

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 9 期

(总第 97 期)

华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室编

2025 年 11 月 10 日

新闻动态

- 云南大学校长马文会一行来实验室参观调研..... 1
- 爱国卫生见行动 清扫焕新展新颜 实验室开展环境整治活动..... 2

研究进展

发光理论与机制

- 夏志国教授团队：铟/铈合金化抑制杂化碘化物闪烁体的浓度猝灭以实现高亮度发光..... 4

新型显示、探测与成像

- 夏志国教授团队：有机阳离子甲基化策略抑制杂化 Eu(III)基闪烁体及其 X 射线探测与成像.... 8
- 何志才教授团队：光学吸收剪裁实现用于加密光通信的高性能双波段窄带有机光电探测器... 12

有机光伏材料与器件

- 段春晖教授团队：可宏量制备的高性能有机光伏给体材料..... 14
- 应磊研究员&钟文楷副教授团队：聚合物模块化设计制备无卤加工可拉伸有机太阳能电池..... 17
- 黄飞教授&李宁教授团队：水基纳米粒子有机太阳能电池的多晶形貌优化机制..... 19

无机发光与光纤激光

- 周博教授团队：可视化的超灵敏低温纳米温度探针..... 21

前沿交叉

马东阁教授乔现锋团队：一种基于双自由基的室温高自旋量子比特..... 23

仪器设备

高分辨光谱显微成像系统..... 27

境内外学术交流来访 29

新闻动态

云南大学校长马文会一行来实验室参观调研

10月9日上午，云南大学校长马文会一行来发光材料与器件全国重点实验室参观调研。



黄飞副主任介绍实验室情况

实验室常务副主任黄飞对马文会一行的到来表示热烈欢迎，并就实验室的发展历程、组织架构、人才培养以及研究方向等内容进行详细介绍，同时汇报了近年来实验室在承担国家重大科技任务中所作出的努力与取得的进展。

调研组参观了实验室的成果展示厅。黄飞为马文会一行介绍了聚集诱导发光的指纹快速显现试剂、毒品检测试剂盒、热激子蓝光材料和有机光伏电池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了高度评价。

爱国卫生见行动 清扫焕新展新颜 实验室开展环境整治活动

为积极响应学校深入开展爱国卫生运动的号召，扎实做好“两热”防控工作，进一步营造整洁、卫生、安全的科研环境，10月21日下午，在实验室专职副主任周玉的带领下，技术团队及行政团队全体教职工开展了实验室周边环境卫生专项整治活动。



清理垃圾

活动中，老师们手持清洁工具，迅速投入到卫生清扫工作中。大家分工协作、干劲十足，对实验室后方道路、空地进行“地毯式”清理。特别是楼后空地上陈年积累的建筑垃圾残余混杂在泥土和落叶枯枝中，清理难度很大，老师们不怕脏不怕累，清理出

大量碎玻璃、瓷砖、钢筋水泥等废弃物，不留任何卫生死角，经过两个小时的努力共清理出各类垃圾三余车，用实际行动践行爱国卫生理念。



活动前



活动后

后续，实验室将持续加强环境卫生常态化管理，建立健全卫生清洁长效机制，特别是做好实验室周边环境的监管，禁止未经批准私自堆放建筑垃圾的情况。

接下来，实验室将继续组织教工党员开展爱国卫生大清扫活动，希望各位教工积极参与，为扎实做好各项疫情防控和安全保障工作，确保实验室科研工作平稳有序推进贡献一份力量，为广大师生营造“整洁、卫生、安全”的科研环境。

研究进展

发光理论与机制

夏志国教授团队：铊/锶合金化抑制杂化碘化物闪烁体的浓度猝灭以实现高亮度发光

稀土掺杂发光材料在显示、探测与成像等领域具有广泛应用，但其在高掺杂浓度下常出现严重的浓度猝灭现象，限制了发光效率的进一步提升。尽管低维杂化金属卤化物因其结构可调、合成温和等优势成为新型发光材料的候选者，但其作为稀土掺杂载体仍面临晶格失配、能级不匹配等挑战。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室夏志国教授团队设计并合成了一系列新型一维铊/锶混合碘化物 $(\text{Ph}_3\text{MeP})\text{Sr}_{(1-x)}\text{Eu}_x\text{I}_3$ 与 $(\text{Ph}_3\text{EtP})\text{Sr}_{(1-x)}\text{Eu}_x\text{I}_3$ ，实现了 $\text{Eu}(\text{II})$ 在 $0 \leq x \leq 1$ 全浓度范围内的合金化。该材料通过调控 $\text{Eu}(\text{II})$ 发光中心的间距，有效抑制了浓度猝灭，在 $x = 0.5$ 时获得高达 92.2 % 的光致发光量子产率，并展现出优异的闪烁性能：光产额为 $54,000 \text{ ph MeV}^{-1}$ ，探测限低至 49.9 nGy s^{-1} 。进一步通过冷烧结工艺制备的陶瓷片实现了高空间分辨率 15.7 lp mm^{-1} 。有望拓展金属卤化物闪烁体在 X 射线成像领域的应用。

本研究通过 Eu/Sr 合金化结构设计策略，成功构建了一维链状结构的杂化碘化物。晶体结构分析表明， $\text{Eu}(\text{II})$ 以随机方式取代 $\text{Sr}(\text{II})$ 位点，形成 $[\text{Sr}_{1-x}\text{Eu}_x\text{I}_6]^{4-}$ 八面体链，链间距离较大 (>13.4

Å), 有效抑制了 Eu(II) 离子间的非辐射能量转移。随着 Eu(II) 掺杂浓度的增加, 材料发射光谱发生红移, 晶体场分裂增强, 进一步通过理论计算揭示了其发光机制源于 Eu(II) 的 $5d-4f$ 跃迁。所制备的 $(\text{Ph}_3\text{MeP})\text{Sr}_{0.5}\text{Eu}_{0.5}\text{I}_3$ 陶瓷晶圆在 X 射线激发下表现出高亮度、高稳定性及优异的成像性能, 具备在医学影像、安全检测等领域的应用潜力。

