

# 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 6 期

(总第 94 期)

华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室编

2025 年 7 月 8 日

---

### 新闻动态

发光材料与器件全国重点实验室召开第一届学术委员会第一次会议..... 1

### 研究进展

#### 发光理论与机制

夏志国教授团队：基于电子-声子耦合调制 Eu(II) 基杂化卤化物的窄带发射..... 7

#### 新型显示、探测与成像

苏仕健教授团队：宽色域且寿命延长的高效钙钛矿/有机杂化白光电致发光器件..... 10

夏志国教授团队：Cu(I) 基卤化物中晶格畸变诱导可调波长发射应用于热成像和防伪..... 12

#### 有机光伏材料与器件

应磊研究员团队：通过客体聚合物辅助形态纤维化实现 19.6% 的有机光伏效率..... 15

段春晖教授团队：协同外围取代基策略助力完全非稠环电子受体太阳电池实现 18% 光电转换效率 18

应磊研究员团队：动态二硫键网络实现自修复的本征可拉伸有机太阳能电池..... 20

#### 无机发光与光纤激光

董国平教授团队：集成的纳米晶复合玻璃光纤阵列用于远程高分辨率 X 射线成像..... 22

#### 前沿交叉

应磊研究员团队：一种可绿色溶剂加工的聚合物空穴传输材料，实现高效倒置钙钛矿太阳能电池 25

应磊研究员团队：通过聚合物无规行走模型调控钙钛矿太阳能电池空穴传输聚合物偶极矩 . . . . 27

李远研究员团队：用于高倍率水系锌离子电池的高电子电导的稳定三苯胺酚自由基正极材料 29

王志明研究员团队：利用AIE材料的大斯托克斯位移特性改进磁性/荧光编码微球的多重检测性能 32

## 仪器设备

近中红外特种光纤激光测试系统 . . . . . 37

境内外学术交流来访 . . . . . 39

## 新闻动态

### 发光材料与器件全国重点实验室召开第一届学术委员会第一次会议

6月8日，发光材料与器件全国重点实验室（以下简称“实验室”）第一届学术委员会第一次会议在广州召开，会议采取线上线下相结合方式进行。实验室学术委员会（以下简称“学委会”）主任、中国工程院院士张立群，副主任、中国科学院院士田禾，战略咨询委员会主任、中国科学院院士李永舫，以及美国工程院院士程正迪，中国科学院院士唐本忠、刘云圻、彭孝军、刘益春、彭慧胜、曹镛、马於光等 19 位两委委员；广东省人力资源和社会保障厅党组成员、副厅长邱璟，广东省科学技术厅二级巡视员黄江康，实验室依托单位华南理工大学副校长林艺文以及实验室固定研究人员等 60 余人出席会议。会议由实验室学委会主任张立群，学校材料科学与工程学院党委书记孟勋主持。



会议现场



### 林艺文致辞

林艺文代表华南理工大学感谢各位专家对学校办学发展的关心、支持和帮助。他表示，实验室顺利完成重组，既是对实验室在新型显示领域深厚科研积累的认可，也是对实验室如何服务国家重大需求提出的更高要求。他希望各位专家继续为实验室的建设把脉定向，帮助实验室建设成为新型显示领域具有重要影响力的科技创新高地，努力和服务国家高水平科技自立自强做出更大的贡献。



邱璟为战略咨询委员会委员颁发聘书



黄江康、林艺文为学委会委员颁发聘书

华南理工大学科学技术研究院副院长蒋兴华宣读战略咨询委员会和学术委员会名单。邱璟、黄江康、林艺文为两委委员颁发聘书。两委主任张立群院士和李永舫院士分别致辞。



学委会主任张立群院士致辞

张立群院士代表学术委员会对实验室重组成功表示热烈的祝贺。他表示，学术委员会将在各方面全力以赴地支持实验室的发展，相信在未来的发展中，实验室一定能够按照国家“四个面向”的要求，在基础研究、应用基础研究上不断突破，同时在技术创新和成果转化上持续发力，取得更优成绩，为实验室、华南理工大学、广东省、国家乃至全世界做出更大贡献。



战略咨询委员会李永舫院士致辞

李永舫院士代表战略咨询委员会向长期关心支持实验室发展的各级领导、专家学者表示衷心的感谢。他表示战略咨询委员会成员们必将以高度的责任感和使命感，为实验室建设发展提供高质量的战略咨询；充分发挥桥梁纽带作用，促进实验室整合多方资源进行协同创新；搭建更为广阔的平台，为实验室提供更多拓展和实践的机会。



