

华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室

工作简报

2025 年第 3 期

(总第 91 期)

华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室编

2025 年 4 月 1 日

新闻动态

瑞典皇家理工学院常务副校长米凯尔·林德斯特罗姆一行来实验室参观调研..... 1

研究进展

发光理论与机制

苏仕健教授团队: 基于非键轨道离域化策略构建塞吨酮稠合硼氮芳烃的窄谱带橙红光 OLED... 2

苏仕健教授团队: 硫族元素桥联的异构化手性分子, 实现具有不同发光机制的 OLED 器件 4

王志明研究员团队: 涉及热激子的双通道阶梯能量转移构建高亮度、窄发射的高效稳定蓝色 OLED . 7

新型显示、探测与成像

马东阁教授&陈江山研究员团队: 高效且光谱稳定的蓝色准 2D 钙钛矿发光二极管..... 10

赵祖金教授团队: 纯有机室温磷光敏化剂制备高性能超荧光 OLED..... 13

周博教授团队: X 射线激活纳米粒子长余辉发光增强及高精度柔性 X 射线成像应用..... 15

夏志国教授团队: 近红外闪烁体 $\text{Cs}_2\text{HfCl}_6:\text{Mo}^{4+}$ 用于双模式协同成像..... 17

有机光伏材料与器件

段春晖教授团队: 成核驱动力调控纤维网络使非卤溶剂加工的聚噻吩太阳能电池效率突破 18%. 19

段春晖教授团队: 结构简单的聚合物给体构筑高效率低能量损失的有机太阳能电池 23

无机发光与光纤激光

夏志国教授团队: 柔性复合荧光光纤传感器用于多场景动态温度监测..... 24

前沿交叉

陈光需教授团队: PtZn-ZnO_x 界面增强低电位苯甲醇电氧化高选择性制备苯甲酸..... 29

仪器设备

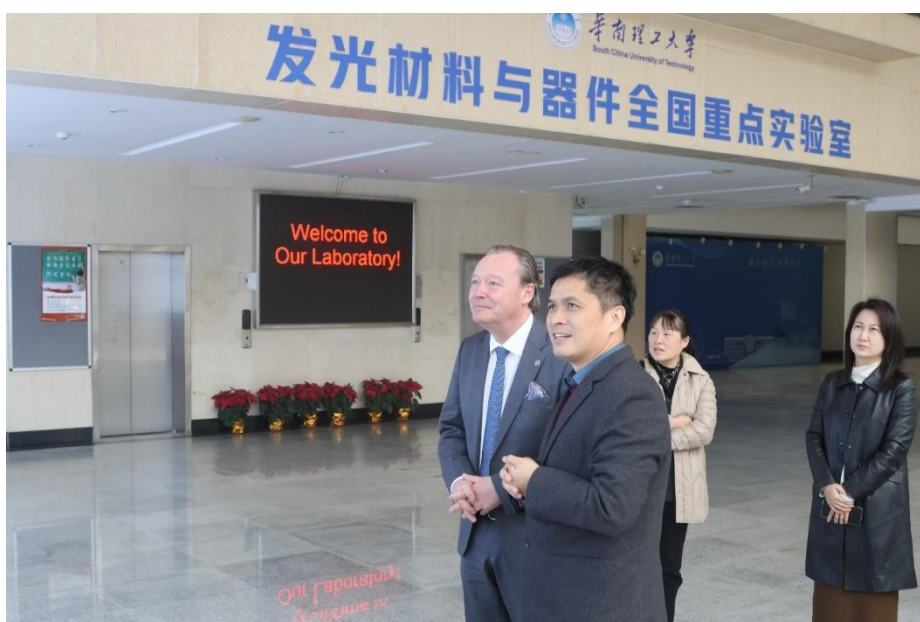
红外原子力显微镜..... 32

境内外学术交流来访..... 34

新闻动态

瑞典皇家理工学院常务副校长米凯尔·林德斯特罗姆一行来实验室参观调研

3月31日上午，瑞典皇家理工学院（KTH Royal Institute of Technology）常务副校长米凯尔·林德斯特罗姆（Mikael Lindström）一行来发光材料与器件全国重点实验室参观调研。



米凯尔·林德斯特罗姆副校长参观实验室

实验室副主任夏志国教授对调研组的来访表示热烈的欢迎，并详细介绍了实验室的整体情况，近年来在队伍建设、国际交流与合作、研究方向、承担科研项目等方面取得的成绩。

调研组参观了实验室的成果展示厅。夏志国为米凯尔·林德斯特罗姆一行介绍了指纹快速显现试剂、毒品检测试剂盒、高性能单频光纤激光和热激子蓝光材料等成果的研究背景及应用。

调研组对实验室取得的原创性成果给予高度的赞赏。

研究进展

发光理论与机制

苏仕健教授团队：基于非键轨道离域化策略构建噻吨酮稠合硼

氮芳烃的窄谱带橙红光 OLED

含羰基稠环化合物及其衍生物因独特的三线态激子利用能力,在多个研究领域引起广泛关注。尤其在有机电致发光(OLED)领域,因其良好的电子受体特性,被用于构筑高效蓝绿色 OLED 发光材料。然而,这类材料通常存在发光光谱宽、色纯度不高的问题。因此,如何优化分子结构设计以实现窄谱带发射、提高色纯度,成为亟待解决的关键问题。

近日,华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的苏仕健教授课题组利用非键轨道离域化策略,通过将羰基稠环化合物噻吨酮与硼氮进行稠合,实现了首例橙红光发射的羰基硼氮稠环芳烃化合物,有望拓展在高色纯度 OLED 发光材料领域的应用。

研究团队通过不同的稠合方式,开发了两种新型羰基硼氮稠环芳烃化合物 2TXBN 和 BNTXBN。理论计算结果表明,两种材料的前线分子轨道呈现出不同的电子云分布特征(图 1)。其中,2TXBN 的噻吨酮骨架呈现出显著的非键轨道离域化效应,根据 SCS-CC2 计算结果,这种独特的轨道特征有助于提升三线态能量,导致更小的单三线态能级差 (ΔE_{ST}) 和短的激发态寿命。实验结果进一步表明,两种化合物在甲苯溶液中表现出相似的发射峰位及窄发

射光谱，但 2TXBN 的 ΔE_{ST} 明显小于 BNTXBN。该策略不仅有效缩窄了材料的发射光谱，同时调控了能级结构，成功实现了发射光谱的红移与能隙缩小。

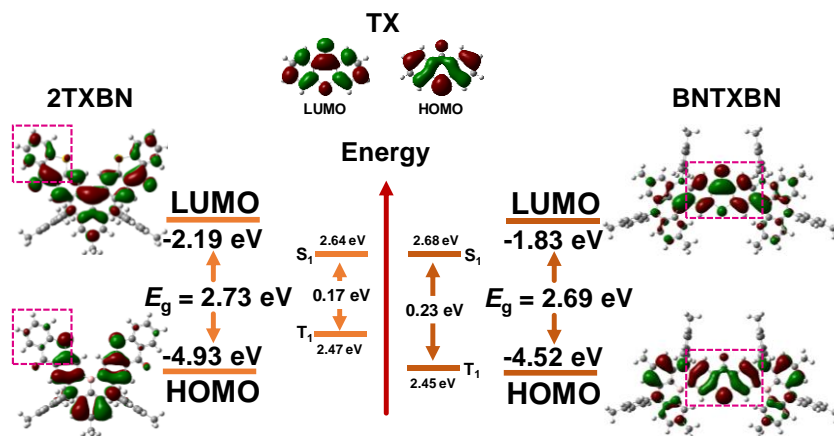


图 1 噻吨酮非键轨道离域化及其能级分布

基于上述光物理性质，研究团队进一步制备了 OLED 器件（图 2）。以 2TXBN 为发光层的 OLED 器件实现了超过 31% 的外量子效率，显著高于 BNTXBN 器件的性能。这一结果充分证明了非键轨道离域化策略在提升 OLED 器件效率方面的有效性，其能够优化单线态-三线态转换过程，提高激子利用率，从而增强发光效率。

本研究通过羰基稠合硼氮策略，拓展了含羰基类化合物在窄发射有机光电材料中的应用。相较于传统硼氮化合物，该工作构筑的羰基硼氮稠环芳烃材料展现出更强的电荷转移特征，为兼具高效率和高色纯度的 OLED 材料设计提供了思路。

