



室温磷光液晶高分子构筑的高效有源光波导材料

胡俊, 王猛, 杨洪*

东南大学化学化工学院, 南京 211189

*通讯作者, E-mail: yangh@seu.edu.cn

收稿日期: 2024-09-19; 接受日期: 2024-10-08; 网络版发表日期: 2024-11-18

光波导材料是现代通信、光学传感、大容量信息存储等领域的重要基石^[1]。近年来, 随着这些领域的快速发展, 开发光损耗(OLC)更低、性能更优异的有源光波导材料具有重要的科学意义和应用价值^[2]。然而目前报道的有源光波导材料大多数是荧光材料, 其辐射寿命较短, 内量子效率较低, 不利于有源光波导材料的进一步发展和应用^[3]。相比于荧光材料, 有机室温磷光(RTP)材料展现出更长的寿命, 且可以同时捕获第一激发单重态和第一激发三重态, 内量子效率理论上高达100%, 还有较大的斯托克位移, 能有效避免光在传播过程中的二次吸收。因此, 采用RTP分子代替传统的荧光分子来制备有源光波导材料具有重要的科学意义。然而, 目前报道的RTP光波导材料多以单晶形态存在, 主要通过溶剂挥发和分子自组装的方式制备。这些材料的非共价键相互作用力相对较弱, 导致它们的机械性能和加工性能不佳, 难以实现大尺寸材料的制备, 这限制了RTP光波导材料在功能光学器件中的进一步应用^[4]。液晶高分子则可以通过外力剪切等方法对液晶畴区进行取向, 从而获得大面积有序结构。这种特性可以有效弥补传统有源光波导材料在有序结构调控方面的不足, 有望解决高光损耗等问题。

近日, 湘潭大学谢鹤楼教授与北京大学陈尔强教授团队合作, 报道了一种室温磷光液晶高分子(RTP LCP)制备的高效有源光波导材料^[5]。该工作通过将氟

硼衍生物引入到液晶高分子中, 成功制备出了室温磷光液晶高分子。利用这种液晶高分子制备的新型磷光光波导材料, 展现出优异的加工性能、大尺寸有序结构、低光损耗、可重复加工性以及热响应开关特性(图1a)。相关研究结果作为封面文章发表于*Science China Chemistry*。

该工作首先通过将磷光分子单体与液晶单体共聚, 制备了一系列具有室温磷光特性的液晶高分子。核磁、红外光谱、X射线衍射仪等表征结果证实了该类液晶高分子的成功合成, 变温延迟光谱实验证明了这些材料具有优异的室温磷光性能。此外, 研究团队进一步通过熔融拉伸的方法成功制备了取向纤维, 并系统地探讨了取向与折射率大小对OLC的影响。研究发现, 折射率越大, OLC越小(图1b与图1c)。与非取向纤维对比, 取向纤维的OLC约为非取向纤维的一半。为了深入了解取向与OLC之间的关系, 研究团队利用时域有限差分法进行仿真分析。结果表明, 随着传播距离的增加, 由于向列相液晶畴界面产生的光散射, 非取向纤维中的光传播出现了明显衰减(图1d); 相反, 取向纤维能够将光紧密束缚在光纤内部, 显著抑制了光衰减现象(图1e)。此外, 这类材料的磷光强度可以根据不同的环境温度进行有效调节, 基于这一特性, 研究团队开发了一种温度调制的光波导开关装置, 其具体实验装置与示意图如图1f-h所示。

引用格式: Hu J, Wang M, Yang H. Efficient active optical waveguide materials fabricated by room temperature phosphorescent liquid crystal polymers. *Sci Sin Chim*, 2024, 54: 2329–2330, doi: 10.1360/SSC-2024-0216