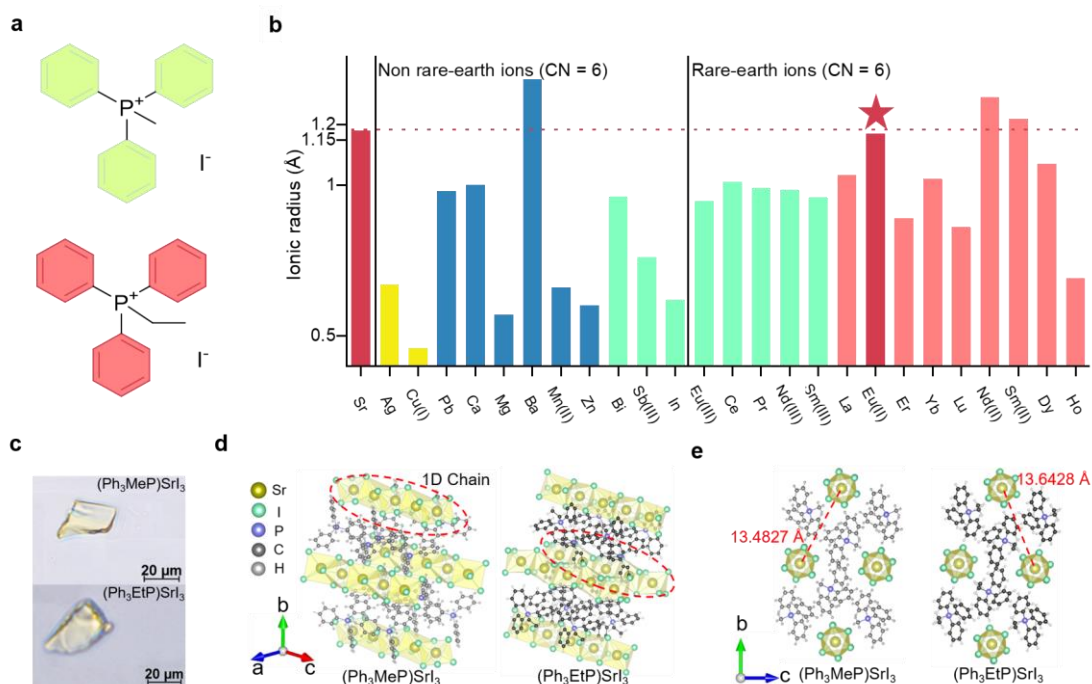


图 1 铈基碘化物的合成与晶体结构研究

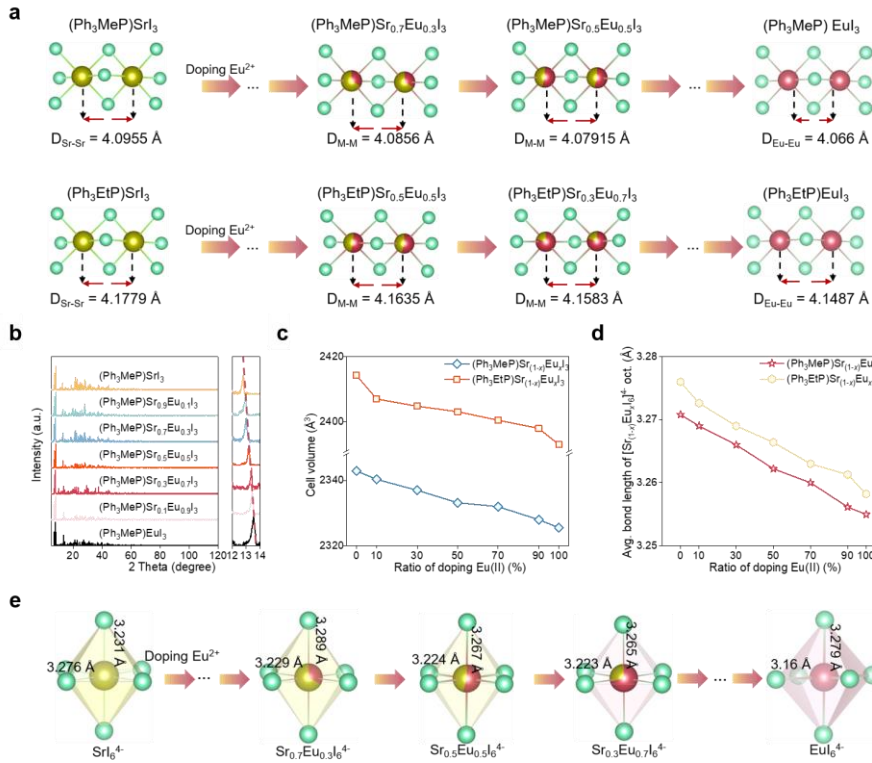


图 2 铈/锶基双金属杂化碘化物的结构特征

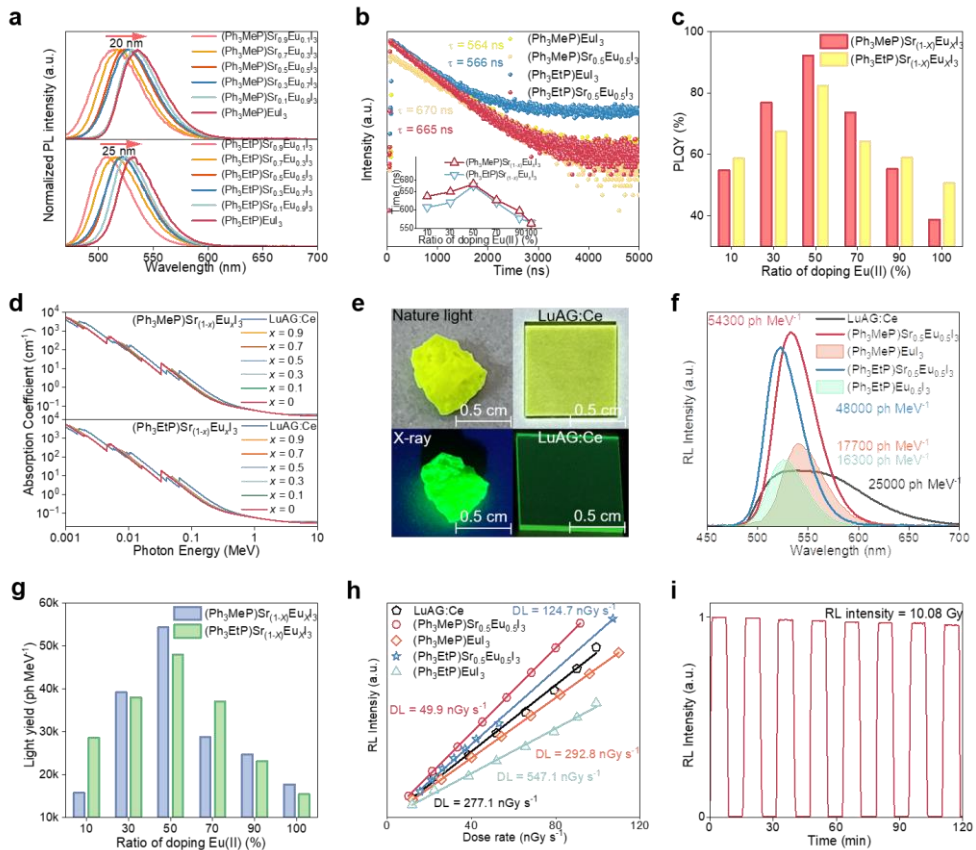


图 3 光致发光与闪烁性能

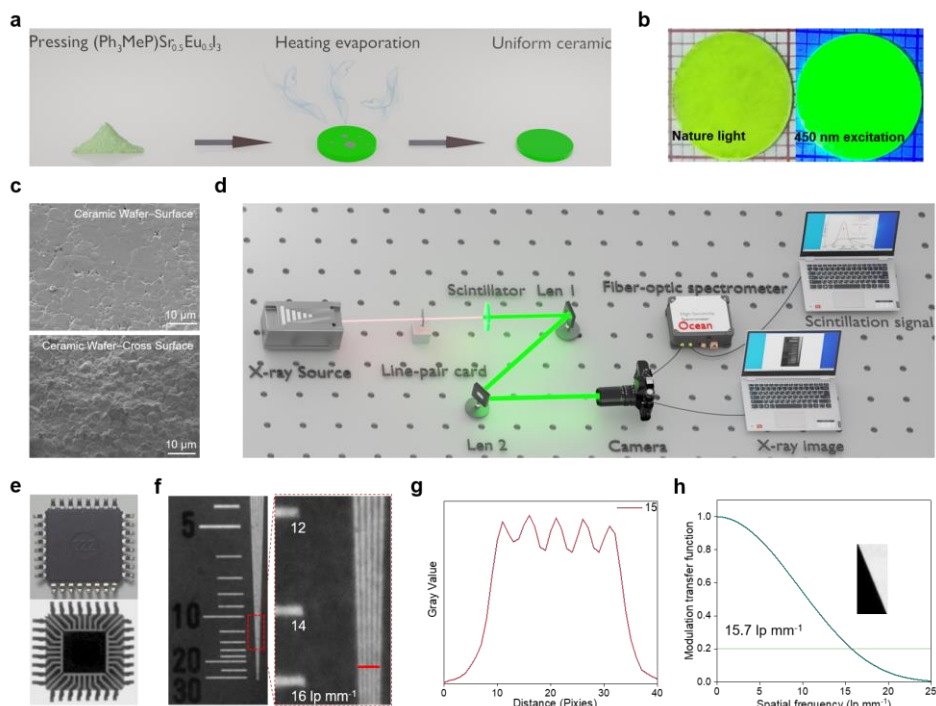


图 4 $(\text{Ph}_3\text{MeP})\text{Sr}_{0.5}\text{Eu}_{0.5}\text{I}_3$ 陶瓷晶圆对应物的 X 射线成像

该成果以“*Suppressed Concentration Quenching Via Divalent Eu/Sr Alloying in Hybrid Iodides Scintillators Toward Bright Luminescence for X-ray Imaging*”为题发表于 *Angewandte Chemie International Edition*。通讯作者为夏志国教授，韩凯博士以及陈东丹副教授，第一作者为硕士生陈力涵。研究获国家自然科学基金(52425206, 22361132525, 52502183)、中国博士后科学基金(2024M760954)及中央高校基本科研业务费资助。