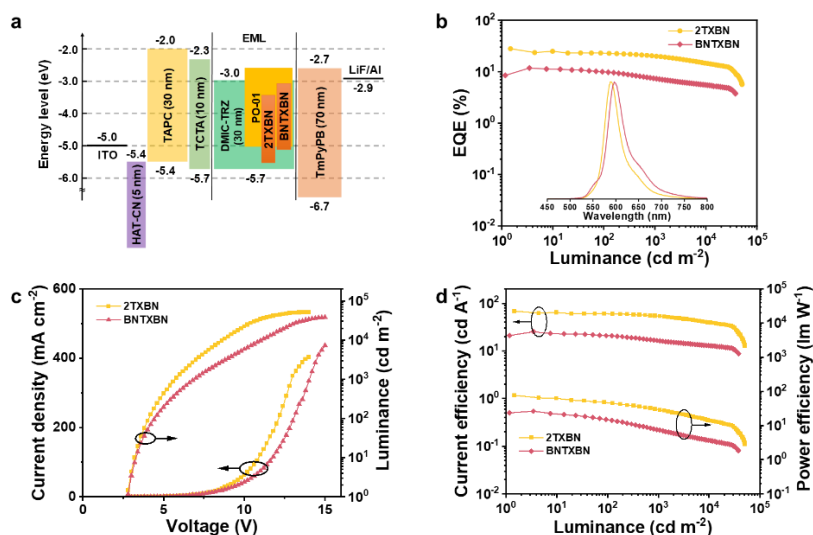


图 2 2TXBN 和 BNTXBN 在 OLED 器件中的电致发光性能

相关研究成果以 “*Delocalized Nonbonding Orbitals of Thioxanthone in Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Reduced Energy Gap and Narrowband Emission*” 为题发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，其中通讯作者为苏仕健教授和李梦珂博士，第一作者为杨志海博士生。该工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金和博士后创新人才支持计划的资助。

苏仕健教授团队：硫族元素桥联的异构化手性分子，实现具有

不同发光机制的 OLED 器件

探索有机发光材料的高效发光机制对于提升有机发光二极管 (OLED) 的性能至关重要。热活化延迟荧光 (TADF) 和室温磷光 (RTP) 两种机制通过高效利用三线态激子，能够实现理论上 100% 的内量子效率。然而，纯有机体系中的三线态激子存在自旋禁阻问题。如何在纯有机体系中突破这些限制实现高效发光，是光电

材料领域的重要研究方向。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的苏仕健教授课题组利用硫族元素桥联的异构化手性分子工程，实现了有机材料的高效的 TADF 发光，及 TADF 与 RTP 的协同发光，有望拓展在高性能圆偏振 OLED 器件及白光 OLED 器件上的应用。

研究团队提出了一种基于分子异构工程的设计策略，在分子设计中引入了苯二硫醇和联萘酚（八氢联萘酚）作为给体单元，二氰基苯作为受体单元，通过调整分子对称性构建多环芳烃框架，实现了激发态特性的调控（图 1）。硫族元素不仅具备优异的电子供体特性，其独特的重原子效应和非共面分子结构还能增强三线态激子的利用效率。同时，联萘酚单元的引入赋予了这些材料优异的圆偏振发光特性。

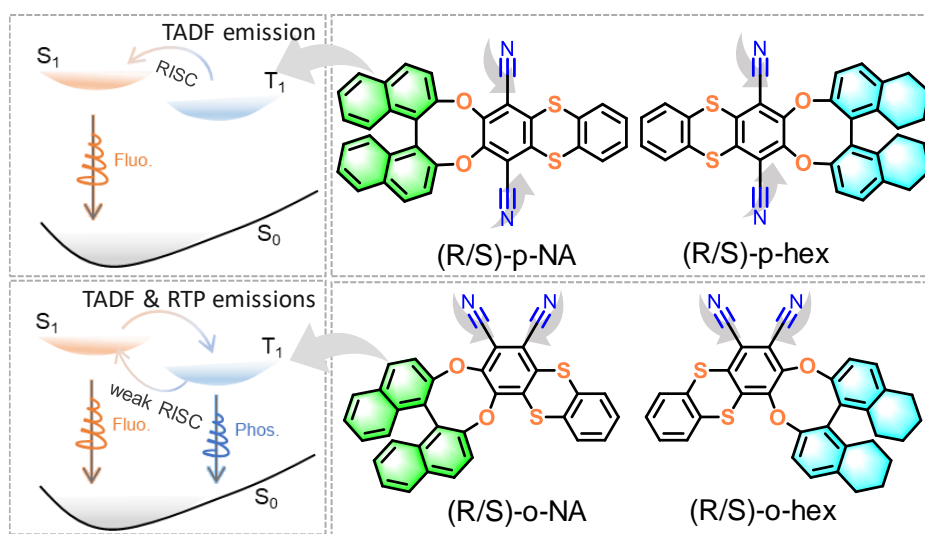


图 1. 硫族元素桥联的手性分子的化学结构及发光机制

研究发现，具有一定分子对称性的 (R/S)-p-NA 和 (R/S)-p-hex 表现出典型的 TADF 特性，其光致发光量子效率在薄膜中超过 90%。而 (R/S)-o-NA 和 (R/S)-o-hex 由于分子对称性导致的电子分布变化以及由此引发的振动 SOC 效应增强，呈现蓝色 TADF

与黄色 RTP 双重发光特性，从而成功地实现了高效的单分子白光发射（图 2）。

基于开发的新型 TADF 材料制备的 OLED 器件外量子效率高达~30%，展现了纯有机 TADF 材料的优异性能；利用双发射有机材料 (R/S)-o-NA 和 (R/S)-o-hex，研究团队还成功开发了单分子白光 OLED 器件（图 3）。与传统多层白光 OLED 相比，该器件结构更加简化，在显示和照明领域具有重要潜力。

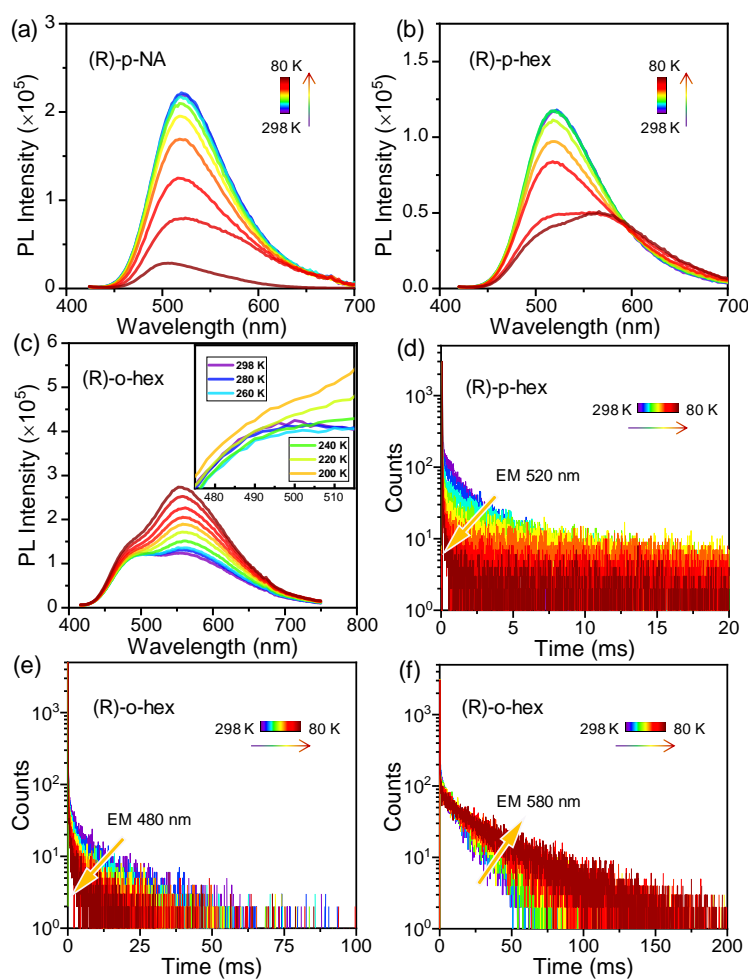


图 2. 材料在有机薄膜中的光物理性质

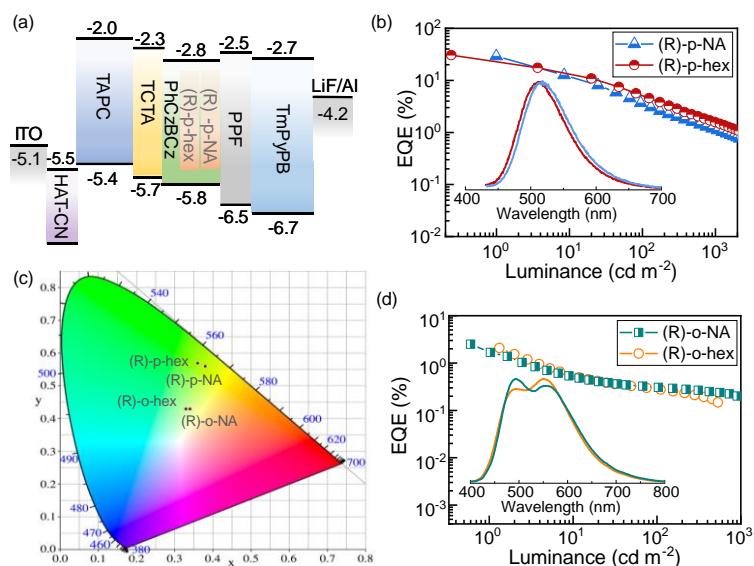


图 3. 材料在 OLED 器件中的电致发光性能

相关研究成果以“*Excited-State Engineering of Chalcogen-Bridged Chiral Molecules for Efficient OLEDs with Diverse Luminescence Mechanisms*”为题发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，其中通讯作者为苏仕健教授，第一作者为李梦珂博士后。该研究工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金和博士后创新人才支持计划的资助。