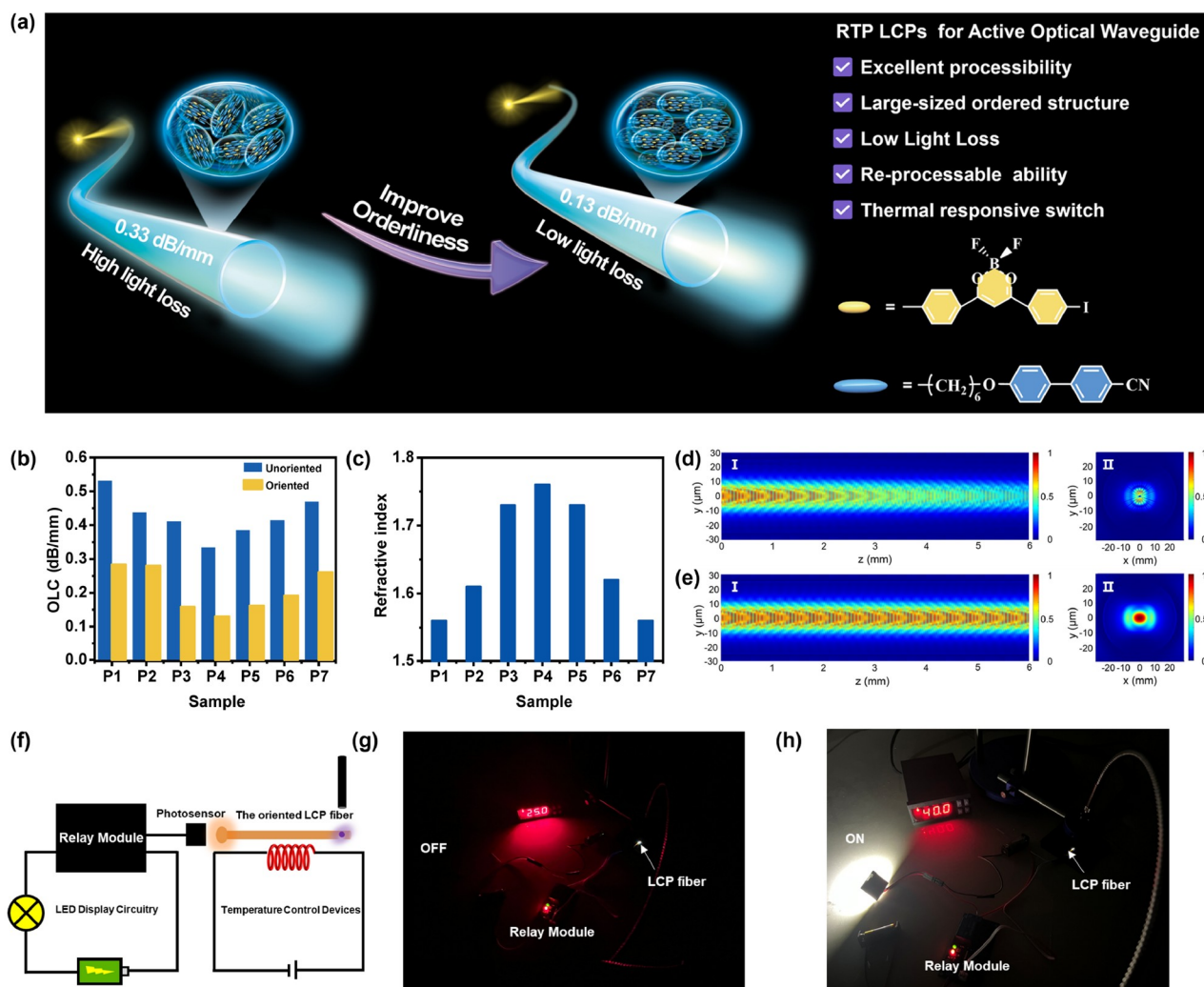


图 1 (网络版彩图) (a) 基于RTP LCPs的有源光波导材料的化学结构及特性; (b) 取向和非取向纤维P1~P7的OLC; (c) 共聚物P1~P7在556 nm处的折射率; 沿z轴 (I) 和x轴 (II) 的纵向界面, (d)非取向纤维和(e)取向纤维各点的光场强度分布; 光开关示意图 (f) 和照片(g, h), 以P4的取向纤维作为光波导, 在25 °C和40 °C温度下控制LED的状态^[5].

Figure 1 (Color online) (a) Chemical structure and characteristics of the active optical waveguide materials based on RTP LCPs. (b) OLC of the oriented and unoriented liquid crystal fibers P1–P7. (c) Refractive indexes of copolymers P1–P7 at 556 nm. Longitudinal interface along the z-axis (I) and x-axis (II) distribution of light field intensity at each point of (d) the unoriented fiber and (e) oriented fiber. (f) Schematic and (g, h) photographs of the light switch, using oriented fibers of P4 as optical waveguides to control the state of LEDs at 25 °C and 40 °C [5].

可以预见, 这类集大尺寸有序结构、低光损耗、可重复加工等优异特性于一身的高效室温磷光液晶高

分子有源光波导材料, 在光通讯、光学传感、光电信息存储等领域中将具有广阔的应用前景.

参考文献

- 1 Law M, Sirbuly DJ, Johnson JC, Goldberger J, Saykally RJ, Yang P. *Science*, 2004, 305: 1269–1273
- 2 Rein M, Favrod VD, Hou C, Khudiyev T, Stolyarov A, Cox J, Chung CC, Chhav C, Ellis M, Joannopoulos J, Fink Y. *Nature*, 2018, 560: 214–218
- 3 Zhuo MP, Wu JJ, Wang XD, Tao YC, Yuan Y, Liao LS. *Nat Commun*, 2019, 10: 3839
- 4 Halabi JM, Ahmed E, Catalano L, Karothu DP, Rezgui R, Naumov P. *J Am Chem Soc*, 2019, 141: 14966–14970
- 5 Li J, Guan Y, Xia W, Chen JK, Huang J, Chen Y, Lin Q, Chen EQ, Xie HL. *Sci China Chem*, 2024, 67: 3450–3457