新型显示、探测与成像

夏志国教授团队：有机阳离子甲基化策略创制杂化 Eu(II) 基闪烁体及其 X 射线探测与成像

由于具有可调控的有机阳离子结构、高发光效率和短衰减寿命等特性，有机-无机 Eu(II)基杂化卤化物闪烁体在 X 射线成像领域展现出广阔前景。然而，如何抑制浓度猝灭效应和减少空位缺陷仍然是实现高性能 Eu(II)基杂化卤化物闪烁体面临的主要挑战。此外，制备出均匀和透明的闪烁体薄膜也是高分辨 X 射线成像的关键。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室夏志国教授课题组提出了一种有机阳离子甲基化修饰策略，在 PMIMEuX₃ (PMIM-X, PMIM = 1-丙基-3-甲基咪唑, X = Br, I)的基础上制备了 PDMIMEuX₃(PDMIM-X, PDMIM = 1-丙基-2,3-二甲基咪唑)。该策略通过引入甲基增强位阻效应，增大了 Eu-Eu 链间距，提升了结构刚性，从而抑制了非辐射复合和卤素空位缺陷。其中，PDMIM-Br 的光输出达到商用 LuAG:Ce 晶体的 3.57 倍，检测限低至 42.61 nGy s⁻¹，并利用可原位溶液加工的特性成功制备出高透明度、大面积的均匀闪烁薄膜，X 射线成像空间分辨率高达 21.1 lp mm⁻¹，表现出卓越的性能。

本研究借鉴 DNA 甲基化调控机制，提出“有机阳离子甲基化”设计理念，通过对初始结构 PMIM 进行甲基化修饰，获得 PDMIM。并通过溶液蒸发法成功生长出高质量 PDMIM-Br 与

PDMIM-I 单晶。

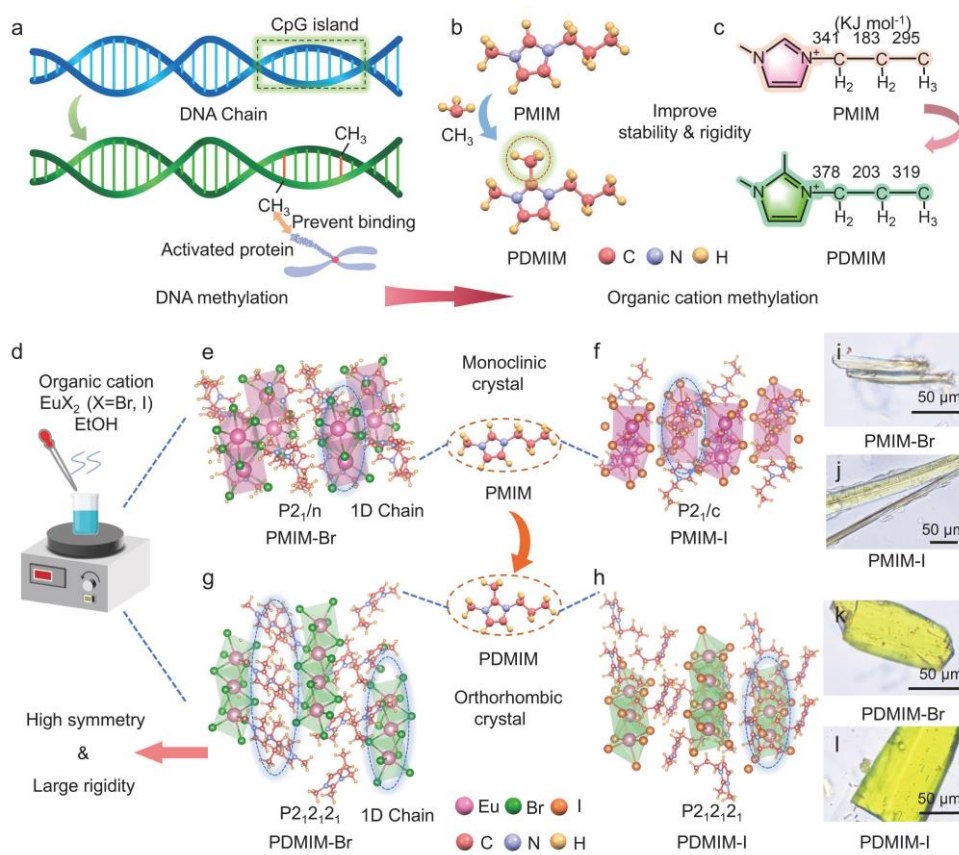


图 1 有机阳离子甲基化设计策略与晶体结构演变

甲基化后卤化物闪烁体的熔点、激子结合能、热稳定性和发光效率均显著提升。理论计算进一步表明 5d-4f 跃迁是闪烁体的载流子来源。同时，揭示了发射红移的机制是由晶体场强度和 Eu-X 键长所引起的。更重要的是，有机阳离子甲基化策略通过位阻效应增加了 Eu-Eu 链间距，发光效率提升了数倍。

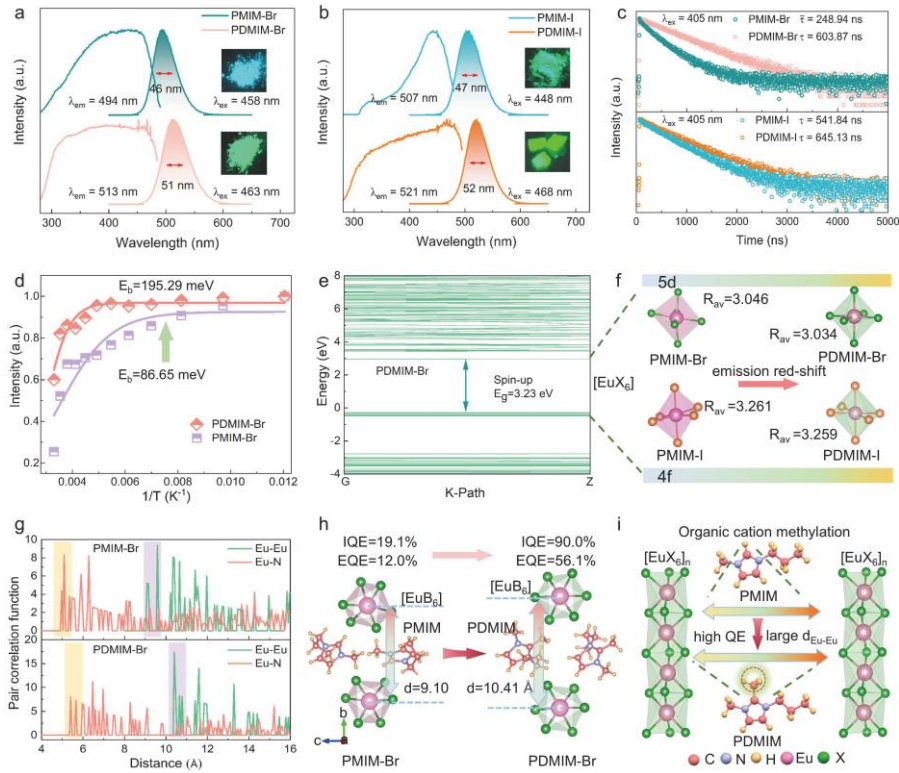


图 2 样品的光致发光与甲基化提升发光性能机理

进一步，有机阳离子甲基化也抑制了闪烁体中的空位缺陷。闪烁性能测试显示，PDMIM-Br 的光输出高达 $89380 \text{ ph MeV}^{-1}$ ，远超 PMIM-Br 与商用闪烁体。