王志明研究员团队：涉及热激子的双通道阶梯能量转移构建高亮度、窄发射的高效稳定蓝色 OLED

由于长寿命三线态激子易发生湮灭过程（如三线态-三线态湮灭（TTA）和三重态-极化子湮灭），OLED 在高亮度下的效率稳定性（即效率滚降）以及器件工作稳定性仍面临挑战。这些负面效应在蓝色 OLED 中尤为显著，因此工业界的 OLED 蓝光发射源仍依赖传统荧光材料。为突破蓝色 OLED 的发展瓶颈，亟需在分子

与器件设计层面提出创新性解决方案。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的王志明研究员课题组研究设计了一种兼具热激子（Hot-Exciton）与聚集诱导发光（AIE）特性的蓝色有机发光材料 2TPA-CNNPI，并将其作为敏化剂构建了新型的三线态-三线态湮灭（TTA）辅助热激子敏化荧光（HSF）器件，简称 THSF。该 THSF 体系通过双通道的阶梯型 Förster 和 Dexter 能量转移过程可以实现激子利用率提升、激子动力学加速以及三线态激子浓度控制的协同优化。THSF 策略对 OLED 器件中激子的流畅管理为实现具有窄发射和高亮度的高效稳定蓝色 OLED 提出了一种创新性解决方案。

THSF 器件的特征在于：1) 电子和空穴在热激子敏化剂上复合，并且位于高能级的三线态激子可以通过反向系间窜越（RISC, $T_n \rightarrow S_1$, $n \geq 2$ ）过程捕获利用；2) 热激子敏化剂的单线态（ S_1 ）和三线态（ T_1 ）能级分别处于 TTA 主体材料和窄发射掺杂剂相应的 S_1 和 T_1 能级之间，从而形成双通道阶梯型 Förster 和 Dexter 能量转移过程；3) 最终“浪费的” T_1 激子在 TTA 主体材料中通过 T-T 上转换过程回收利用。其中，赋予敏化剂 AIE 特性一方面可以抑制荧光浓度猝灭效应，促进从敏化剂到掺杂剂的 Förster 能量转移过程，另一方面可以抑制激子浓度湮灭效应，缓解敏化剂上因过多的激子积累而导致的效率严重滚降。

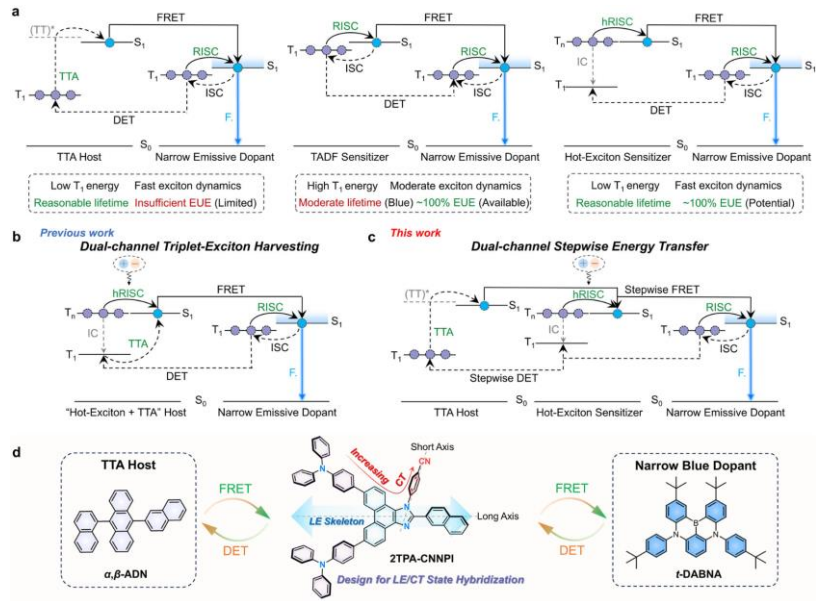


图 1. THSF 体系的激子过程示意图和 2TPA-CNNPI 的材料设计与材料搭配。

THSF 器件的优势在于：1) 热激子和 TTA 的双通道三线态激子捕获提高激子利用率；2) 快速的高能级 RISC 和高效 Förster 过程加速激子动力学；3) 高能级 T_n 转换为 S₁ 从而减少 T₁ 激子产生；4) 阶梯型 Dexter 能量转移过程分散 T₁ 激子的分布从而降低 T₁ 激子密度。对激子过程的精细控制使 THSF 器件综合性能超越 TTA 荧光 (TF) 以及 HSF 对照器件，展现出更高的最大亮度与外量子效率（分别达到 63590 cd m⁻² 和 11.0%），更低的效率滚降（1000 和 10000 cd m⁻² 下分别为 10.7% 和 9.1%）以及延长的器件工作寿命（LT₉₀@1000 cd m⁻² 为 27.1 小时）。为了进一步提高效率并突出 THSF 体系的稳定性，制备了 THSF 叠层器件。该蓝色 OLED 器件（EL: 468 nm, FWHM: 31 nm, CIE_{x,y}: 0.13, 0.12）的最大外量子效率为 18.3%，在 10000 和 50000 cd m⁻² 下效率分别为 17.6% 和 13.9%，相应的 L₉₀（即效率衰减至峰值 90% 时维持的亮度）达到了创纪录的 20000 cd m⁻²，并且器件工作寿命 (LT₅₀@100

cd m⁻²) 长达 13256 小时。这些结果充分证明了 THSF 策略在构建具有窄发射和高亮度特性的高效稳定蓝色 OLED 的应用潜力。

相关研究成果以 “*Hot-Exciton-Involved Dual-Channel Stepwise Energy Transfer Enabling Efficient and Stable Blue OLEDs with Narrow Emission and High Luminance*” 为题发表在 *Advanced Materials* 上，其中华南理工大学王志明研究员，香港科技大学林荣业教授和香港中文大学（深圳）唐本忠院士为论文的共同通讯作者。香港科技大学博士后张翰、华南理工大学博士研究生娄敬丽和曲阜师范大学博士张凯为该论文的共同第一作者，华南理工大学王志明研究员、香港科技大学林荣业教授、香港中文大学（深圳）唐本忠院士为论文的共同通讯作者。该研究工作得到了国家自然科学基金、发光材料与器件全国重点实验室自主研究项目等科研项目的资助。

新型显示、探测与成像

马东阁教授&陈江山研究员团队：高效且光谱稳定的蓝色准 2D

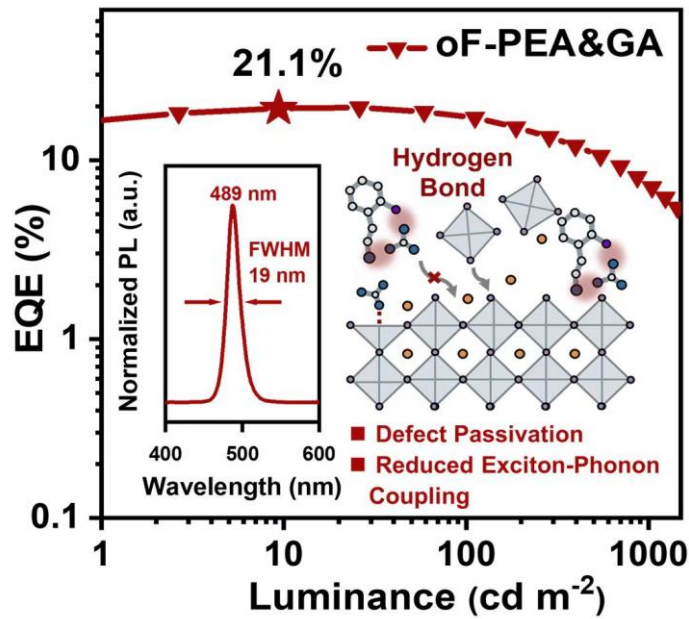
钙钛矿发光二极管

该论文聚焦于提高蓝色准二维钙钛矿的电致发光效率和光谱稳定性。钙钛矿材料在发光二极管领域 (PeLEDs) 具有巨大潜力，但蓝色 PeLEDs 的性能仍落后于红色和绿色 PeLEDs。因此，该研究旨在通过一种有效的策略——间隔阳离子工程，来构建具有高效蓝色发射的混合卤素准二维钙钛矿。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的马东

阁教授&陈江山研究员课题组利用间隔阳离子工程策略，实现高效和光谱稳定的电致发光，有望拓展钙钛矿发光二极管领域的应用。

本研究首先引入胍离子 (GA^+) 作为路易斯碱，其亚胺基团上的氮原子 (通过静电势分析证实具有显著负电势) 与不饱和铅原子形成有效配位，显著减少了卤素空位等离子缺陷，成功实现了缺陷钝化，降低了陷阱辅助的非辐射复合损失。其次，创新性地采用双间隔阳离子策略调控相分布。研究发现，准二维钙钛矿薄膜中混合 n 相的形成与有机间隔阳离子在前驱体溶液中的分散状态密切相关。X 射线衍射 (XRD) 结构分析表明，引入“自由” GA^+ 间隔阳离子会促进低 n 相的形成，而通过优化双阳离子组合，我们有效减少了低 n 相的比例，实现了理想的相分布调控。随后，通过分子动力学表征揭示了不同准二维相之间的能量传递，发现采用阳离子调控的薄膜实现了更快的能量传递。最后，成功制备了具有高效蓝色发射特性的准二维钙钛矿薄膜，其光致发光量子产率 (PLQY) 高达 91.5%，基于该薄膜的钙钛矿发光二极管实现了 21.1% 的外量子效率。器件表现出优异的光谱稳定性，电致发光发射中心位于 489nm，且具有仅 19nm 的窄半高宽。这项工作从分子相互作用、相分布调控到晶体相间传递三个层面，为准二维钙钛矿光电器件的性能提升提供了系统解决方案。