### 实验室工作报告和学术报告

实验室常务副主任黄飞教授作实验室 2024 年度工作报告，介绍了实验室概况、近期工作进展以及下一步工作计划。实验室固定成员严克友教授、董国平教授、韦小明教授、王志明研究员分别作了“新一代金属卤化物新能源材料与器件”“光子玻璃复合光纤”“高重频超快光纤激光”“高品质深蓝光 OLED 材料的设计与开发”等学术报告。

两委委员听取并审议了两委章程、开放课题以及代表性成果报告，对实验室取得的成绩给予了高度肯定和充分认可，为实验室的发展提供了富有建设性的意见，希望实验室继续发挥自身优

势，不断开拓创新。

实验室学委会主任张立群院士在总结中指出，实验室要继续坚持“四个面向”的战略导向，明确定位，瞄准发光材料与器件的前沿科学问题，开展跨学科交叉融合探索，引领发光领域的进一步发展；加强国际交流，深化与头部企业合作，解决国家“卡脖子”问题，推动新型显示与未来显示产业化发展，服务于国民经济主战场。同时，建议依托单位和有关部门要继续加大对实验室的支持力度，强化与上级主管部门的沟通协调。

实验室主任马於光院士由衷地感谢各位专家莅临会议并表示，实验室将认真研究落实两委委员的意见与建议，通过不断完善体制机制、搭建创新平台、大力扶持青年人才等举措，培育更多优秀人才，产出更大原创性成果。实验室全体人员将以此次会议为新的起点，戮力同心，努力把实验室建成发光领域具有国际影响力的实验室。

## 研究进展

### 发光理论与机制

#### 夏志国教授团队：基于电子-声子耦合调制 Eu(II) 基杂化卤化物的窄带发射

高端照明和新型显示器件都对窄带发射发光材料具有重大需求。铅卤钙钛矿虽然发射带宽窄，但存在铅毒性及稳定性差等问题，限制了其实际应用。近年来，稀土 Eu(II) 基类钙钛矿金属卤化物材料被认为是一类新兴的光电材料，兼具稀土离子发光和金属卤化物所具有的局域激发态和低声子频率。然而，由于其微观结构与发射特性的关系尚不清晰，调控稀土 Eu(II) 基类钙钛矿金属卤化物的发射带宽仍存在巨大挑战。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的夏志国教授课题组通过对刚性面共享连接的  $[\text{EuBr}_6]^{4-}$  八面体结构进行理论分析与结构设计，制备出一系列新型 Eu(II) 基无铅类钙钛矿发光材料，其典型代表  $\text{TEtEuBr}_3$  (TEt 为四乙基铵) 实现了 36 nm 的超窄带青色发光，并探索了在照明与显示器件领域的应用。

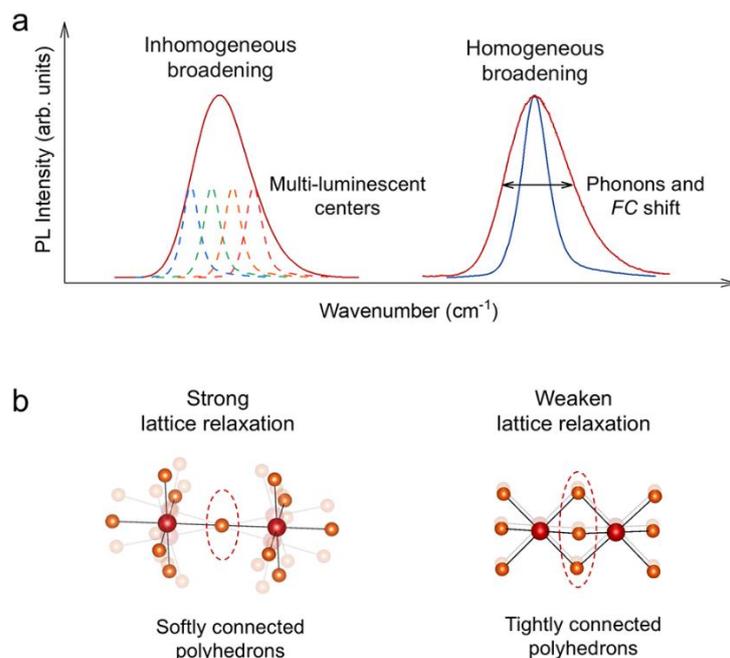


图 1 发射带宽调控物理机制示意图

研究团队筛选五种具有不同静电势分布的有机阳离子，调控 Eu(II) 卤化物的晶体结构，使其分别形成面共享、刚性强的一维八面体链状结构。在这些结构中，Eu-Br 键和 Eu-Eu 距离短，结构对称性高，因而极大减弱了激发态下晶格弛豫程度，降低电子-声子耦合程度，显著减小均匀展宽，从而实现超窄带发射，如图 1 所示，给出了其发射带宽调控物理机制示意图。在上述理论指导下，所设计合成的 T<sub>4</sub>EuBr<sub>3</sub> 半高峰宽仅为 36 nm。此外，T<sub>4</sub>EuBr<sub>3</sub> 在 120 °C 下仍保持 93% 的发光强度，并展现出优异的空气与湿度稳定性。进一步通过密度泛函理论计算发现，发射来源于 Eu(II) 局域的 5*d*-4*f* 跃迁，其激发态与基态间结构变化极小，配体重排幅度低，从而带来更窄的发射带宽，如图 2 所示，给出了其窄带发射机理研究与理论计算结果。