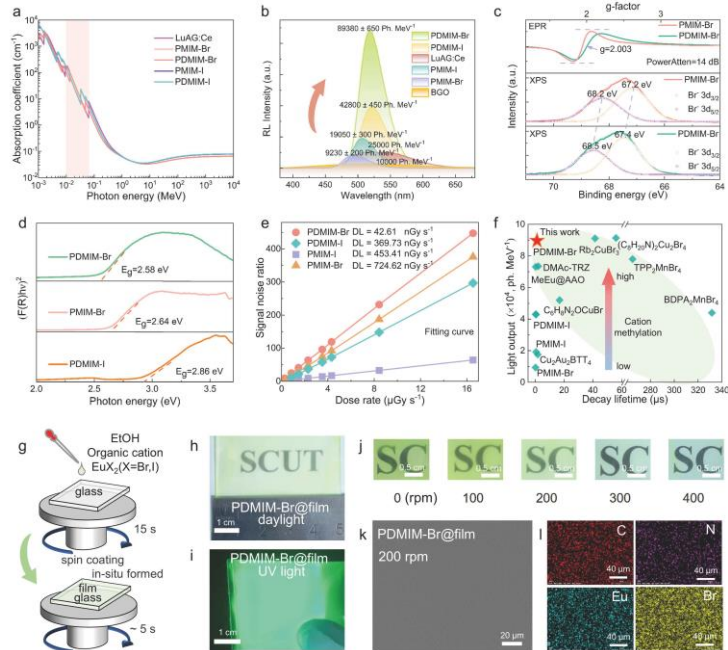


图 3 甲基化提升闪烁性能和 PDMIM-Br@Film 的制备流程

此外，通过原位溶液旋涂技术，成功制备出高均匀性、高透明度的 PDMIM-Br@Film，其在 X 射线成像中展现出优异的空间分辨率和细节识别能力。

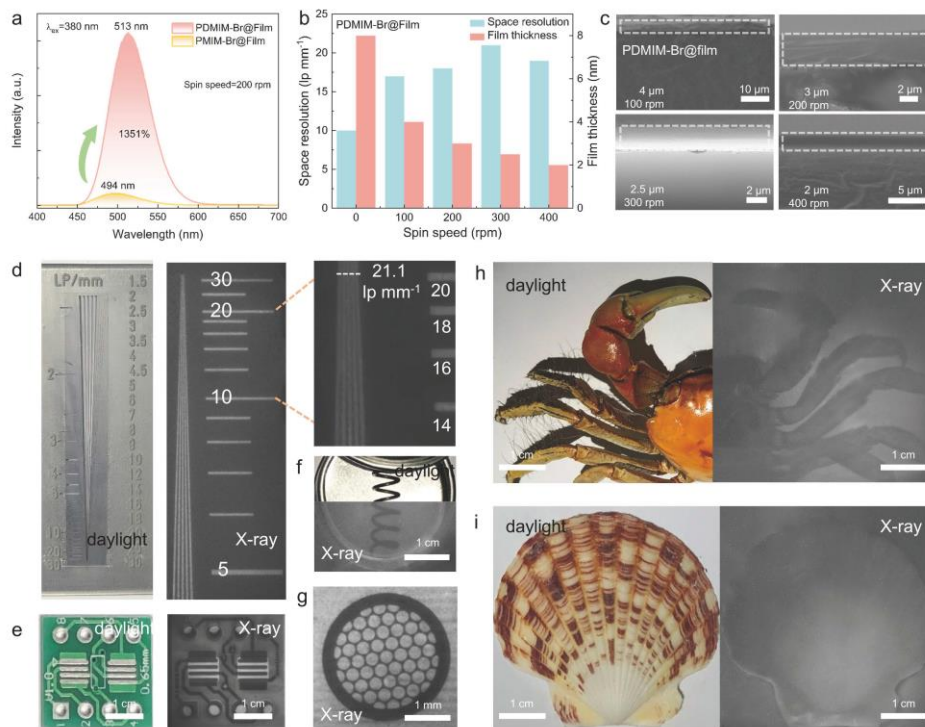


图 4 PDMIM-Br@Film 的 X 射线成像效果

相关研究成果以“*Organic Cation Methylation Design of Hybrid Eu(II)-based Halide Scintillators for Improved X-Ray Detection and Imaging*”为题发表于 *Advanced Materials* 上。通讯作者为夏志国教授，第一作者为李亮博士生。该研究工作得到了国家自然科学基金(52425206, 52502183 和 22361132525)的资助。

何志才教授团队：光学吸收剪裁实现用于加密光通信的高性能

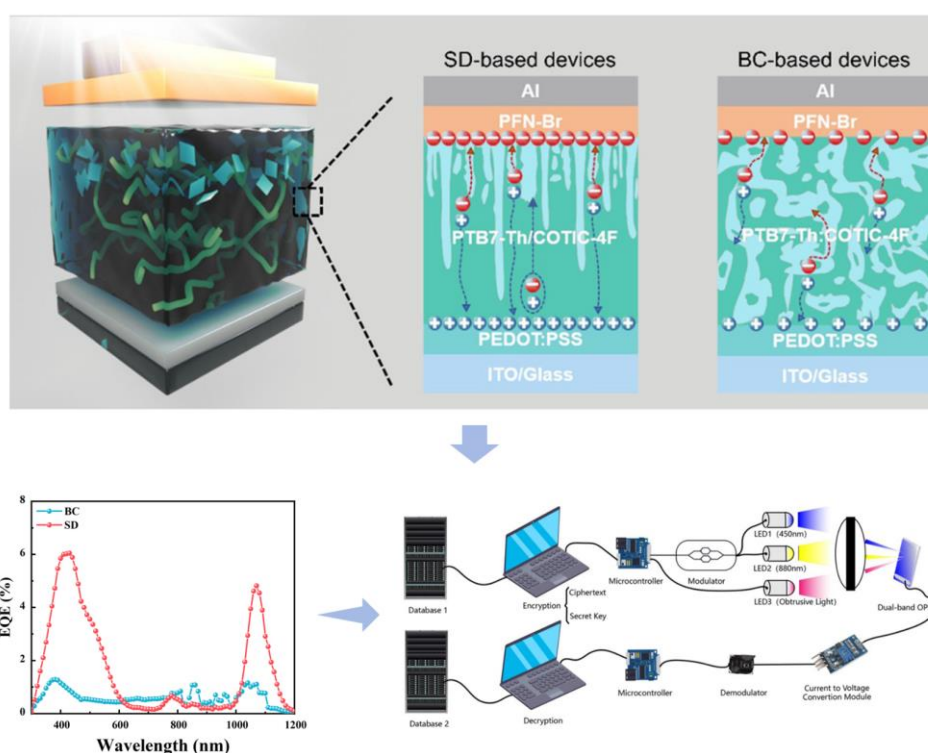
双波段窄带有机光电探测器

窄谱光电探测器凭借其抗环境光串扰的独特优势，在光通信、图像传感和健康监测等领域展现出巨大应用潜力。有机光电探测器（OPD）凭借有机半导体的高吸收系数和光谱可设计调控等固有优势，已发展出一系列无需滤光片的窄谱探测器制备策略。但基于这些策略的窄谱 OPD 普遍存在低探测率和制备条件苛刻的问题，严重制约了窄谱光电探测器的应用发展。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室何志才教授课题组提出了一种名为“光学吸收剪裁（OAT）”的创新思路，利用非对称垂直相分离的活性层结构，成功制备了在 430 nm 和 1070 nm 窄谱响应的高性能双波段窄谱 OPD。得益于非对称垂直相分离结构选择性消耗短波光子和抑制暗电流的作用，窄谱探测器在 1070 nm 波长下展现出比探测率高达 2.8×10^{12} Jones，半峰宽（FWHM）约为 70 nm 的优良性能。课题组进一步展示了双波段窄谱有机光电探测器在加密光通信、健康监测和图像传感领域的特异性应用，充分展现了窄谱 OPD 的应用潜力。

窄谱有机光电探测器普遍面临比探测率低和制备复杂的挑战。本研究提出了一种名为“光学吸收剪裁（OAT）”的创新策略，成功突破了传统窄谱 OPD 依赖复杂结构或新材料的设计局限。通过对比混合铸造（BC）与顺序沉积（SD）工艺制备器件的性能参数，并结合 TOF-SIMS 测试和多尺度仿真，本研究表征并解释了这一策略的工作机理：采用顺序沉积（SD）法构建具有非对

称垂直相分离的平面混合异质结（PMHJ）结构活性层，其中给体-受体（D-A）材料的非对称分布选择性地吸收了强吸收区域的光子，从而实现了截止给体、受体吸收边的双波段窄谱响应。另外，前端的厚给体层有效抑制了器件的暗电流。温度依赖 SCLC 测试也进一步揭示了 SD 结构器件相比 BC 器件具有更高效的载流子传输环境，为开发多波段响应、低噪声、高性能的窄谱 OPD 提供了全新视角。