相关研究成果以“*Spacer Cation Engineering Enables Blue Quasi-2D Perovskites to Achieve Highly Efficient and Spectrally Stable Electroluminescence*”为题发表在 *Small* 上，其中通讯作者为马东阁教授，陈江山研究员，王磊教授，邢贵川教授，第一作者为余不凡博士生。该研究工作得到了国家重点研发计划（2022YFE0206000），国家自然科学基金（U2001219, 51973064），广东省基础与应用基础研究基金（2023B1515040003，2019A1515012142，2024A1515010262），广东省自然科学基金（2023B1212060003），湖北省自然科学基金（2023AFA034），武汉光电国家实验室开放项目（NO. 2021WNLOKF014），以及华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室（Skllmd-2023-05）等科研项目的资助。

赵祖金教授团队:纯有机室温磷光敏化剂制备高性能超荧光 OLED

有机发光二极管 (OLED) 是一种具有自发光、轻薄、柔性、节能等优势的新型显示和照明技术。在基于多重共振延迟荧光 (MR-TADF) 材料的 OLED 器件中, 引入磷光材料作为敏化剂, 可以得到高效率、窄光谱、长寿命的超荧光 OLED 器件, 在超高清显示领域中有较好的应用前景。不同于传统金属络合物磷光材料, 纯有机室温磷光 (RTP) 材料成本低廉, 对环境友好, 更有利于大规模生产。

近日, 华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的赵祖金教授课题组设计并合成了一个基于硫的重原子效应的新型高效 RTP 分子 3,2-PIC-TXT。由于硫的重原子效应, 3,2-PIC-TXT 的磷光辐射跃迁速率 ($k_{\text{phos}} = 6.8 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$)、磷光成分占比 ($r_{\text{phos}} = 98.3\%$) 相比此前报道的 3,2-PIC-XT ($k_{\text{phos}} = 2.4 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$, $r_{\text{phos}} = 64.6\%$) 都有了显著提升。将 3,2-PIC-TXT 作为发光客体和 MR-TADF 敏化剂用于 OLED 器件制备中, 器件电流效率 (CE) / 功率效率 (PE) / 外量子效率 (EQE) 峰值分别达到 $92.2 \text{ cd A}^{-1} / 96.6 \text{ lm W}^{-1} / 33.2\%$ 和 $150.9\text{--}179.9 \text{ cd A}^{-1} / 165.2\text{--}195.7 \text{ lm W}^{-1} / 40.9\%\text{--}43.8\%$, 并且具有良好的稳定性。以上结果有望拓展纯有机 RTP 材料在 OLED 中的应用。

纯有机 RTP 材料在 OLED 中的激子利用率理论上可达 100%, 具有一定的应用潜力。然而, 受限于现阶段纯有机 RTP 分子较低的系间窜越速率和磷光量子产率, 基于纯有机 RTP 发光客体或敏化剂的 OLED 器件性能仍未达到预期, 这阻碍了 RTP 材料在 OLED

技术中进一步的应用。通过在 RTP 分子中引入硫原子，利用硫的重原子效应提升了 RTP 分子的自旋轨道耦合效应，促进系间窜越过程，提高了 RTP 分子的磷光辐射跃迁速率，缩短了 RTP 分子的磷光寿命，最终提升了 RTP 分子的电致发光器件性能。基于以上策略开发的 RTP 分子 3,2-PIC-TXT 的掺杂 OLED 器件的电流效率 (CE)、功率效率 (PE) 和外量子效率 (EQE) 峰值分别为 92.2 cd A⁻¹、96.6 lm W⁻¹ 和 33.2%，效率滚降小，性能优于此前报道的 3,2-PIC-XT 及金属络合物磷光材料 Ir(ppy)₃。

将 3,2-PIC-TXT、3,2-PIC-XT 和 Ir(ppy)₃ 作为敏化剂，BN2、tCzphB-F1 和 tCzphB-Ph 这三种 MR-TADF 材料作为发光客体，制备了一系列 RTP 敏化 MR-TADF 超荧光窄光谱 OLED 器件。其中，以 3,2-PIC-TXT 为敏化剂的超荧光器件效率最优，其 CE、PE 和 EQE 分别达到 150.9-179.9 cd A⁻¹、165.2-195.7 lm W⁻¹ 和 40.9%-43.8%。基于 3,2-PIC-TXT 敏化剂和 tCzphB-F1 客体的超荧光器件稳定性优于 3,2-PIC-XT 敏化和无敏化剂的器件。综上所述，含硫的 RTP 敏化剂提升了 MR-TADF 器件的效率和稳定性，使器件的综合性能达到了领先水平（图 1），使 RTP 分子在 OLED 显示技术中的应用成为可能。

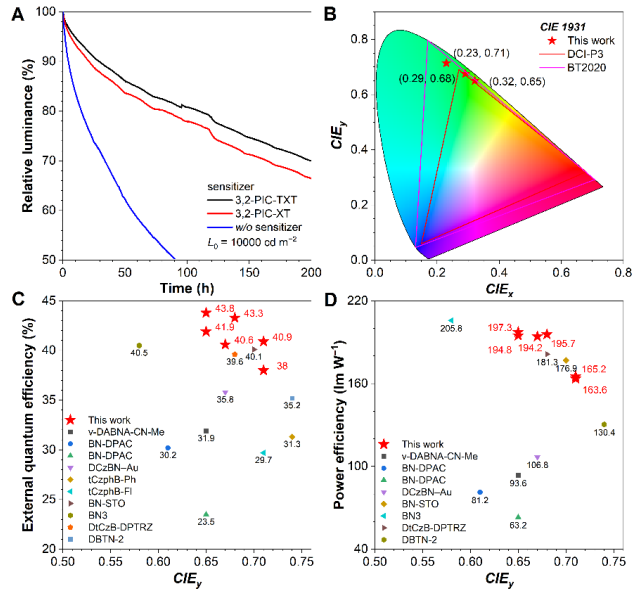


图 1 RTP 敏化 MR-TADF 器件性能总结

相关研究成果以 “*Purely organic room-temperature phosphorescence sensitizers for highly efficient hyperfluorescence OLEDs*” 为题发表在 *Science Advances* 上，其中通讯作者为赵祖金教授，第一作者为曾嘉杰博士。该研究工作得到了国家自然科学基金 (22375066、U23A20594) 和广东省基础与应用基础研究基金 (2023B1515040003) 等科研项目的资助。

周博教授团队：X 射线激活纳米粒子长余辉发光增强及高精度

柔性 X 射线成像应用

基于闪烁的 X 射线探测技术已广泛应用于无损检测、安全筛查和工业检查。稀土掺杂氟化物纳米晶作为理想的柔性 X 射线探测膜制造候选材料之一，受到了关注。在其中观察到 X 射线激活的长余辉发光，使得它们在先进的光学信息存储、治疗诊断和生物组织深度成像方面更具前景。长余辉发光与氟化物晶格中的

Frenkel 缺陷密切相关。X 射线轰击有助于将 F⁻ 离子从晶格位置移动到间隙位置，并形成与 F⁻ 相关的 Frenkel 缺陷，这些缺陷在停止 X 射线辐照后可以捕获并释放电子。在合成过程中通常会产生产羟基，这会抑制 F⁻ 离子迁移形成 Frenkel 缺陷，并且还会作为猝灭中心抑制发光。羟基杂质的影响通常被忽视，然而，它们会严重阻碍 Frenkel 缺陷的形成并猝灭发光。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的周博教授团队通过优化稀土掺杂氟化物纳米晶的合成过程，显著降低纳米晶格中的羟基杂质，促进了 X 射线激发下的弗伦克尔缺陷形成，使纳米颗粒的长余辉强度提升 4.5 倍，研究成果有助于理解 X 射线能量捕获过程，推动光纤存储、柔性成像等领域发展。

通过在合成过程中使用酸酐/酸来减少了纳米晶内部的羟基杂质，不仅提高了 X 射线激发下的辐照发光强度，还增加了纳米晶 Frenkel 陷阱的浓度，并显著提高了 X 射线激活的长余辉发光性能。与未处理的样品相比，羟基最小化的 LFNPs 的长余辉发光强度提高了 4.5 倍。对于不同粒径和不同稀土激活剂(包括 Pr³⁺、Er³⁺、Ho³⁺、Sm³⁺、Dy³⁺和 Tb³⁺) 的 LFNPs，也观察到类似的增强效应。重要的是，羟基最小化的纳米颗粒长余辉发光性能的提升扩展了对 X 射线辐照下长余辉发光机制的研究，并为理解氟化物晶格内部 Frenkel 缺陷的形成提供了新的视角。最终，核壳结构的设计成功实现了在时间尺度上的发射光颜色调节，并进一步展示了它们在高灵敏度和高分辨率下识别和存储光学信息的应用。