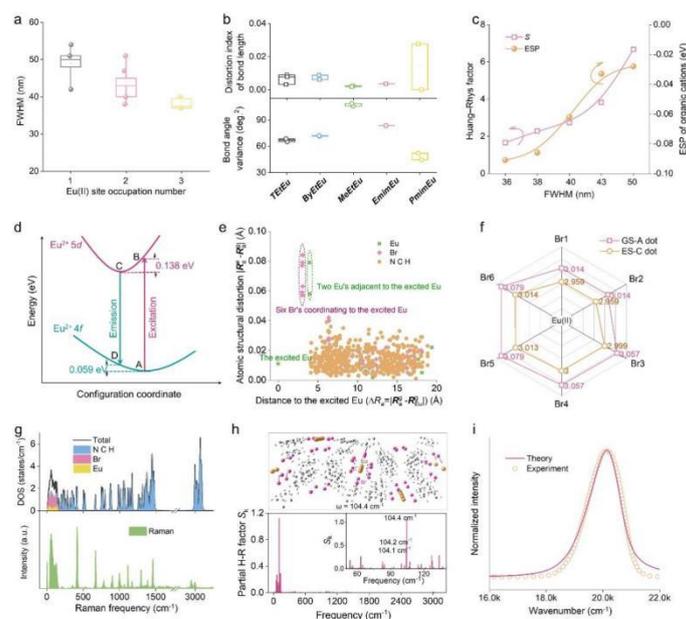


图 2 窄带发射机理研究与理论计算结果

最后，研究团队设计并构建了以  $\text{TEtEuBr}_3$  为光致发光层的白光 LED 器件，该器件具备极低的蓝光危害（仅为传统 LED 的六分之一），同时实现了显色指数高达 96% 的全光谱白光照明以及 115% Rec. 2020 的超宽色域，展示出在高色彩显示领域的巨大应用潜力。值得一提的是， $\text{TEtEuBr}_3$  还可用于构建微结构图案和微型 LED 阵列，能够实现高精度图像显示，为其在三维显示、信息防伪等前沿光电子领域的拓展应用提供了可能。

相关研究成果以“*Suppressing Electron-Phonon Coupling for Narrow-Band Emitting Eu(II)-based Perovskitoids*”为题发表在 *Nature Communications* 上，其中通讯作者为夏志国教授和安徽师范大学宁利新教授，第一作者为韩凯博士。该研究工作得到了国家自然科学基金（No. 5242520, 622361132525, 12474398）、广东省科学技术项目（No. 2023A0505050084）和中国博士后科学基金（No. 2024M760954）的资助。

原文链接：<https://doi.org/10.1038/s41467-025-60852-9>

## 新型显示、探测与成像

### 苏仕健教授团队：宽色域且寿命延长的高效钙钛矿/有机杂化白光电致发光器件

基于钙钛矿实现高效稳定的白色电致发光用于超高清(UHD)显示与照明面临巨大挑战。特别是，UHD 显示所必需的深蓝光 PeLEDs 面临低的效率与差的稳定性。此外，受限于多色钙钛矿之间快速的离子交换反应，实现全钙钛矿的 WLEDs 需要复杂的器件工程。因此，亟须提出有效的策略探索产生白光新的可能性并发展基于钙钛矿的高性能 WLEDs。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室苏仕健教授课题组提出一种钙钛矿/有机杂化 WLEDs (P/O-WLED) 器件结构，利用有机发光单元独特的载流子传输和发光特性拓宽载流子分布、提高激子利用并产生窄带发射峰，实现了破纪录的高效 P/O-WLEDs，同时兼具宽的色域与大幅延长的寿命，有望拓展在 UHD 显示及照明领域的应用。

将钙钛矿与有机发光材料进行杂化是一种开发基于钙钛矿的 WLEDs 很有前景的策略。然而，在这种杂化体系中，钙钛矿和有机发光单元在载流子迁移率、能级以及发光机制方面存在显著差异。当载流子注入到器件中时，这种显著的差异将对调控载流子注入、激子分布、能量调控和激子动力学带来巨大挑战。由此产生的电荷不平衡和非辐射能量损失将导致器件性能不尽如人意。本研究首次提出并成功演示了一种概念验证结构，该结构