此外，本研究还展示了该双波段窄谱 OPD 使用课题组完全自主搭建的加密光通信、心率监测、图像传感等实际应用，突显了其未来商业化的巨大潜力。

相关研究成果以“*Optical Absorption Tailoring Enabled High-Performance Dual-Narrowband Organic Photodetectors for Secure Optical Communications*”为题发表在 *Advanced Optical Materials* 上，其中通讯作者为本实验室何志才教授，计算机科学与工程学

院陈敏教授，香港中文大学深圳校区颜骏研究员，第一作者为许聪娣博士。该研究工作得到了科技部重点研发计划、广东省基础与应用基础研究基金科研项目的资助。

有机光伏材料与器件

段春晖教授团队：可宏量制备的高性能有机光伏给体材料

有机太阳能电池（OSCs）因其轻质、柔韧、可溶液加工和半透明等独特的优点引起了人们广泛的关注，尤其是独特的半透明特性使其在光伏建筑一体化、智能车窗和农业光伏等领域展现出广阔的应用前景，是推动有机光伏商业应用化的发展方向。然而，现有高性能光伏聚合物给体材料合成复杂、产率低且周期长，难以放大合成，严重制约了 OSCs 的竞争力。此外，这类材料在可见光区存在强吸收，严重制约了半透明器件效率与可见光透过率之间的平衡。因此，开发兼具高光电转换效率、易于放大合成且高透过率的新型聚合物给体，是推动 OSCs 从实验室走向实际应用的关键。近日，本实验室段春晖教授团队在可宏量制备的高性能给体材料方面取得重要进展。

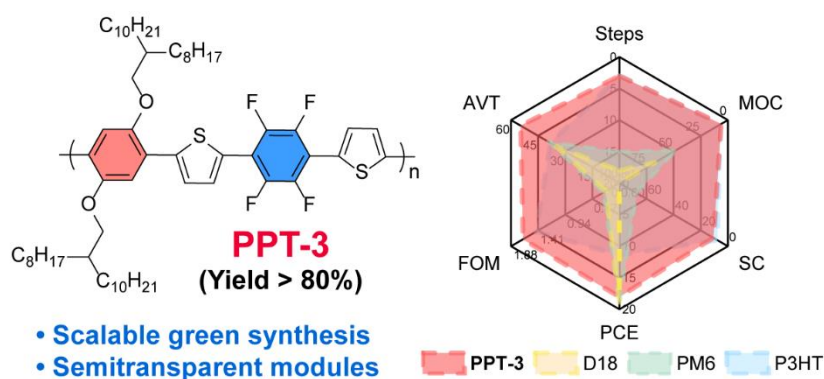


图 1 可放大合成的光伏聚合物及其大面积半透明器件

作者设计了一个原创的聚合物给体 PPT-3，其共轭骨架仅由苯环和噻吩组成，化学结构十分简单。同时，作者采用绿色环保的碳氢直接芳基化聚合 (DARp) 方法，将材料合成批量从毫克级提升至 20 克级。基于该聚合物 (PPT-3) 的 OSCs 实现了超过 18% 的 PCE，且具有十分优异的批次重复性和受体兼容性。空气刮涂制备的 120 cm² 半透明模组实现了 6.69% 的能量转化效率 (PCE)，40% 的可见光透过率 (AVT)，从而取得了创纪录的光利用率 (LUE = 2.70%)。该研究为高性能光伏聚合物给体材料的分子结构设计提供了极具价值的理论参考与实践指导，为有机光伏研究领域迈出了材料放大合成的关键一步。

以苯和噻吩等最简单的单环结构为构建单元，作者构建了基于聚(苯-噻吩)骨架的聚合物给体，并通过非共价相互作用诱导

聚合物分子骨架平面化，提高聚合物的迁移率和结晶性能。进一步，采用直接芳基化聚合实现了 PPT-3 的百倍放大合成，将材料的制备量级从毫克级提升至 20 克级，合成总收率超过 80%，是传统高性能光伏聚合物给体材料(如 PM6、D18 等)的近 100 倍。同时，基于 PPT-3 的有机光伏器件实现了超过 18% 的 PCE，并展现出优异的批次间重复性；空气刮涂制备的 120 cm² 半透明模组实现了 6.69% 的 PCE，40% 的 AVT 和创纪录的光利用率 (LUE = 2.70%)。值得注意的是，PPT-3 的材料合成成本仅为 6.1 USD g⁻¹，是 D18 (67.3 USD g⁻¹) 的十分之一，也低于经典共轭聚合物 P3HT (6.9 USD g⁻¹)。进一步的分析表明，高性能低成本聚合物给体材料放大合成的实现，有效突破了制约 OSCs 发展的关键瓶颈。PPT-3 在成本与性能间取得了极致平衡，使其成为推动 OSCs 从实验室研究走向商业化应用的一个极具潜力的材料。

相关研究成果以 “*Scalable Polymer for Large-area Semitransparent Organic Photovoltaics*” 为题发表在 *Joule* 上。该工作由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主导完成，西湖大学柳佃义教授团队负责了大面积半透明模组的制备，上海大学徐韬教授团队负责了半透明器件的光学模拟。段春晖教授和柳佃义教授为论文的通讯作者，华南理工大学博士生谢东生与博士后吴宝奇、西湖大学博士后吴琼为论文的第一作者。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、中央高校基本科研业务费、中国博士后科学基金等科研项目的资助。

应磊研究员&钟文楷副教授团队：聚合物模块化设计制备无卤加工可拉伸有机太阳电池

随着有机太阳电池在绿色制造和柔性电子领域的快速发展，聚合物平面性与链柔性的协同调控，是构筑有序堆积且可拉伸的有机半导体材料的有效途径。通过分子模块化设计，可同时优化能级匹配、溶液聚集行为及拉伸力学特性，为可持续加工和可穿戴能源器件提供新思路。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的应磊研究员课题组基于 PTzBI 材料平台，通过 Flory-Huggins 平均场理论推广指导模块化分子设计策略，实现了兼具高效率与高拉伸性能的有机太阳电池。通过冷冻电镜确认新开发的聚合物 PTzBI-dF-Si 在邻二甲苯无卤溶液中形成有序纤维网络结构。从而在无卤溶液加工的可拉伸光伏器件中达到超过 16%效率，并在 40%应变下保持 80%以上效率，为绿色、可穿戴光伏器件的规模化应用开辟了新途径。

本研究基于模块化分子设计策略合成了新型聚合物 PTzBI-dF-Si，实现了能级、结晶性与链柔性的协同调控。通过定量拟合氟代 BDT 单元、氟代 π 桥、硅氧烷三种单元对性能的贡献。利用扩展的 Flory-Huggins 晶格流体模型，系统分析了聚合物化学修饰对聚合物给体在溶液中的“自聚集-溶解”竞争关系。理论计算与核磁 NOESY 实验结果共同表明，PTzBI-dF-Si 在溶液中表现出聚集与溶解的精细平衡，从而形成稳定的纤维网络预聚集结构。成膜过程中，这些预聚集体进一步演化为高度有序的纤维状

形貌。实现了 16.2% 光电转换效率的邻二甲苯溶剂加工的本征可拉伸有机光伏器件，并在 40% 应变下仍保持 80% 以上的初始效率，这是首个基于无卤溶剂加工的高效本征可拉伸有机太阳能电池器件。GIWAXS、AFM-IR 与 RSoXS 表征证实其形成贯通的双组分纤维网络结构；瞬态吸收与器件物理分析显示，该结构促进激子解离、抑制复合并延长载流子寿命，为高效可拉伸有机光伏提供了新的材料体系。