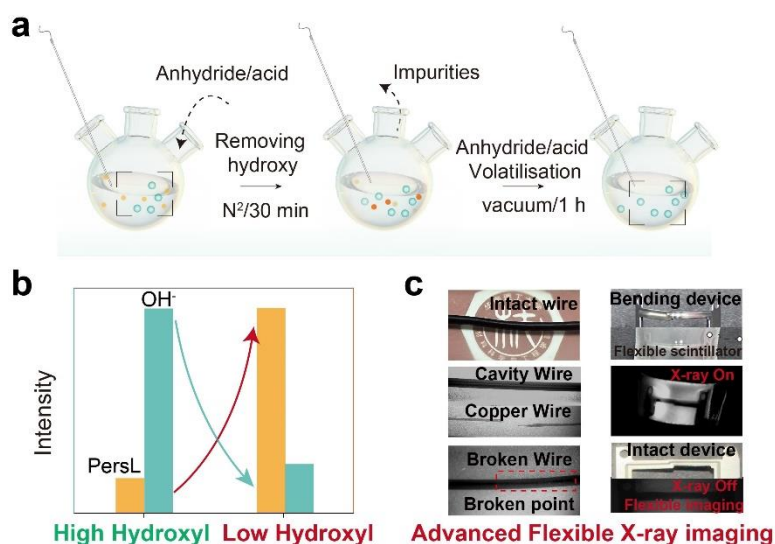


图 1 降低羟基杂质提升纳米粒子长余辉发光及 X 射线成像

相关研究成果以 “*Boosting X-Ray-Activated Persistent Luminescence in Nanoparticles Toward Highly Accurate Flexible X-Ray Imaging and Information Security*” 为题发表在 *Laser & Photonics Reviews* 上，其中通讯作者为周博教授，第一作者为魏国辉博士生。该研究工作得到了国家自然科学基金、广州市基础与应用基础研究基金、中国博士后科学基金、发光材料与器件全国重点实验室以及中央高校基本科研业务费专项资金科研项目的资助。

夏志国教授团队：近红外闪烁体 $\text{Cs}_2\text{HfCl}_6:\text{Mo}^{4+}$ 用于双模式协同成像

传统的可见光发射闪烁体用于 X 射线成像仅提供单一结构信息，难以满足以生物体为代表的复杂对象的多层次结构的综合检测需求。近红外 (NIR) 光背景噪声低、穿透能力，是补充 X 射线成像的理想选择之一。然而，现有 NIR 闪烁体普遍存在光产额

低 ($6000 - 22000 \text{ Ph MeV}^{-1}$)、发射波长短 ($660 - 740 \text{ nm}$) 等问题, 开发兼具高效 NIR 发射和双模式激发能力的新型闪烁体, 是实现复杂对象多层次结构协同成像的关键。

近日, 华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的夏志国教授课题组开发出一种新型 NIR 闪烁体 $\text{Cs}_2\text{HfCl}_6:\text{Mo}^{4+}$, 其具备高的光产额 ($44500 \text{ Ph MeV}^{-1}$), 并将 NIR 发射波长拓展到 950 nm , 实现了 X 射线与 808 nm 激光激发的双模式协同成像, 使用该材料制备的闪烁屏幕在生物组织的间接成像中可清晰分辨骨骼与血管结构, 有望拓展生物医学领域协同成像的应用。

研究团队通过简单的溶液反应制备了 Mo^{4+} 掺杂的 Cs_2HfCl_6 材料。 Mo^{4+} 离子掺杂引入了 310 nm 、 440 nm 和 800 nm 三个新的吸收峰, 这归因于 Mo^{4+} 的 ${}^3\text{T}_{1g} \rightarrow {}^1\text{T}_{2g}/{}^1\text{E}_g$, ${}^3\text{T}_{1g} \rightarrow {}^3\text{T}_{2g}$, and ${}^3\text{T}_{1g} \rightarrow {}^3\text{T}_{1g}(\text{P})$ $d-d$ 跃迁, 多激发峰为 X 射线与 NIR 双模激发创造有利条件。通过不同浓度及温度依赖寿命等实验, 证明了基质自限域激子 (STE) 到掺杂离子的能量传递。闪烁测试表明, 所制备的样品具有超过 900 nm 的 X 射线激发发射, 光产额达到 $44500 \text{ Ph MeV}^{-1}$, 检测线低至 87.4 nGy s^{-1} , 在总剂量 5.443 Gy 的辐照下, 辐射发光强度几乎不变, 证明了样品在 X 射线激发下具有良好的稳定性。使用所得样品制备的闪烁屏幕在 X 射线模式和 NIR 模式下分别具有 12 lp mm^{-1} 和 14 lp mm^{-1} 的空间分辨率。进一步利用 X 射线和 NIR 光的穿透性创新性提出双模协同间接成像, 利用自建的成像平台实现了简单光源切换的 X 射线成像和 NIR 成像。以鸡翅作为模拟复杂结构样品进行成像演示, 发现其在 X 射线模式清晰显示骨骼轮廓, 而 NIR 模式则突出血管网络, 二者融合后

有望实现解剖与生理信息的同步解析。

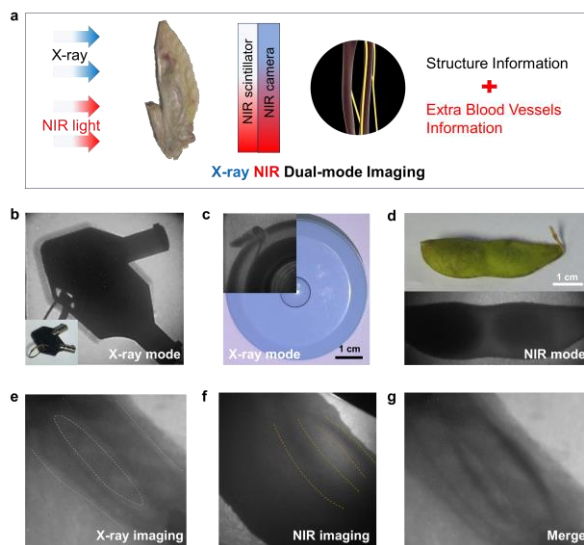


图 1 近红外闪烁体 $\text{Cs}_2\text{HfCl}_6:\text{Mo}^{4+}$ 实现 X 射线与 808 nm 激光激发的双模式协同成像原理与应用展示示意图。

相关研究成果以 “*Cs₂HfCl₆:Mo⁴⁺ as Near-infrared-Emitting Scintillators for Dual-Mode Collaborative Imaging*” 为题发表在 *Laser & Photonics Reviews* 上，其中通讯作者为夏志国教授，第一作者为廖蔚硕士生。该研究工作得到了国家自然科学基金（52425206 和 22361132525）、发光材料与器件全国重点实验室（Sk11md-2024-21）和中央高校基本科研业务费（2024ZYGXZR004）等科研项目的资助。

有机光伏材料与器件

段春晖教授团队：成核驱动力调控纤维网络使非卤溶剂加工的

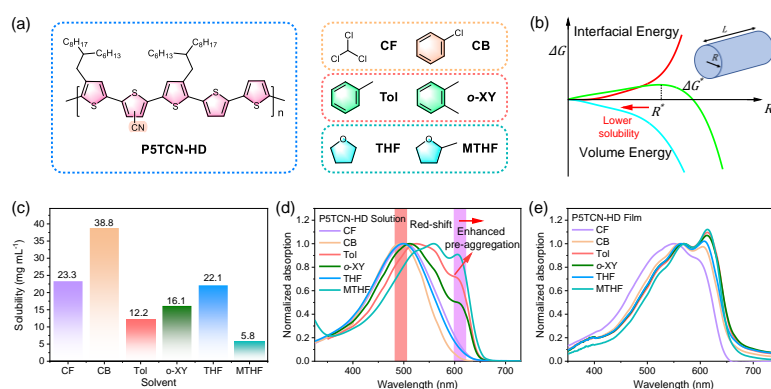
聚噻吩太阳能电池效率突破 18%

聚噻吩具有结构简单、合成成本低等优势，是最有希望大规

模生产的有机太阳电池给体材料，但其能量转换效率受限于活性层形貌优化难题。传统的分子改进策略虽部分提升了效率，但增加了材料复杂性和成本。如何通过形貌调控实现高效的聚噻吩太阳电池是推动其产业化的关键挑战。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的段春晖教授团队基于经典成核理论，通过溶剂选择调控聚噻吩的溶解度优化成核驱动力，成功使用非卤化溶剂甲苯在光活性层中构建了精细的纤维网络形貌。该策略使基于无卤聚噻吩 P5TCN-HD 的器件效率提升至 18.12%，创下聚噻吩太阳电池的效率新纪录，为低成本、环境友好型有机太阳电池的工业化提供了新思路。

经典成核理论指出，晶核形成过程及晶体特征尺寸取决于成核驱动力与表面张力，二者均受溶剂溶解能力调控。聚噻吩 P5TCN-HD 在常用卤代溶剂氯仿中的高溶解度(成核驱动力不足)会导致给受体的过度混溶。同时，由于氯仿挥发性强，成膜速度快，这导致溶液中的过度混溶状态保持至薄膜中，从而造成过小的相分离尺度，引起严重的电荷复合，限制了器件效率。



