实现光响应手性和CPL反转的示意图^[48](网络版彩图)

Figure 6 Schematic diagram of photoresponsive chirality and CPL inversion of CLC stimulated by different wavelengths of light ^[48] (color online).

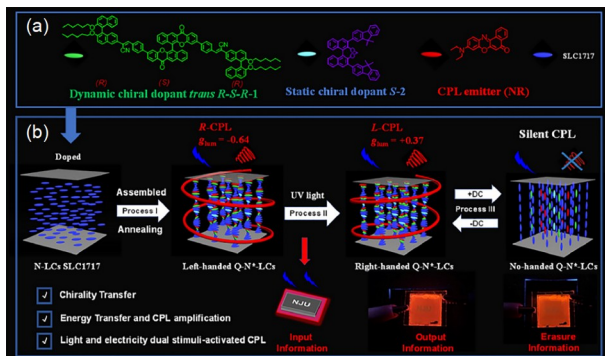


图 7 (a) 光敏型发光CLC中各组分的化学结构; (b) 由光电调控CPL信号的示意图^[49](网络版彩图)

Figure 7 (a) Chemical structure of each component in photo-sensitive luminescent CLC. (b) Schematic diagram of CPL signaling modulated by photovoltaics ^[49] (color online).

作为中心骨架和两个右旋的联萘衍生物通过光敏单元 α -氰基连接制备而成。初始态下, R-S-R-1和S-2均为左手性, 通过能量转移机制从R-S-R-1到非手性NR发出较强的右旋CPL信号, g_{lum} 值达到 -0.64 ; 紫外光照射后, 中心骨架二萘酮的构象改变会导致其左手性贡献减弱, R-S-R-1转变为右手性, 此时CLC整体手性由R-S-R-1主导, CPL信号反转; 在加电后CPL信号消失。

2.3 光调控非手性二向色性染料有序参数值诱导CPL信号变化

除了光驱动CLC螺旋结构变化来调控CPL的策略, 研究者还利用非手性二向色性染料有序度(SF)变化诱导CLC实现CPL信号和手性可调, 为开发高性能的CPL显示材料开辟了新的思路。二色性染料是一种棒状分子, 由于其跃迁偶极矩(TDM), 在分子长轴和短轴上都表现出明显的荧光各向异性^[50,51]。CLCs的CPL信号的手性和强度可以通过调控CLCs介质中不同TDM排列的手性或非手性荧光染料的二色性来实现。

Cheng课题组^[52]在之前的工作中, 将P1和N1掺杂到手性向列相LC中, 通过调整P1和N1之间的质量比使得CLC体系的有序度改变, 进而在手性LC中实现调控CPL的手性和强度, 如图8a所示。该课题组^[53]还利用非手性二向色光敏染料Z-switch中氰基在365和

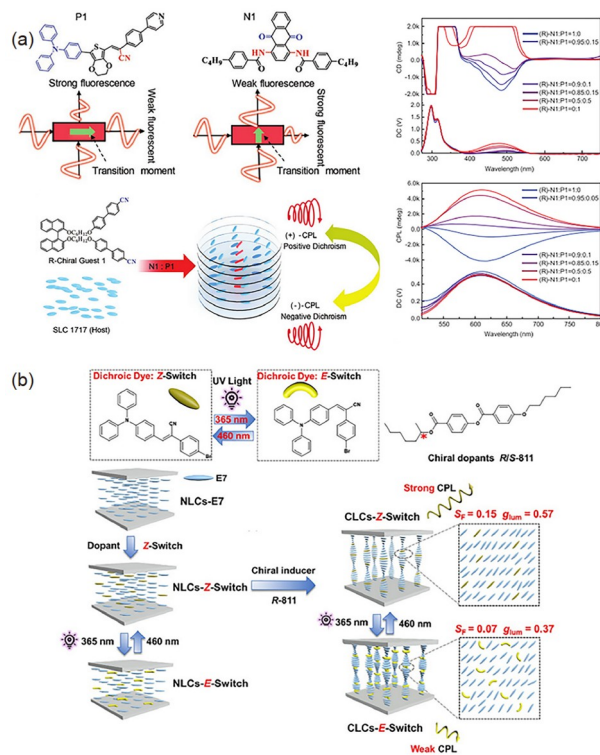


图 8 (a) P1和N1的化学结构及其在CLC中诱导CD和CPL光谱变化的示意图^[52]; (b) 各组分的化学结构以及双波长光调控CLC介质中CPL的示意图^[53](网络版彩图)

Figure 8 (a) Schematic of the chemical structures of P1 and N1 and their induced spectral changes in CD and CPL in CLC ^[52]. (b) Chemical structures of each component and schematic diagram of dual-wavelength photo-regulation of CPL in CLC medium ^[53] (color online).