构建了具有宽色域的钙钛矿/有机杂化白光 LED (P/O-WLEDs)。在此结构中，纯绿光和深蓝光的有机发光单元依次叠加在红光钙钛矿发光层之上，形成了一个混合发光体系。有机发光单元独特的载流子传输和发光特性有助于拓宽载流子分布、提高激子利用效率并产生窄带发射峰。因此，所开发的 P/O-WLEDs 实现了 21.1% 的峰值外量子效率、2.6 V 的超低启亮电压，同时显著延长工作寿命至 21.9 小时（初始亮度为  $500 \text{ cd m}^{-2}$  下的 LT50 寿命）。将红光钙钛矿薄膜替换为 P8PB2 w/ RbI 钙钛矿薄膜并对 LiF 层及绿光有机单元的厚度进行调节，获得了以红光发射为主导光谱稳定的低色温白光，同时兼具高的 EQE ( $>17.6\%$ ) 及明显延长的操作寿命。所提出的概念结构为基于钙钛矿材料发展高色域显示照明技术提供了有价值的指导。

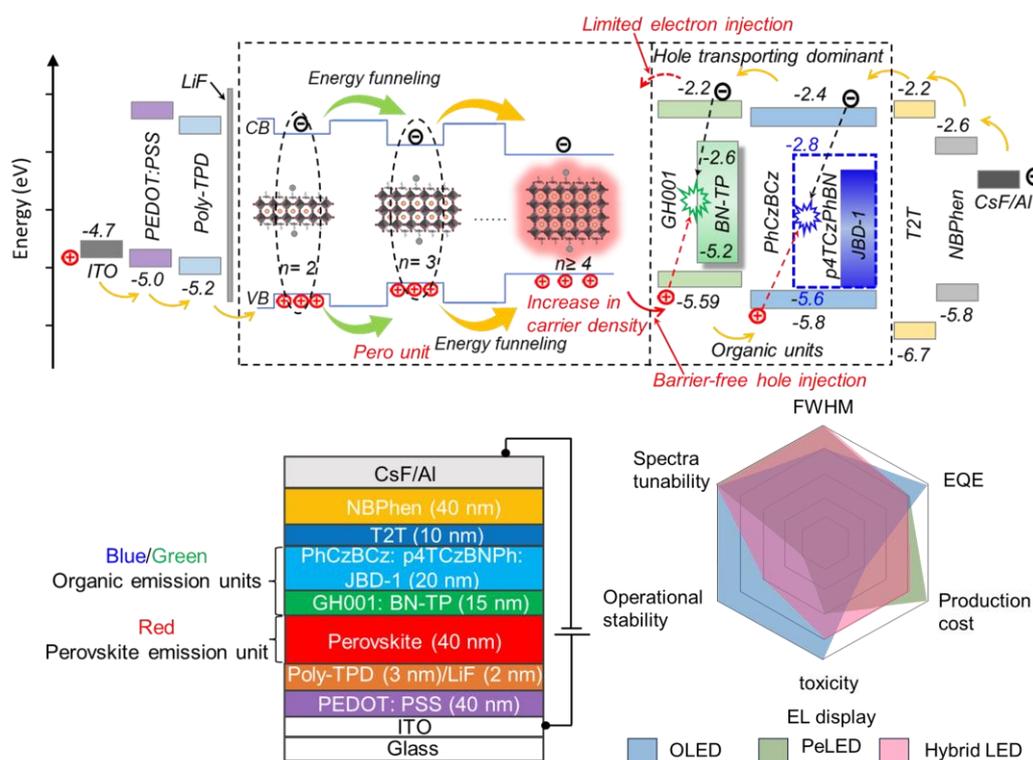


图 1. P/O-WLEDs 的器件结构、设计原理及优势

相关研究成果以“*Highly Efficient Perovskite/Organic Hybrid*

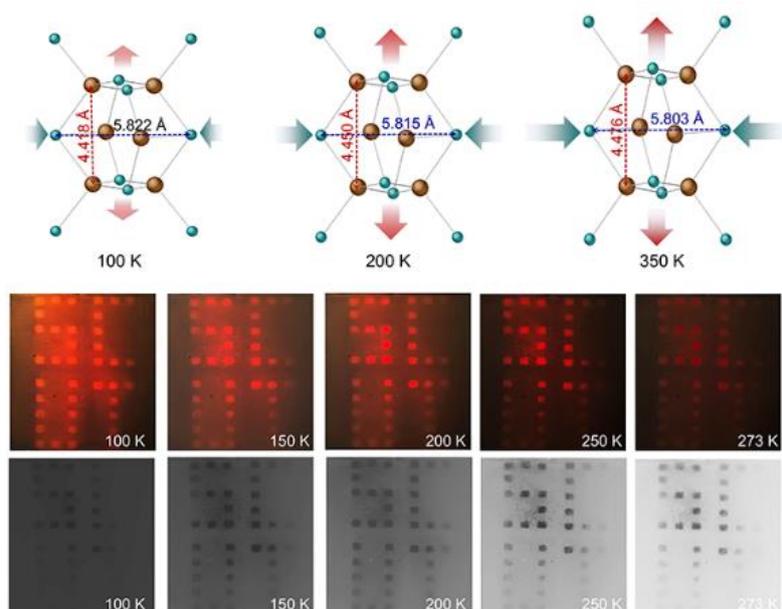
*White Electroluminescent Devices with Extended Operational Lifetime and Wide Color Gamut*”为题发表在 *Advanced Materials* 上, 其中通讯作者为苏仕健教授, 第一作者为博士生刘邓辉。该研究工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、博士后创新人才支持计划等科研项目的资助。

原文链接: <https://doi.org/10.1002/adma.202507820>

## 夏志国教授团队: Cu(I)基卤化物中晶格畸变诱导可调波长发射 应用于热成像和防伪

低维金属卤化物是一类近年来备受关注的新兴光电材料。由于其在电子结构、化学组成以及晶体结构上的高度可调性, 再加上对缺陷的良好容忍度和显著的量子限域效应, 使其在光电子学、发光二极管、探测器和传感器等领域展现出广泛的应用潜力。在众多低维卤化物体系中, Cu(I)基卤化物因具备多个激子复合中心, 展现了多色发光的潜力。然而, 由于 A 位有机阳离子与 [Cu-X] 团簇之间的结构复杂性, 目前多数 Cu(I)基卤化物的发光调控仍主要集中于可见光范围, 难以进入肉眼不可见的近红外区域, 从而限制了其在高安全性的防伪与信息加密等领域的进一步应用。