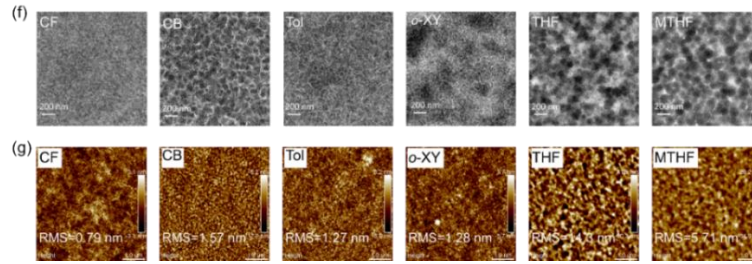


图 1 (a) 聚噻吩 P5T2CN-HD 的结构式以及所选用的溶剂；
 (b) 根据经典成核理论， ΔG^* 和纤维半径 R 的关系图；(c)
 P5TCN-HD 在不同溶剂中的溶解度。(d) P5TCN-HD 在不同溶剂中
 和 (e) 用不同溶剂加工成的薄膜的归一化吸收光谱。不同溶剂
 加工的薄膜的 (f) TEM 和 (g) AFM 图像。

低挥发性卤代溶剂氯苯对 P5TCN-HD 的高溶解性也造成成核驱动力不足，但高沸点造成更长的薄膜干燥时间让 P5TCN-HD 有更长的纤维生长时间，最终形成了过大的相分离和松散的纤维结构。极性溶剂四氢呋喃和甲基四氢呋喃由于对受体的低溶解度会导致受体的过度结晶。相比之下，低溶解度的非卤溶剂甲苯和邻二甲苯增强了 P5TCN-HD 的成核驱动力并具有合适的成核时间，从而促进了双连续纤维网络的形成。最终，基于甲苯溶剂加工的 P5TCN-HD:eC9-2C1 二元器件实现了 17.10%的能量转换效率，P5TCN-HD:eC9-2C1:L8-BO-F 三元器件实现了 18.12%的效率和 79.17%的填充因子，创造了聚噻吩太阳能电池的效率以及填充因子新纪录。本研究揭示了溶剂溶解性对成膜过程与形貌演化的关键调控作用，为聚噻吩基器件的优化提供了重要理论依据。

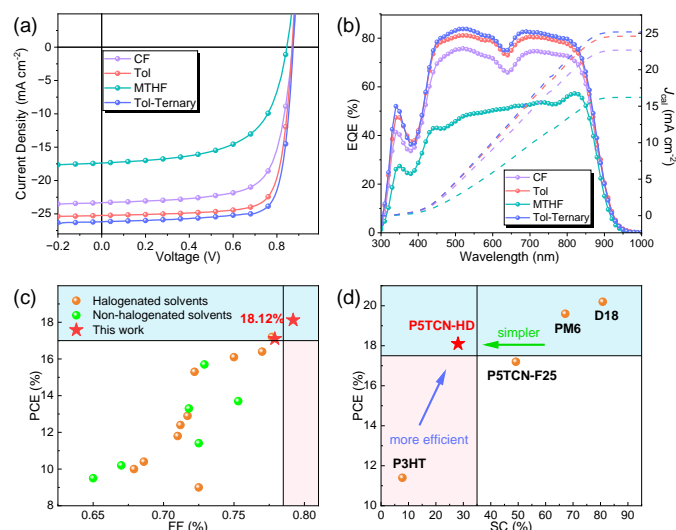


图 2 (a) 器件的 $J-V$ 曲线、(b) EQE 光谱和积分电流密度 J_{cal}^{EQE} ; (c) 文献报道的基于聚噻吩的 OSC 的 PCE 和 FF (d) P5TCN-HD、P5TCN-F25、P3HT、PM6 和 D18 的 PCE 和合成复杂度 (SC)。

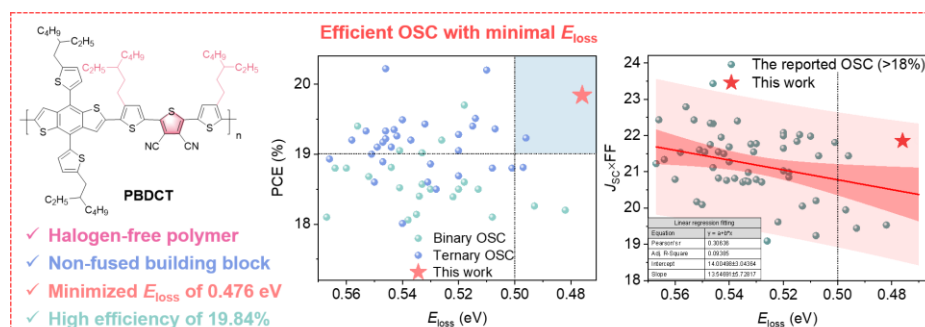
相关研究成果以“*Nucleation driving force-controlled fibril network formation enables polythiophene solar cells with exceeding 18% efficiency from non-halogenated solvent*”为题发表在 *Energy & Environmental Science* 上。其中通讯作者为华南理工大学段春晖教授、博士后袁熙越以及华南师范大学章勇教授，第一作者为华南师范大学交流硕士生李疆龙、华南理工大学博士生谢东生和博士后袁熙越。该研究工作得到了国家自然科学基金、广东省基础与应用基础研究基金、广东省创新团队科研计划等科研项目的资助。

段春晖教授团队：结构简单的聚合物给体构筑高效率低能量损

失的有机太阳电池

有机太阳电池（OSC）因质轻、柔性和半透明特性成为潜力光伏技术，其光电转化效率（PCE）已突破 20%，但仍落后于硅基和钙钛矿太阳电池，主要受限于较低的开路电压（ V_{oc} ）和较高能量损失（ E_{loss} ）。为了降低 OSC 的 E_{loss} ，研究者们常采用两种策略：一是通过引入稠环缺电子砌块或卤化取代基开发具有较深 HOMO 能级的聚合物给体；二是通过添加客体电子受体构建多元共混物体系。然而，高生产成本与复杂材料选择限制了这些策略的应用。因此，探索采用结构简单、易于合成的材料以及简便的器件制造工艺，以进一步突破 E_{loss} 的极限，对于实现 OSC 效率的突破具有至关重要的意义。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的段春晖教授课题组报道了一种结构简单的非卤化聚合物给体 PBDCT，二元器件实现了 19.84% 的 PCE 和 0.476 eV 的超低能量损失，该研究工作不仅展示了利用结构简单材料构建高效有机太阳电池的潜力，而且为克服能量损失限制、实现有机太阳能电池效率的进一步突破开辟了新前景。



作者以 3,4-二氰基噻吩（DCT）作为缺电子单元，通过调控

噻吩 π 桥上烷基链枝化位点，设计合成结构简单的非卤化聚合物给体 PBDCT。PBDCT 的 HOMO 能级显著降低，有效抑制了有机太阳能电池的辐射和非辐射复合能量损失。通过对烷基链的优化设计，有效提高了聚合物的结晶度并降低其能量无序性，进而促进了激子的高效解离。此外，PBDCT 聚集特性的改善，诱导共混体系形成了双连续结晶纤维网络结构，极大增强了激子的扩散效率和电荷传输能力。最终，基于 PBDCT:eC9 的二元器件展现出 19.84% 的能量转换效率和极低的能量损失 (0.476 eV)，刷新了基于非卤化聚合物给体有机太阳能电池的效率纪录。

相关研究成果以 “*A Structurally Simple Polymer Donor Enables High-Efficiency Organic Solar Cells with Minimal Energy Losses*” 为题发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，其中通讯作者为段春晖教授、吴佳莹教授和袁熙越博士，第一作者为蒋秋菊博士生和博士后袁熙越。该研究工作得到了国家自然科学基金项目、广东省基础与应用基础研究基金项目、中国科学技术部项目等科研项目的资助。

无机发光与光纤激光

夏志国教授团队：柔性复合荧光光纤传感器用于多场景动态温度监测

柔性复合荧光光纤传感器作为集成荧光材料与光纤的测温器件，兼具二者的优异性质，其响应快，灵敏度高，能够抵抗电磁干扰。通过定制调控加入复合光纤的荧光材料，制造出具有良

好测温性能的柔性光纤，用于多场景的动态温度监测，其应用领域包括智能可穿戴设备监测生理温度、植入软包电池监控电池热量聚集等，可覆盖生物、能源等多个领域。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的夏志国教授课题组分别利用 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺杂的无机氧化物 Li_2HfO_3 和卤素钙钛矿 $\text{Cs}_2\text{NaLuCl}_6$ 纳米晶，将其分别于荧光光纤结合，根据 Er^{3+} 的上转换发光 FIR 随温度变化的规律，实现了高灵敏度、高测温精度的实时温度监测，并成功应用于人体皮肤温度及气流热动态传感及软包电池内部温度的实时监测。

针对柔性温度传感器在可穿戴应用中面临的稳定性不足、灵敏度与测温精度难以兼顾、信号易受干扰等挑战，团队提出基于 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺杂 Li_2HfO_3 荧光材料与双包层柔性光纤的协同创新方案。利用 ${}^2\text{H}_{11/2}$ 与 ${}^4\text{S}_{3/2}$ 热耦合能级特性，结合荧光强度比 (FIR) 技术实现温度响应，在 300 K 时获得 $0.875\% \text{ K}^{-1}$ 的测温相对灵敏度。