460 nm光照射下异构化引起SF变化, 从而实现CLC的螺旋手性不变而CPL信号大幅度减弱, 如图8b所示。

2024年, 该课题组^[54]采用光敏非手性负二向色染料(KG)和静态非手性正二向色染料(NR)作为掺杂剂以0.5:0.5的质量比加入CLC中, 实现光驱动SF-CPL信号反转, 并保持CLC的螺距和螺旋方向不变。如图9所示, 初始态下, R811制备的CLC-KGNR-KG中的氰基发生Z/E异构化导致负二向色性减少, SF下降, 整体发射左旋CPL。此外, 在偏光显微镜下观察样品CLC-KGNR-0.5y, 发现在光响应过程中, 指纹结构和计算所得的螺距均未变化, 这充分证明了CLC的螺旋结构在CPL信号反转过程中未发生变化。

3 结论

近年来, 具有可切换CPL信号的手性LC材料得到了广泛的关注, 其中利用光刺激实现不同的CPL状态具有重要意义。本综述聚焦于光调控CPL领域的研究动态, 梳理了基于CLC的光调控CPL的三种主要策略: 首先是在光驱动过程, 利用光开关分子的手性或螺旋变化来调控CLC的CPL信号; 其次, 基于手性光开关与固有手性掺杂剂之间的竞争性效应, 在CLC介质中实现对螺旋手性和CPL信号的有效光调控; 最后, 通过光驱动非手性二向色性染料的有序参数值变化, 诱导

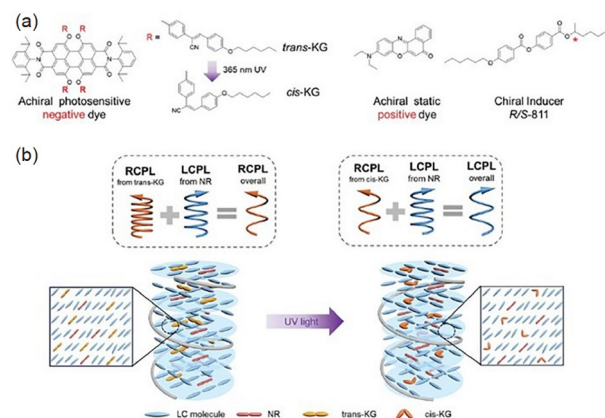


图9 (a) 各组分的化学结构. (b) 光驱动的CPL反转示意图^[54](网络版彩图)

Figure 9 (a) Chemical structures of each component. (b) Schematic diagram of photo-regulated CPL inversion ^[54] (color online).

并调控CPL信号的变化。然而, 关于光调控CPL手性和强度的研究仍然存在 g_{lum} 值和量子产率低、难以满足实际应用的需求等挑战。首先, 通过引入AIE发光团, 提高在LC基质中的荧光量子产率, 从而增强CPL信号。其次, 提高加工性能, 优化材料体系, 从小分子CLC到液晶光子胶囊、液晶弹性体, 脱离基板支撑, 实现固态下调控CPL信号, 从而拓展其在柔性3D显示、加密传输等领域的应用。本综述为刺激响应型手性LC的CPL调控策略提供了参考价值。