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团队成功设计并合成了一种具有红光-近红外可调发光特性的 Cu(I)基杂化卤化物发光材料(DMAP)Cu<sub>3</sub>I<sub>4</sub> (DMAP 为 4-二甲氨基吡啶), 并展示了其在防伪和远程热成像等方面的应用潜力。



研究人员选择具有甲基和强  $\pi$ - $\pi$  相互作用的吡啶环的有机阳离子 DMAP 设计了 Cu(I)基卤化物 (DMAP) $\text{Cu}_3\text{I}_4$ 。为了阐明晶格变化,进行了原位变温(单晶测试,随温度的升高,晶格参数  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  展现出不同的变化:  $\alpha$  从  $83.471^\circ$  减少到  $83.394^\circ$ , 而  $\beta$  和  $\gamma$  分别从  $88.487^\circ$  和  $89.088^\circ$  增加到  $73.417^\circ$  和  $74.315^\circ$ 。这种差异化的变化揭示了晶格发生扭曲的现象。

该材料在常温至低温条件下可实现从红光到近红外区域的发光波长调控,其变色特性来源于温度变化诱导的晶体结构畸变:在较高温度下,晶体内部出现更多无序的  $[\text{Cu}_3\text{I}_4]^n$  结构单元,使得主要发光机制从 Cu 团簇发光转变为卤素向金属的电荷转移发光。这一机理的转变显著提升了发光波长的响应范围。研究团队进一步将该材料制备成薄膜,实现了高灵敏度 ( $0.0001\text{-}0.6\text{ K}^{-1}$ ) 与高空间分辨率 (可达  $20\text{ lp mm}^{-1}$ ) 的远程热成像功能,可精准“捕捉”温度微小变化。这不仅使其在温度传感和红外成像方面具有实际应用价值,也为发展新一代隐形防伪技术提供了创新思路。