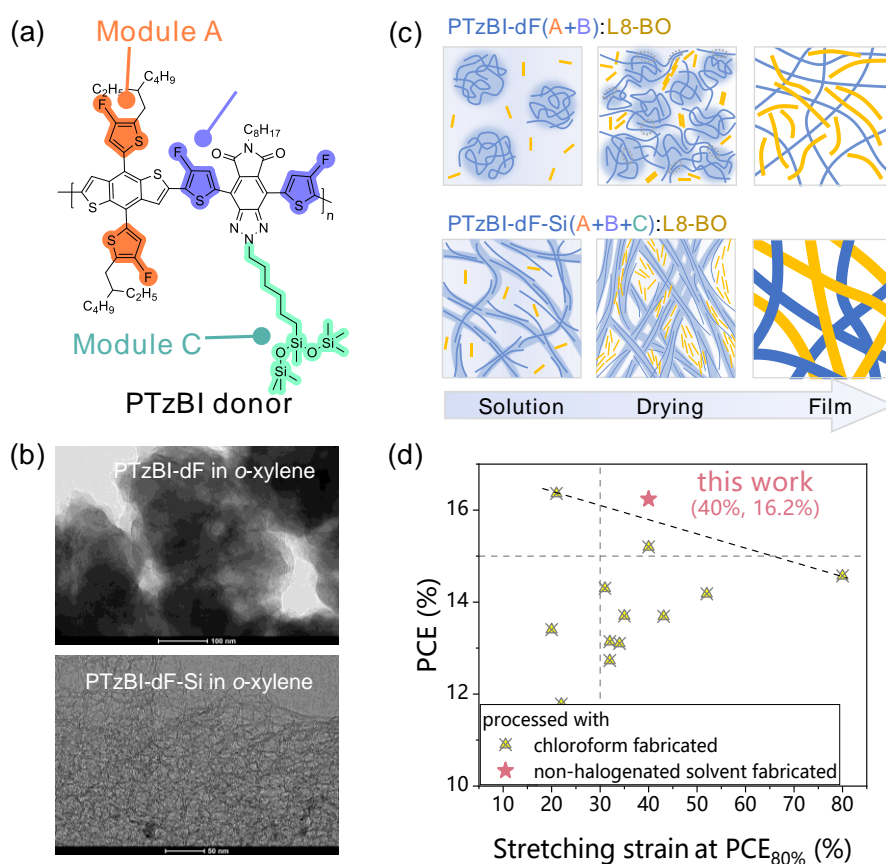


图 1. (a)PTzBI 给体聚合物模块化分子设计示意图。(b) PTzBI-dF 和 PTzBI-dF-Si 邻二甲苯溶液的 Cryo-TEM 成像。(c) PTzBI-dF:L8-BO 和 PTzBI-dF-Si:L8-BO 的溶液-湿膜-薄膜纤维化转变特性示意图。(d)文献报道的可拉伸有机光伏器件的 PCE 和 PCE 衰减到初始值的 80%时对应的拉伸应变。

相关研究成果以“*Modular Design of Polymer Donors Regulates Solution Aggregation and Stretchability of Organic Solar Cells*”为题发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，其中通讯作者为钟文楷副教授和应磊研究员，第一作者为罗轩昂博士。

黄飞教授&李宁教授团队：水基纳米粒子有机太阳能电池的多晶形貌优化机制

有机太阳能电池的大规模产业化受限于其加工过程中有毒溶剂的使用。为解决此问题，将有机半导体分散于水/醇中形成纳米悬浮液是极具潜力的有效方案。然而，此类 np-OSCs 器件的效率目前仍停滞在约 10%，远低于传统有机溶剂制备的器件。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的李宁教授课题组通过研究表明，在传统有机溶剂制备的有机太阳能电池中追求高规整性的策略，若应用于水/醇纳米粒子无毒器件制备中，易引发过度的相分离。不同于传统器件的制备，对于纳米粒子器件，具有小尺寸域的相分离尺度比追求高结晶度更为重要。这些发现填补了水/醇纳米粒子器件领域的空白，并为未来优化水/醇纳米粒子太阳能电池提供了明确指引。



本研究系统性地探索了包括给体聚合物分子量调控与液体添加剂在内的多种常见形貌优化策略对纳米颗粒薄膜内部分子堆积与多晶形态的作用机制。对于不同分子量制备的器件，基于CF溶剂制备的器件性能相似，然而水基纳米粒子器件表现出巨大的性能差异。效率的大幅度波动源于纳米薄膜形貌的巨大差异，通过光谱以及电镜等表征技术，低分子量纳米粒子薄膜中形成了均匀分布的小尺寸相区，然而纳米粒子薄膜中出现严重聚集的过度相分离。此结果通过原位测试得到了验证，纳米悬浮液合成过程中良溶剂/不良溶剂的相互作用，以及纳米薄膜形成过程中较长的晶体生长周期，会显著放大结晶行为，称之为“放大效应”。为了验证普适性，在使用液体添加剂进行形貌优化的手段中，同样发现极为明显的“放大效应”。本工作明确常见形貌优化策略对纳米颗粒薄膜的作用机制，为水基纳米粒子无毒器件的发展以及其产业化落地做出重要贡献。

相关研究成果以“Elucidating the Polymorph Morphology for Optimizing Aqueous Nanoparticle-Based Organic Solar Cells”为题发表在 *Solar RRL* 上，其中通讯作者为安康博后，黄飞教授和李宁教授，第一作者为刘喆博士生。该研究工作得到了国家自然科学基金，TCL 创新基金，广东省分子聚集发光重点实验室等科研项目的资助。

无机发光与光纤激光

周博教授团队：可视化的超灵敏低温纳米温度探针

高灵敏度的低温温度传感在航空航天、大气环境、能源工业、生物医学等领域展现出广泛的应用前景。然而，传统的接触式温度计已无法满足复杂电磁条件、微纳米空间、远程非接触操作等低温环境中的应用需求。近年来开发的镧系发光测温材料需要基于玻尔兹曼分布的热耦合能级发光实现传感，导致可选用的离子种类和发射能级较少，并极大限制了高灵敏度和宽温度测量范围的传感材料的开发与应用。

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提出了一种非热耦合上转换发光的超灵敏低温测温的概念模型。通过界面能量传递介导的核壳结构构建了 $\text{LiYF}_4:\text{Ho}@\text{LiYF}_4:\text{Yb}@\text{LiYF}_4@\text{LiYF}_4:\text{Yb}/\text{Tm}$ 纳米颗粒。核心层 Ho^{3+} 掺杂具有红、绿光发射，外层 Tm^{3+} 具有蓝光发射。实验表明，空间分离敏化剂 Yb^{3+} 与激活剂 Ho^{3+} 可以有效地抑制反向能量转移、增强上转换并调控其动力学。在该非热耦合上转换测温系

统中，温度降低使得交叉弛豫作用受到抑制，核心层 Ho^{3+} 的红、绿发射强度随温度下降呈相反变化，呈现出发射颜色由红向绿转变，测温相对灵敏度可达 $15.1\% \text{K}^{-1}$ (50K)。通过多层核壳结构引入 $\text{Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ 层，可使传感上限拓展至 443 K 且无相互干扰。该设计不仅实现了单纳米颗粒水平上的宽温度范围检测，还深化了对高掺杂镧系离子低温上转换机制的理解，彰显了其在超低温检测中超高灵敏度、非接触性以及抗环境干扰的优势，为超灵敏实时可视化纳米测温及热响应器件发展提供了新路径。

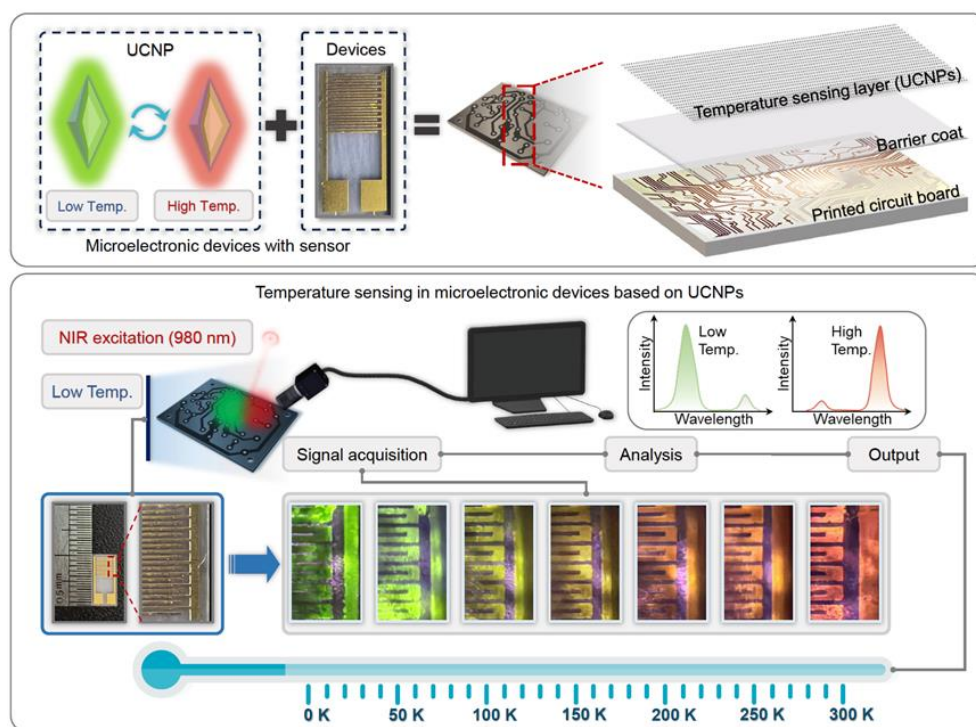


图 1 超灵敏可视化纳米测温应用

相关研究成果以“*Ultra-Sensitive Low-Temperature Upconversion via Interfacial Energy Transfer Toward Visual Cryogenic Nanothermometry*”为题发表在 *Advanced Functional Materials* 上，其中通讯作者为周博教授，第一作者为 2022 级博士生魏浩鹏。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基金等资助。