参考文献

- Wang Q, Plum E, Yang Q, Zhang X, Xu Q, Xu Y, Han J, Zhang W. *Light Sci Appl*, 2018, 7: 25
- Zhang J, Dai L, Webster AM, Chan WTK, Mackenzie LE, Pal R, Cobb SL, Law G. *Angew Chem Int Ed*, 2021, 60: 1004–1010
- Ai Y, Fei Y, Shu Z, Zhu Y, Liu J, Li Y. *Chem Eng J*, 2022, 450: 138390
- Jiang K, Fan Q, Guo D, Song C, Guo J. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2023, 15: 26037–26046
- Zhang Y, Yu W, Li H, Zheng W, Cheng Y. *Chem Eur J*, 2023, 29: e202204039
- Zhang Y, Yu S, Han B, Zhou Y, Zhang X, Gao X, Tang Z. *Matter*, 2022, 5: 837–875
- He Y, Lin S, Guo J, Li Q. *Aggregate*, 2021, 2: e141
- Saqlain M, Zohaib HM, Qamar S, Malik H, Li H. *Coord Chem Rev*, 2024, 501: 215559
- Gong ZL, Zhu X, Zhou Z, Zhang SW, Yang D, Zhao B, Zhang YP, Deng J, Cheng Y, Zheng YX, Zang SQ, Kuang H, Duan P, Yuan M, Chen CF, Zhao YS, Zhong YW, Tang BZ, Liu M. *Sci China Chem*, 2021, 64: 2060–2104
- Liu J, Song Z, Sun L, Li B, Lu Y, Li Q. *Responsive Mater*, 2023, 1: e20230005
- Okayasu Y, Wakabayashi K, Yuasa J. *Inorg Chem*, 2022, 61: 15108–15115
- Dai L, Zhang J, Chen Y, Mackenzie LE, Pal R, Law GL. *Inorg Chem*, 2019, 58: 12506–12510
- Zhang Y, Li H, Geng Z, Zheng W, Quan Y, Cheng Y. *Nat Commun*, 2022, 13: 4905
- Zong Y, Xu SM, Shi W, Lu C. *ACS Nano*, 2023, 17: 3838–3846
- Xu Y, Hao A, Xing P. *Angew Chem Int Ed*, 2022, 61: e202113786

- 16 Xu D, Hua X, Liu C, Luo J, Zheng WH, Cheng Y. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2023, 15: 25783–25790
- 17 Chen P, Ma LL, Hu W, Shen ZX, Bisoyi HK, Wu SB, Ge SJ, Li Q, Lu YQ. *Nat Commun*, 2019, 10: 2518
- 18 Lin S, Tang Y, Kang W, Bisoyi HK, Guo J, Li Q. *Nat Commun*, 2023, 14: 3005
- 19 Bai X, Sun Y, Jiang Y, Zhao G, Jiang J, Yuan C, Liu M. *Angew Chem Int Ed*, 2021, 60: 3745–3751
- 20 Yang X, Lv J, Zhang J, Shen T, Xing T, Qi F, Ma S, Gao X, Zhang W, Tang Z. *Angew Chem Int Ed*, 2022, 61: e202201674
- 21 Cai J, Liu AA, Shi XH, Fu H, Zhao W, Xu L, Kuang H, Xu C, Pang DW. *J Am Chem Soc*, 2023, 145: 24375–24385
- 22 Xu H, Ma CS, Yu CY, Tong F, Qu DH. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2023, 15: 25201–25211
- 23 Chen Y, Lu P, Li Z, Yuan Y, Ye Q, Zhang H. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2020, 12: 56604–56614
- 24 Yang X, Jin X, Zheng A, Duan P. *ACS Nano*, 2023, 17: 2661–2668
- 25 Jiang C, Shi Y, Yang X, Zhao T, Zhou J, Jin X, Zhang Y, Duan P. *Adv Opt Mater*, 2023, 11: 2300001
- 26 Li X, Hu W, Wang Y, Quan Y, Cheng Y. *Chem Commun*, 2019, 55: 5179–5182
- 27 Guo Q, Zhang M, Tong Z, Zhao S, Zhou Y, Wang Y, Jin S, Zhang J, Yao HB, Zhu M, Zhuang T. *J Am Chem Soc*, 2023, 145: 4246–4253
- 28 Zhou Y, Wang Y, Song Y, Zhao S, Zhang M, Li G, Guo Q, Tong Z, Li Z, Jin S, Yao HB, Zhu M, Zhuang T. *Nat Commun*, 2024, 15: 251
- 29 Wang X, Zhao B, Deng J. *Adv Mater*, 2023, 35: 2304405
- 30 Ren C, Sun W, Zhao T, Li C, Jiang C, Duan P. *Angew Chem Int Ed*, 2023, 62: e202315136
- 31 Lin S, Zeng S, Li Z, Fan Q, Guo J. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2022, 14: 30362–30370
- 32 Li M, Hu H, Liu B, Liu X, Zheng ZG, Tian H, Zhu WH. *J Am Chem Soc*, 2022, 144: 20773–20784
- 33 Yao K, Li Y, Shen Y, Quan Y, Cheng Y. *J Mater Chem C*, 2021, 9: 12590–12595
- 34 He Y, Fan Q, Gao J, Chen H, Guo J. *Mater Chem Front*, 2022, 6: 1844–1849
- 35 Li Y, Chen Y, Li H, Liu C, Li L, Quan Y, Cheng Y. *Angew Chem Int Ed*, 2023, 62: e202312159
- 36 Yang X, Zhou M, Wang Y, Duan P. *Adv Mater*, 2020, 32: 2000820
- 37 Hu Y, Huang Z, Willner I, Ma X. *CCS Chem*, 2023, 6: 518–527
- 38 Wang Q, Lin B, Chen M, Zhao C, Tian H, Qu DH. *Nat Commun*, 2022, 13: 4185
- 39 Gao X, Qin X, Yang X, Li Y, Duan P. *Chem Commun*, 2019, 55: 5914–5917
- 40 Wan SP, Lu HY, Li M, Chen CF. *J Photochem Photobiol C-Photochem Rev*, 2022, 50: 100500
- 41 Lan R, Bao J, Li Z, Wang Z, Wang Z, Wang Q, Zhang L, Xiao J, Yang H. *CCS Chem*, 2024, 23: 1–10
- 42 He Y, Zhang S, Bisoyi HK, Qiao J, Chen H, Gao JJ, Guo J, Li Q. *Angew Chem Int Ed*, 2021, 60: 27158–27163
- 43 Kang W, Tang Y, Meng X, Lin S, Zhang X, Guo J, Li Q. *Angew Chem Int Ed*, 2023, 62: e202311486
- 44 Yoshida S, Morikawa S, Ueda K, Hidaka M, Kaneko K, Kaneko K, Hanasaki T, Akagi K. *Adv Opt Mater*, 2020, 8: 2000936
- 45 Yoshida S, Morikawa S, Ueda K, Kaneko K, Hanasaki T, Akagi K. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2024, 16: 3991–4002
- 46 Hou J, Toyoda R, Meskers SCJ, Feringa BL. *Angew Chem Int Ed*, 2022, 61: e202206310
- 47 Li J, Bisoyi HK, Lin S, Guo J, Li Q. *Angew Chem Int Ed*, 2019, 58: 16052–16056
- 48 Qiao J, Lin S, Li J, Tian J, Guo J. *Chem Commun*, 2019, 55: 14590–14593
- 49 Yao K, Liu Z, Li H, Xu D, Zheng WH, Quan YW, Cheng YX. *Sci China Chem*, 2022, 65: 1945–1952
- 50 Martella D, Nocentini S, Micheletti F, Wiersma DS, Parmeggiani C. *Soft Matter*, 2019, 15: 1312–1318
- 51 Shibata Y, Maruyama S, Ishinabe T, Matsumoto Y, Fujikake H. *Jpn J Appl Phys*, 2021, 60: 081001
- 52 Chen Y, Zhang Y, Li H, Li Y, Zheng W, Quan Y, Cheng Y. *Adv Mater*, 2022, 34: 2202309
- 53 Chen Y, Li Y, Li H, Li L, Quan Y, Cheng Y. *Sci China Chem*, 2024, 67: 1250–1255
- 54 Li Y, Chen Y, Luo J, Quan Y, Cheng Y. *Adv Mater*, 2024, 36: 2312331