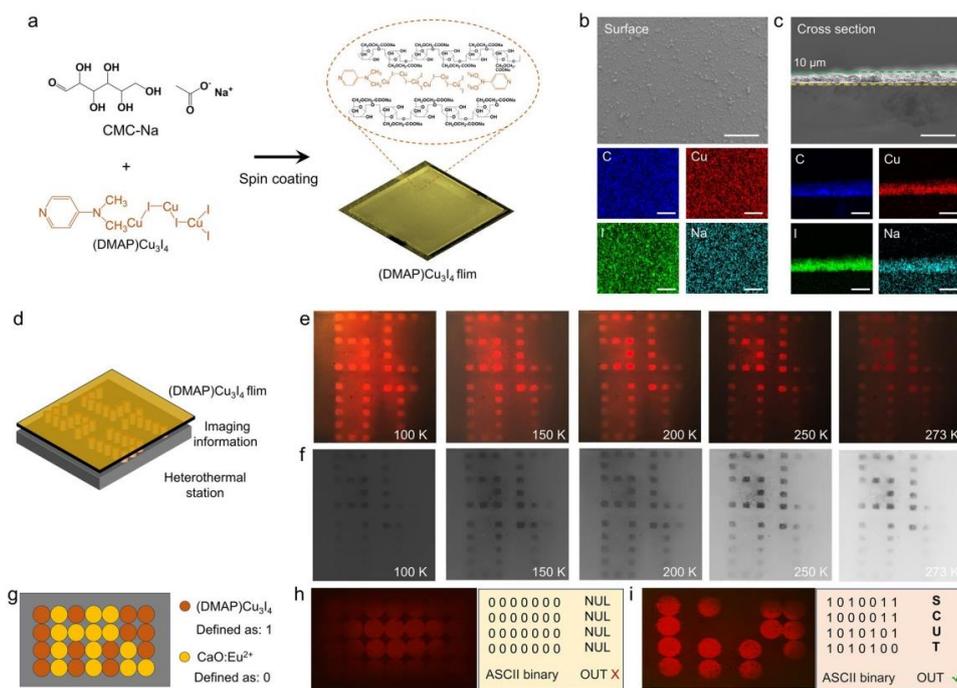


图 1 (DMAP)Cu<sub>3</sub>I<sub>4</sub> 薄膜的制备及其远程热成像防伪应用演示

该种具有波长可调发光特性的 Cu (I) 基卤化物凭借其结构可调性、优异的温度响应性及出色的发光性能，在热成像、温度传感、防伪标识与信息安全等多个前沿技术领域都展示出广阔的应用前景。

相关研究成果以“*Lattice Distortion Promoting Wavelength-Tunable Emissions in Cu(I)-Based Halides for Thermography and Anti-Counterfeiting*”为题发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，其中通讯作者为夏志国教授，第一作者为韩凯博士。该研究工作得到国家自然科学基金 (No. 52425206, 22361132525) 和中国博士后科学基金 (No. 2024M760954) 的资助。

原文链接：<https://doi.org/10.1002/anie.202504406>

## 有机光伏材料与器件

### 应磊研究员团队：通过客体聚合物辅助形态纤维化实现 19.6% 的有机光伏效率

实现高性能的有机光致发光材料 (OPV) 取决于优化活性层内的相分离和界面，这对于有效的电荷产生和传输至关重要。虽然纤维状相分离网络已被广泛认为是各种共混体系的理想形态，但实现这种结构的可靠方法仍然难以捉摸，因为难以精确控制溶液中的分子预聚集并确保它们在薄膜干燥期间转移到凝聚态。因此，开发可靠的策略以在 OPV 薄膜中实现纤维状形态对于释放其更高效率潜力至关重要。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的应磊研究员课题组引入了一种形态控制策略，该策略使基于 D18: PTzBI-dF: L8-BO 器件实现了 19.6% 的显著功率转换效率，对于 1 cm<sup>2</sup> 器件实现了 18.35% 的认证功率转换效率，这是迄今为止 1 cm<sup>2</sup> 器件最高的认证 PCE 之一。此外，这种客体聚合物辅助的纤维化在各种共混体系中显示出多功能性，为增强 OPV 性能提供了一种有前途的方法。