前沿交叉

马东阁教授&乔现锋团队：一种基于双自由基的室温高自旋量子比特

近年来，有机双自由基以其独特的性能引起了人们的广泛关注。具体来说，有机双自由基结合了半导体和磁性特征，为集成磁光或磁电功能提供了机会。在这些双自由基中，发光双自由基是受发光单自由基在电致发光器件中取得巨大成功的启发而发展起来的。此外，发光双自由基分子固有的高自旋态，使其在量子信息科学(QIS)中也具有光明的应用前景。

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和乔现锋课题组利用电子自旋共振(EPR)技术，对两种双自由基分子的自旋特性进行了仔细研究，证明了其室温下具备的量子操纵能力及长相干时间，并从多个角度揭示了退相干时间的影响因素。其研究结果有望拓展双自由基分子在 QIS 领域的应用。

本研究选取了两种可比的稳定发光双自由基，以方便阐明它们的结构参数与自旋动力学性质之间的关系。连续波 EPR (cw-EPR) 和回波探测场扫描吸收谱 (EDFS) 共同证明了室温下热可及三重态的存在，验证了其固有的高自旋特性(图 1)。从光谱拟合的结果中得到 D 值 (90 和 26.7)，反映出分子内自由基间间距对自旋偶极相互作用的强烈影响。

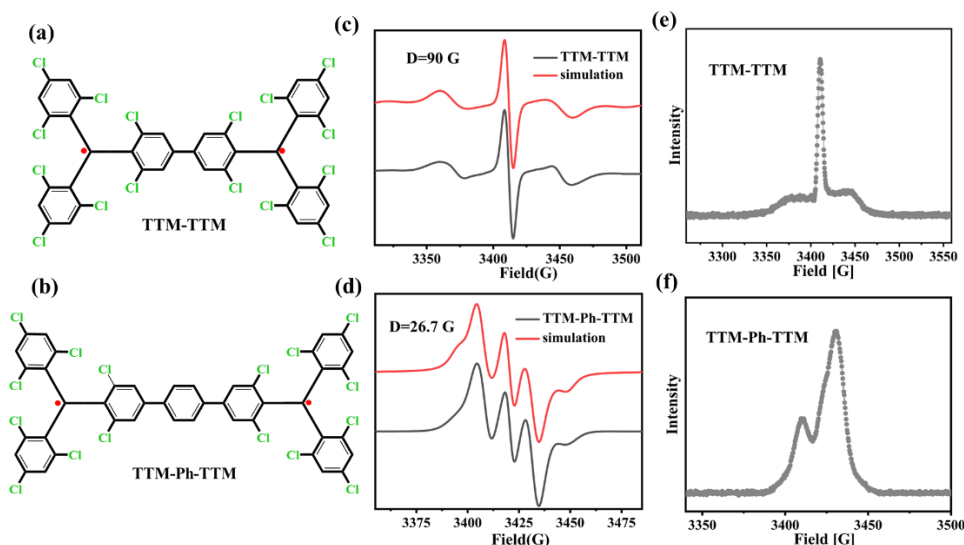


图 1 分子结构、cw-EPR、EDFS 测试及拟合结果

为进一步评估作为分子量子比特的可行性，进行了拉比振荡实验（图 2），结果表明其确实具备在室温下执行量子操纵的能力，即可通过微波将磁化矢量翻转到布洛赫球的任意角度。通过快速傅里叶变换得出拉比振荡频率，并与内部双重态频率进行对比得到 1.414 倍的比例关系，进一步论证了三重态的存在。

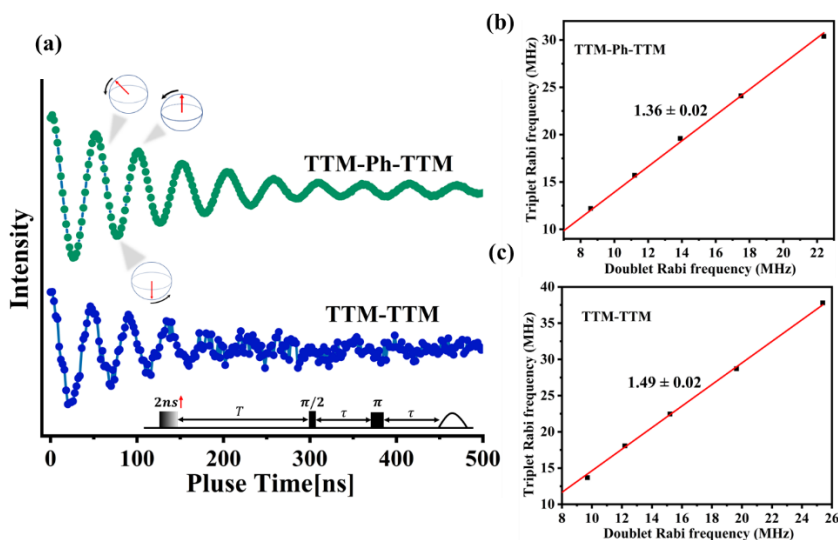


图 2 拉比振荡曲线及振荡频率

QIP 应用要求量子比特在量子操作和读出过程中保持相干，因此，对弛豫时间(T_1)和退相干时间(T_m)的研究是必不可少的。在

这里，作者通过对固态样品施加组合脉冲序列，成功在室温下检测到样品的 T_1 和 T_m 。在稀释的样品中，TTM-Ph-TTM 的 T_1 和 T_m 被分别延长到了 3088ns 和 362ns。这在室温下已经是个不错的结果，同时也表明分子间的自旋相互作用会对自旋弛豫产生一定影响。此外，研究团队还探究了温度与磁性核所带来的影响，如图 3 所示，随着温度的降低 T_1 和 T_m 被不断延长，表明温度对 T_1 和 T_m 都有强烈的影响。在 TTM-Ph-TTM 的 T_m 回波衰减曲线中可以看到明显的核调制波动，从中解析到磁性核 ^{35}Cl 的频率信号。与此同时，在 TTM-Ph-TTM 的三脉冲电子自旋-核双共振(3P-ESEEM)实验结果中发现了 ^1H 核的信号，而在 TTM-TTM 中却没有。上述结果说明，双自由基内部的自旋间距对自旋演化的影响最大，从而掩盖了 TTM-TTM 中的磁性核信号。该研究不仅提出了一种新的有机高自旋量子位候选者，还详细论述了导致退相干的各种因素，为将来的研究提供了有用的参考。