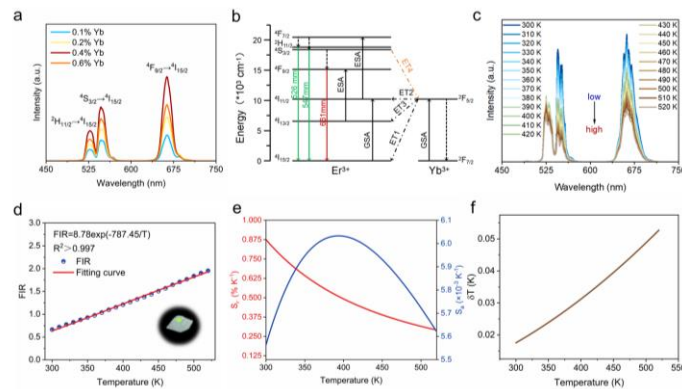


图 1. $\text{Li}_2\text{HfO}_3:\text{Yb}/\text{Er}$ 荧光材料的发光及温度传感性能

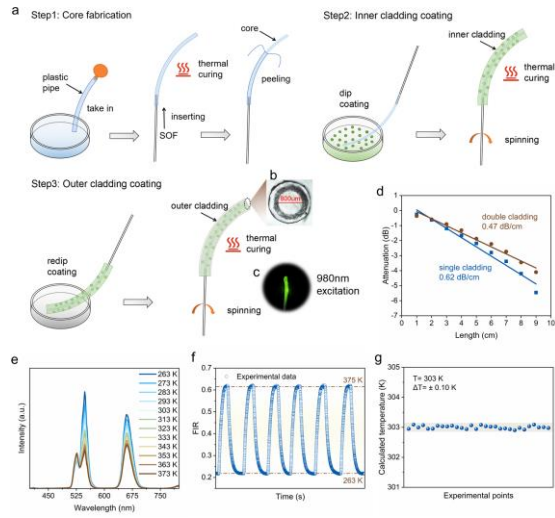


图 2. $\text{Li}_2\text{HfO}_3:\text{Yb}/\text{Er}$ 荧光光纤的制备及温度传感应用特性

进一步制备的柔性复合荧光光纤温度传感器具有良好的灵敏度、准确性和重复性。其中，设计的双包层柔性光纤结构，内层包覆 $\text{Li}_2\text{HfO}_3:\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 荧光材料作为温度传感核心，外层的低折射率包层抑制环境杂散光，保障信号传输稳定性，使传感器能保持 $\pm 0.1 \text{ K}$ 的高精度。得益于更优良的导光性、更准确的温度响应性以及光纤柔性，双包层柔性光纤成功应用于人体皮肤和气流热的温度监测。

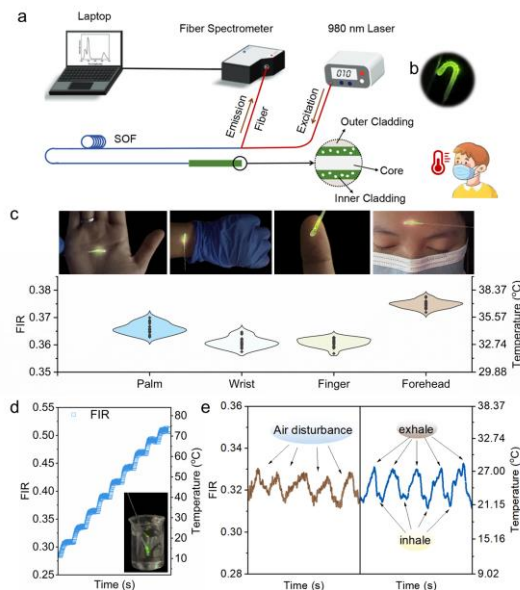


图 3. $\text{Li}_2\text{HfO}_3:\text{Yb}/\text{Er}$ 荧光光纤的实时温度传感演示

在另外一个工作中，研发团队设计制备了具有热增强发光的 $\text{Cs}_2\text{NaLuCl}_6:\text{Yb}/\text{Er}$ 上转换纳米晶，进一步制造出柔性荧光光纤，测温误差为 $\pm 0.13\text{ K}$ ，能实现在软包电池中温度的实时原位监控。

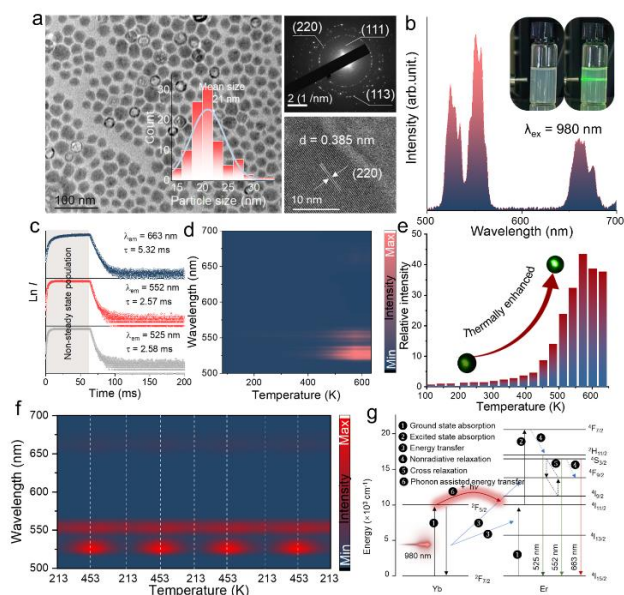


图 4. $\text{Cs}_2\text{NaLuCl}_6:\text{Yb}/\text{Er}$ 纳米晶的形貌及发光热增强特性

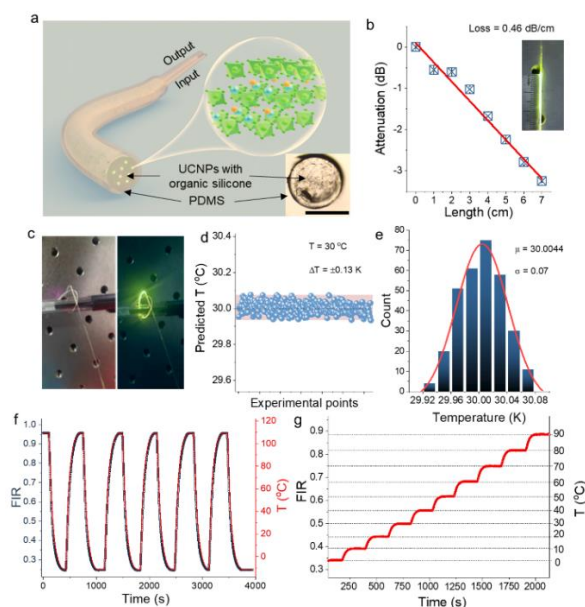


图 5. $\text{Cs}_2\text{NaLuCl}_6:\text{Yb}/\text{Er}$ 荧光光纤的制备及温度传感性能

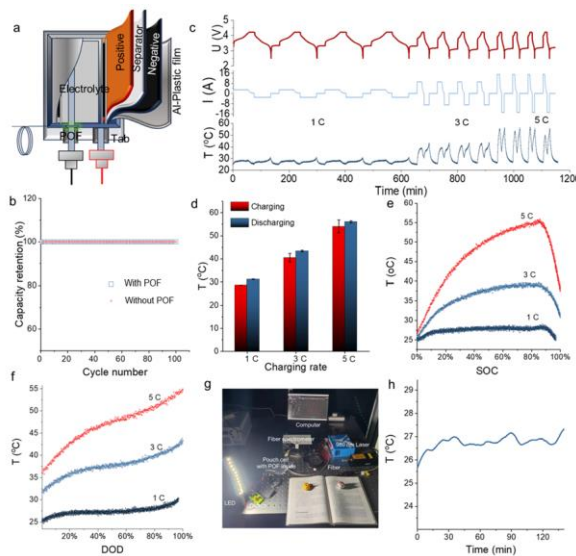


图 6. $\text{Cs}_2\text{NaLuCl}_6: \text{Yb/Er}$ 荧光光纤在软包电池中的温度传感
 相关研究成果分别以 “*Flexible composite fluorescent optical fiber sensor embedded with $\text{Li}_2\text{HfO}_3: \text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ for physiological temperature monitoring*” 为题发表在 *Laser & photonics reviews* 上(通讯作者为夏志国教授和汪玉珍博士后, 第一作者为朱茜硕士生) 及 “*Fiber Optic Boltzmann Thermometry in a Doped Halide Double Perovskite for Dynamic Temperature Monitoring in Pouch Cell*” 为题发表在 *Small* 上(第一作者为汪玉珍博士后, 通讯作者为夏志国教授)。上述研究工作得到了国家自然科学基金项目 (52302177 和 52425206), 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2024A1515011070) 等科研项目的资助。