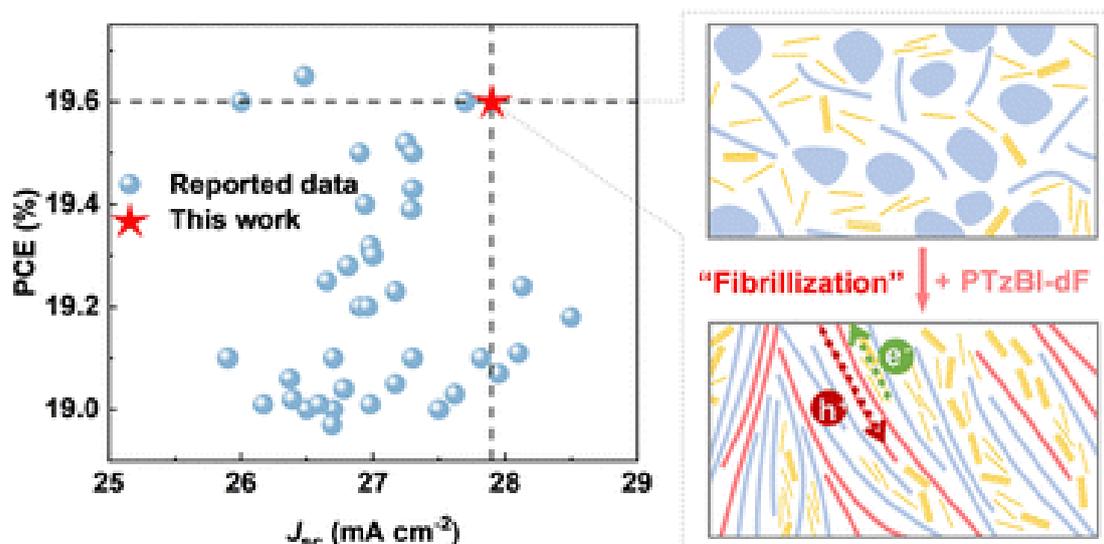


图 1 文献中已报道的效率超过 19% 的 OPV 及该工作的机理图

作者在 D18: L8-BO 共混物中使用酰亚胺官能化的苯并三唑聚合物 PTzBI-dF 来增强原纤形态。PTzBI-dF 表现出与 D18 的优先相容性，显著促进了原纤维形态的形成。聚合物的这种共组装可缩短  $\pi$ - $\pi$  堆叠距离，提高结晶度并改善 L8-BO 堆积。从晶体填充到纤维相分离的全面优化有助于高效的电荷载流子生成和传输。由此产生的 OPV 器件实现了 19.6% 的出色 PCE，这主要是由于显著增强的  $J_{sc}$  和  $FF$ 。此外，PTzBI-dF 显示出作为客体聚合物的有效性，可促进形态原纤化并增强其他共混系统的性能。因此，这种方法对于优化 OPV 和其他有机电子设备的形态和光伏特性具有相当大的前景。

测试报告

1. 测试条件/ Test condition:

环境温度 (Temperature): 24.7 °C  
 湿度 (Humidity): 52.4% RH  
 辐照度 (Irradiance): 1000 W/m<sup>2</sup>

2. 光电性能参数/ Photoelectric performance parameter:

序号/NO.	测试项目/Test item	单位 /Unit	测试结果/ Test result	备注/Remarks
1	器件面积 (Device area)	cm <sup>2</sup>	1.00	/
2	开路电压 $V_{oc}$ (Open circuit voltage)	V	0.916	/
3	短路电流密度 $J_{sc}$ (Short circuit current density)	mA/cm <sup>2</sup>	27.06	/
4	填充因子 $FF$ (Fill factor)	%	73.97	/
5	光电转化效率 PCE (Efficiency)	%	18.35	/

3. 电流-电压曲线 (I-V curve):

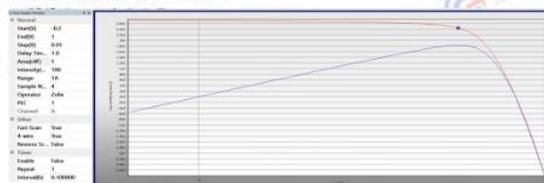


图 2 基于 D18:PTzBI-dF:L8-BO (0.5: 0.5: 1) 1 cm<sup>2</sup>OPV 器件的认证报告

相关研究成果以 “Achieving 19.6% efficiency in organic photovoltaics through guest-polymer assisted morphological fibrillization” 为题发表在 *Energy & Environmental Science* 上，其中通讯作者为应磊研究员、钟文楷副教授，第一作者为李振业。该研究工作得到了湖南省自然科学基金、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专项资金等科研项目的资助。

原文链接: <https://doi.org/10.1039/D4EE03461A>

## 段春晖教授团队：协同外围取代基策略助力完全非稠环电子受体太阳能电池实现 18%光电转换效率

全非稠环电子受体(FNEAs)仅通过碳-碳单键扩展其主链，这有效避免了复杂且低产率的关环反应，有助于降低光伏材料的成本。但其也面临分子构象不稳，结晶性弱、电荷传输差、与给体过度混溶阻碍纤维状双连续网络形成等关键发展瓶颈，导致PCE落后。因此，精确调控FNEA分子构象与结晶性，协同优化分子堆积及相分离形貌，是突破效率瓶颈、实现高性能低成本有机光伏器件的关键。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的段春晖教授课题组通过系统调控外围取代基，即中心核封装结构和外侧烷基侧链长度，有效增强受体结晶性并精细调控纤维网络形貌，使完全非稠环电子受体太阳能电池实现了 18.04%的破纪录光电转换效率。

考虑到FNEAs的低PCE主要源于受体结晶度弱和活性层形貌差，设计并合成了四种FNEAs分子(NEH-4F, EEH-4F, NBO-4F, EBO-4F)，旨在通过系统调控外围取代基协同解决上述关键挑战(其化学结构见图1)。具体而言，包封的中心核保证了共轭骨架的平面性并提高了受体结晶度，而延长的外侧链调节了分子堆叠并调节了FNEA与聚合物供体PTTz之间的热力学相容性。因此，在PTTz:EBO-4F的共混物中发现了具有双连续互穿纤维