Recent advances in circularly polarized luminescent materials based on light regulation of cholesteric liquid crystals

Wenxin Kang¹, Tianqi Ren¹, Xianyu Meng¹, Shan Li¹, Jinbao Guo^{1,2*}

¹College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China

²Key Laboratory of Carbon Fiber and Functional Polymers, Ministry of Education, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China

*Corresponding author (email: guojb@mail.buct.edu.cn)

Abstract: Circularly polarized luminescence (CPL) has potential applications in the fields of chiral fluorescent probes, CP organic light-emitting diodes, and optical anti-counterfeiting. To expand the application range of CPL materials, researchers have begun to focus on stimulation-responsive CPL active materials. Cholesteric liquid crystal (CLC) has become an ideal choice for construction stimulus-responsive CPL active materials due to its highly ordered chiral environment and excellent tunability. Currently, CLC-based photo-responsive CPL materials have been widely developed, and these materials can achieve CPL signal response in multi-component systems. This review focuses on the research progress of photo-regulation of CPL in CLC, and summarizes three strategies for CPL regulation: (1) The CPL signal of CLC is regulated by the chirality or helix changes of photo-switches molecules during light modulation; (2) The CPL signal of CLC is regulated by the chiral competition between chiral photo-switches and chiral dopants; (3) The CPL signal is regulated by the changes of order parameter value of non-chiral dichroic dyes driven by light modulation. This review is expected to explore CPL regulation techniques based on photo-responsive CLC further to promote its application in a wider field.

Keywords: circularly polarized luminescence, light regulation, cholesteric liquid crystal, handedness inversion

doi: [10.1360/SSC-2024-0070](https://doi.org/10.1360/SSC-2024-0070)