前沿交叉

陈光需教授团队：PtZn-ZnO_x界面增强低电位苯甲醇电氧化高选择性制备苯甲酸

苯甲酸是一种重要的精细化学品，传统生产工艺依赖甲苯氧化，需高温高压，能耗高、提纯复杂且碳排放高。近年来，电催化苯甲醇氧化反应制备苯甲酸因其催化方式和反应条件温和备受关注。然而，目前电催化苯甲醇氧化仍然需要高电位，导致能耗大，副反应严重且催化剂稳定性差。因此，研究开发在低电位下高效电催化剂至关重要。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的陈光需教授课题组利用 PtZn-ZnO_x 界面的精准构建，实现在低电位（0.725 V）下苯甲醇电氧化高选择性制备苯甲酸，并对反应机理进行了深入的研究，相关研究成果有望拓展生物质电催化低碳高值化领域的应用。

本研究成功研制了一种新型 PtZn-ZnO_x 电催化剂，能够在低电位下高效催化苯甲醇氧化反应（BAOR），突破传统催化剂的性能瓶颈。传统 Pt 基催化剂尽管可在低至 0.4 V (vs RHE) 的起始电位下运行，但仍面临电流密度低、苯甲酸选择性不足及易被中间产物（如 CO）毒化失活等难题。针对这些问题，研究团队通过界面工程策略，采用浸渍法与 H₂ 还原工艺制备出 PtZn 金属间化合物（IMA）纳米颗粒，其平均粒径为 2.38 nm，表面富含 PtZn-ZnO_x 界面，并通过像差校正电镜和 X 射线衍射证实了(110)晶面的稳定暴露。这种独特的结构设计使催化剂在 0.725 V(vs RHE)

的超低电位下即可实现苯甲醇高效氧化，且苯甲酸选择性高达 99.5%，与文献报道相比，反应电位大幅降低了 0.6 V。

本研究的核心创新点在于通过界面协同效应优化催化路径。首先，PtZn 合金化调控了 Pt 的电子结构，降低其 d 带中心，形成孤立的 Pt 活性位点，显著抑制 CO 吸附导致的失活。

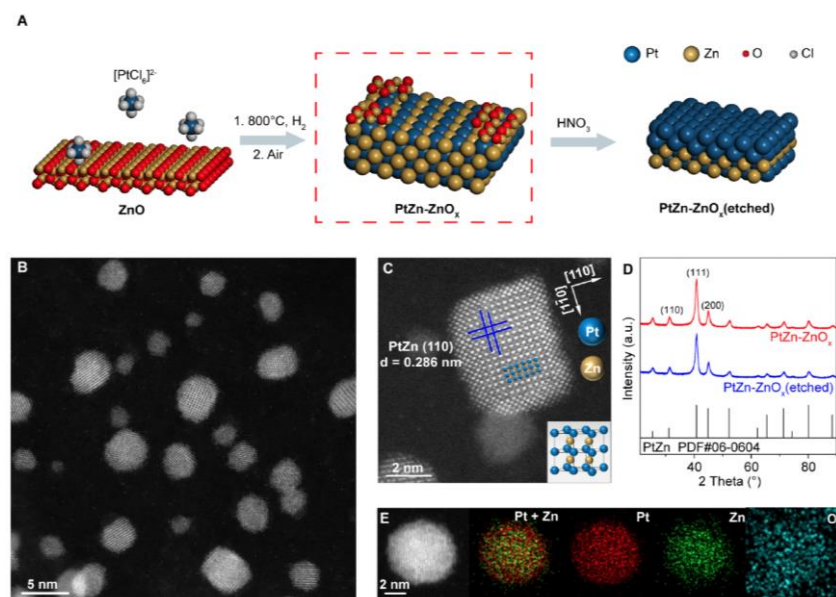


图 1. PtZn-ZnO_x 界面催化剂的设计合成

其次，界面中存在的饱和配位 Zn 原子促进了苯甲醇和中间产物苯甲醛的吸附，并通过增强亲电性 OH* 的生成加速反应进程。本研究开发的 PtZn-ZnO_x 界面作用机制可概括为三方面：一是电子结构优化，Zn 的引入调整 Pt 的电子环境，增强抗毒化能力；二是不饱和 Zn 位点提供高活性界面，促进反应物吸附与活化；三是金属间化合物与 ZnO_x 的协同作用稳定了纳米结构，确保循环稳定性。通过实验与理论模拟的结合，本研究不仅解决了低电位下催化活性与选择性的矛盾，还揭示了界面原子配位状态对反应动力学的关键影响，为生物质电催化低碳高值化领域的高效电催化剂的设计提供了新思路。

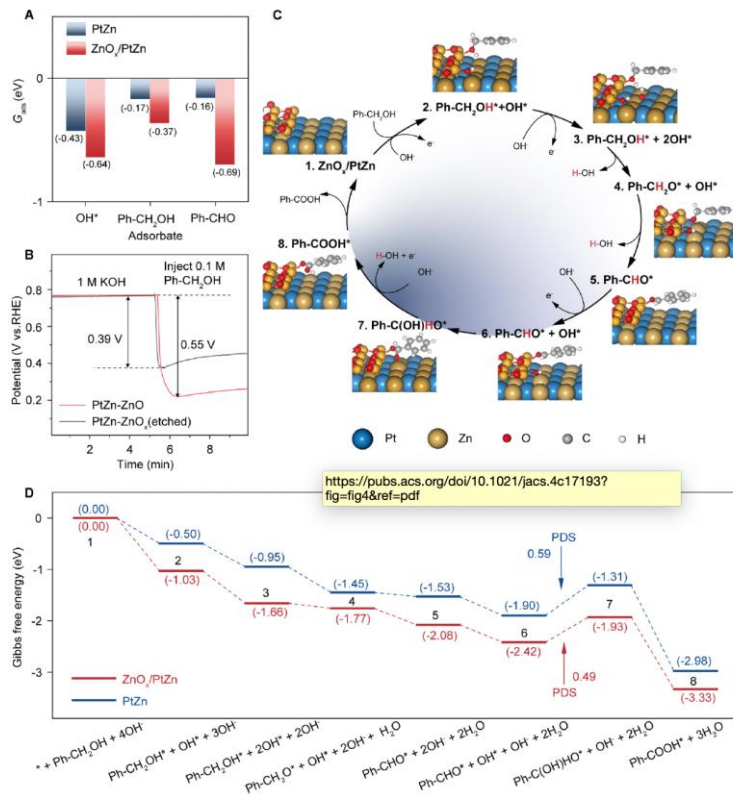


图 2. 苯甲醇在 PtZn-ZnO_x 界面之上的催化机制

相关研究成果以 “*Low-Voltage Electrooxidation of Benzyl Alcohol to Benzoic Acid Enhanced by PtZn-ZnO_x Interface*” 为题发表在 *Journal of the American Chemical Society* 上，其中通讯作者为陈光需教授，赵云副教授，裴安博士以及华东理工大学贾艳艳讲师，第一作者为刘人凤和涂文静硕士生。该研究工作得到了国家自然科学基金面上项目和珠江计划等科研项目的资助。

仪器设备

红外原子力显微镜

红外原子力显微镜由红外激光器，光路部件，高分辨率压电扫描器，样品台，隔音罩，光学减震台，电路控制系统等组成，可以在纳米尺度下揭示材料或者软物质的化学组成。该系统的核心技术是光热诱导技术（PTIR），采用扫描探针探测官能团对红外光的吸收振动，从检测原理上突破了光学衍射极限。系统可以提供了一个包含了表面形貌，分子光谱在内的全面的扫描成像分析。高分辨率形貌分析由原子力显微镜测试得到，而局部化学表征则由 PTIR 技术的红外光谱完成。

实验室新进的布鲁克红外原子力显微镜(下图,型号 nanoIR3)配置了中红外量子级联激光器：波长可调谐范围 5.37 ~ 13.15 μm ，波数 1800 ~ 800 cm^{-1} ；近红外激光波数范围 2700-3600 cm^{-1} ；可见~近红外波长可调激光器：波长可调谐范围：669 ~ 2600 nm。提供了在纳米尺度下，对于各类有机光电材料/器件进行可见-红外吸收即纳米可见-红外成像。其中纳米红外成像可以观察样品的相分离情况，纳米可见~近红外可以观察样品的光吸收分布，而在纳米尺度上建立“有机光电材料/器件性能-相分离结构-吸收光谱”的关系。



仪器目前已经正式投入使用，各项指标符合要求，欢迎实验室内部、校内各院系师生及校外单位前来送样检测。

设备存放地：发光材料与器件全国重点实验室 N205B。

设备管理员：黄文波 13229975866

刘力千 15918786126

境内外学术交流来访

●3月27日，北京邮电大学匡卓然副教授在全重501会议室作题为“光电功能材料中的激发态调控与应用”的学术报告。报告主要聚焦TADF材料的分子设计与激发态调控机制及系统探究分子聚集态中电子转移路径的演变规律，阐明从溶液到固态的激发态行为调控机理，为开发稳定、高效的溶液加工型光功能材料提供理论指导。

●3月28日，北京大学占肖卫教授在全重N308报告厅作题为“稠环电子受体光电材料”的学术报告。介绍了团队的电子受体研究历程。团队发明了被誉为“里程碑”的明星稠环分子ITIC，开创了后富勒烯时代。稠环电子受体改善了传统富勒烯体系难以兼顾高效电荷转移和低光子能量损耗的问题，推动有机太阳能电池能量转换效率接连取得重大突破。