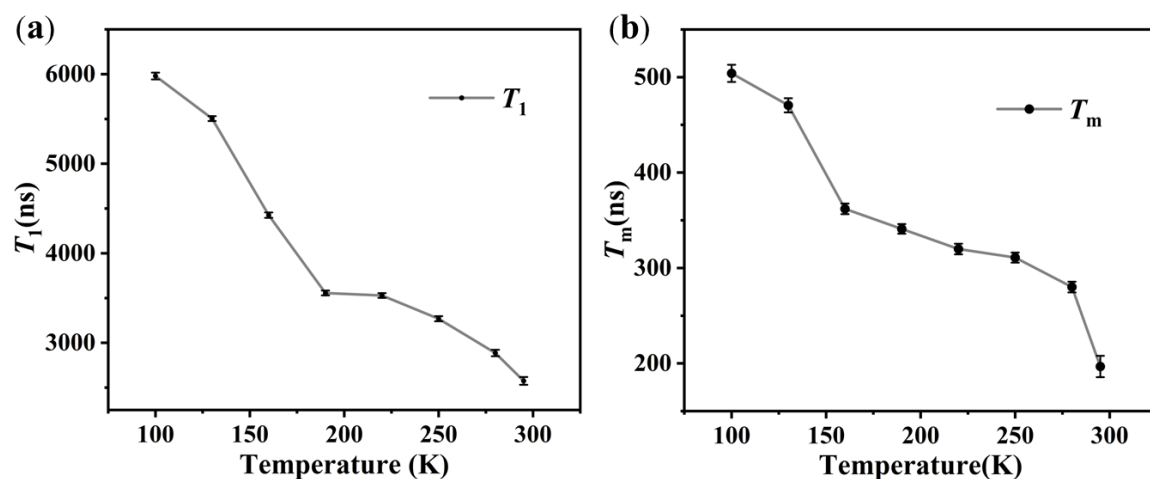


图 3 TTM-Ph-TTM 中 T_1 和 T_m 的温度依赖性

相关研究成果以“*A Room-Temperature Diradical-Based High-Spin Qubit*”为题发表在 *The Journal of Physical Chemistry Letters* 上，其中我校通讯作者为乔现锋副研究员何马东阁教授，第一作

者为陈圣阳硕士生。该研究工作得到了中国科学技术部、国家自然科学基金(11661131001, 62422404)和广东省自然科学基金(2025A1515011527)等科研项目的资助。

仪器设备

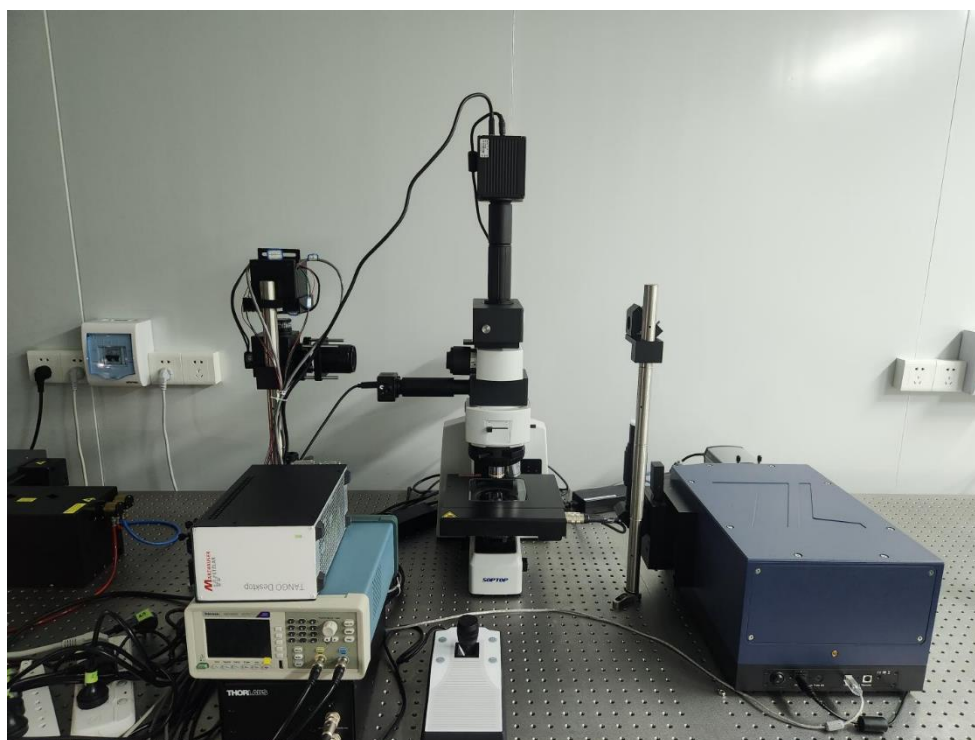
高分辨光谱显微成像系统

● 仪器信息

品牌：SOPTOP

型号：Omni- λ 3024i

放置地点：华南理工大学北区科技园 1 号楼 S204A 室



● 应用领域

高分辨光谱显微成像系统可以对微、纳水平的单个颗粒进行 X、Y、Z 空间三维光谱探测和荧光成像，详细探究单个颗粒的光学等特性，帮助多种荧光材料建立的微观结构与光学性能之间的关系，从而为这些荧光材料宏观性能的优化，乃至新材料、新性能的开发和应用提供重要的指导意义。

● 功能简介

该套系统的光谱探测可以覆盖紫外、可见到近红外范围，并可以探测多种光学信号，例如荧光光谱、激光光谱等；配备的激发源几乎涵盖了所有的光学激发波段，可以对多种材料进行激发，包括有机染料、半导体、多种量子点、稀土离子掺杂材料等，并可以根据需要调节功率密度和激发能量。因此，通过该系统可以探究微晶玻璃中的微观荧光特性，为微晶玻璃光纤激光的输出提供指导意义。同时，利用该系统可以探究有机、无机颗粒及复合结构的荧光激光特性，最终用于实现微、纳激光输出。

●技术参数

- 1.激发范围 355-1000nm;
- 2.有 5x, 10x, 50x 物镜;
- 3.扫描范围：400nm 到 1050nm;
- 4.光谱分辨率 $\leq 0.3\text{nm}$;
- 5.平台移动范围 $x \geq 100\text{mm}$, $y \geq 75\text{mm}$, 最小步长 $0.04\mu\text{m}$;

●送样要求：

- 1.片状样品、块状样品、薄膜样品、纤维样品可直接测定，注意固体块状样品高度应 $< 1\text{cm}$ ，粉末样品装在载玻片或硅片中。溶液样品滴在载玻片或硅片上；
- 2.若有特殊要求请联系负责人。

●预约方式：

- 1.预约咨询电话：15915750538，或 QQ: 77358598；
- 2.收样地点：华南理工大学北区科技园 1 号楼 204A 室；
- 3.收样时间：工作日上午 8: 30-12: 00，下午 2: 30-17: 30。

境内外学术交流来访

●10月20日，天马微电子EL技术研发总监陈龙博士，在全重501会议室作“创新型OLED显示技术的挑战与机遇”主题报告。报告简要回顾显示技术发展趋势，介绍OLED显示核心特点及未来需求。结合理论基础与量产实践，系统探讨该技术的发展方向、核心挑战与产业机遇。呼吁联动产学研力量，通过企业、高校与科研机构协作，加速理论成果向量产转化。

●10月29日，林雪平大学吴含嫣工程师在全重501会议室作“梯型共轭聚合物在高性能有机电化学晶体管中的应用”学术报告。报告系统介绍了p型/n型梯型共轭聚合物及其OECT应用进展，阐述了合成调控提升迁移率的策略，探讨了改善器件瞬态响应的途径，并展示了在神经形态器件与脑机接口等前沿领域的应用探索。

●10月29日，林雪平大学杨驰远助理教授在全重501会议室作“有机半导体的光催化掺杂”学术报告。报告系统介绍了一种新型光催化掺杂机制：以空气为弱氧化剂，在室温下实现p型掺杂，适用于多种有机半导体与光催化剂体系，电导率可达3000 S/cm以上。研究还成功演示了光催化还原（n型掺杂）和p-n协同掺杂过程，该方法仅需消耗维持电荷平衡的有机离子盐，为开发新一代有机电子器件提供了新机遇。

●10月29日，林雪平大学熊苗博士后在全重501会议室作“有机半导体材料的性能研究及应用”的学术报告。报告系统介绍了课题组在高性能有机半导体领域的系列研究：在基础层面，揭

示了化学结构、溶液预聚集与薄膜微观结构对掺杂效率及载流子传输的影响机制；在应用层面，成功构建了全植入式有机神经形态电路，并在活体动物模型中实现了对生命体征的精准调控。

●10月29日，华东师范大学陈绍泉教授，在全重301会议室作“分子激发态手性与超快动力学”学术报告。报告介绍其团队研发的高灵敏超快时间分辨手性光谱技术与分析方法，为解析激发态手性起源及演化机制奠定基础。报告还阐述如何实现分子激发态动力学与手性演化的协同解析，阐明皮秒级激发态手性的演化机理，并揭示二氧化碳光催化还原为多碳产物的手性选择机理。