网络结构的纳米级相分离形貌，有助于促进太阳能电池中的激子扩散和电荷传输。由此获得了破纪录的 18.04% 的 PCE，这大大减小了 FNEAs 和稠环电子受体之间的效率差距。这些结果表明，通过合理的分子设计，具有成本效益的 FNEAs 在实现高效太阳能电池方面的良好前景。

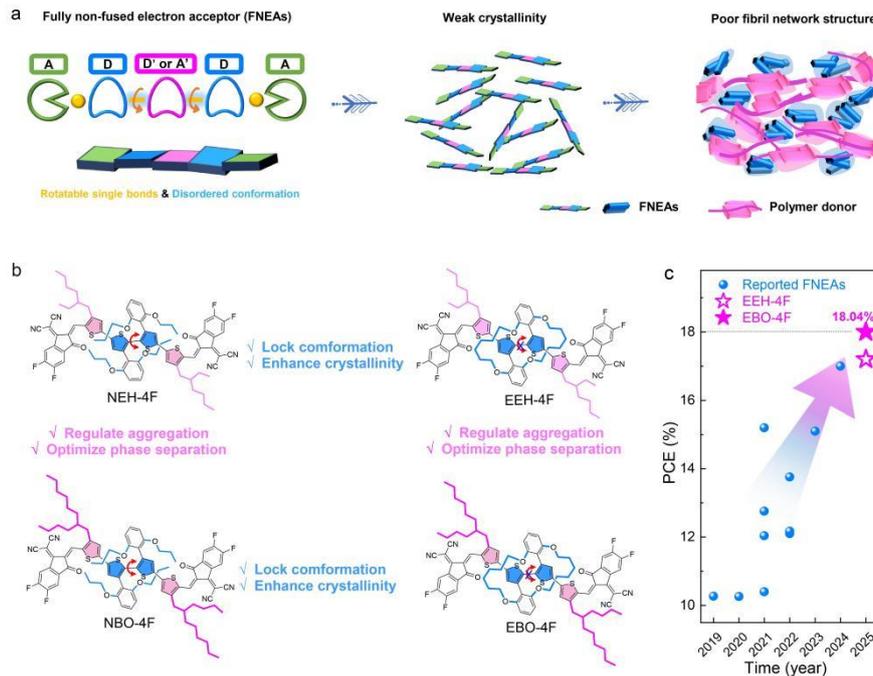


图 1 全非稠环电子受体的分子设计

相关研究成果以“*Fully non-fused electron acceptor solar cells with 18% efficiency via a synergistic peripheral substituent strategy*”为题发表在 *Nature Communications* 上，其中通讯作者为段春晖教授，第一作者为华南理工大学博士生王晔晔、博士生杨明群以及武汉工程大学交流博士生陈志力。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、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。

原文链接：<https://www.nature.com/articles/s41467-025-60650-3>

## 应磊研究员团队：动态二硫键网络实现自修复的本征可拉伸有机太阳能电池

开发本征可拉伸有机太阳能电池 (IS-OSCs) 面临在机械耐久性和光电子性能之间取得平衡的重大挑战。传统的基于  $\pi$  共轭聚合物的给体/受体共混膜在机械应变下往往表现出有限的拉伸性和不可逆的性能退化。

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、钟文楷团队提出了一种新型的自修复给体/受体共混膜，通过在本体异质结膜中引入基于动态二硫键的交联网络来实现双网络形态。IS-OSC 能在 40% 应变下多次拉伸-释放循环后，通过室温自修复过程恢复性能。这项工作为高度可拉伸和耐久的 IS-OSCs 提供了概念验证，为推进可穿戴能源设备领域的发展提供了有价值的见解。

该工作将可自修复的交联材料引入了顺序旋涂的活性层结构中，从而在活性层中创建了一种双网络的结构。制备方式如图 a-b 所示。动态二硫键在拉伸过程中耗散应变能在拉伸过程中消散应变能，同时在释放时无需外部干预即可自主修复微裂缝，恢复光伏性能。通过详细的形貌分析得到，交联网络保留了 D/A 混合物的结晶堆积和纳米级相分离，以保持器件高效的光子-电流转换。优化后的活性层在刚性器件中实现了 16.39% 的 PCE 并且使得 COS 提高两倍，达到 15.6%。在 30% 应变下，IS-OSC 保持了 80% 的初始 PCE。此外，并且在 40% 应变下多次拉伸-释放循环后，通过室温自修复过程恢复性能。这些进步凸显了动态共价

化学在克服有机电子器件的机械和光伏性能方面的潜力。

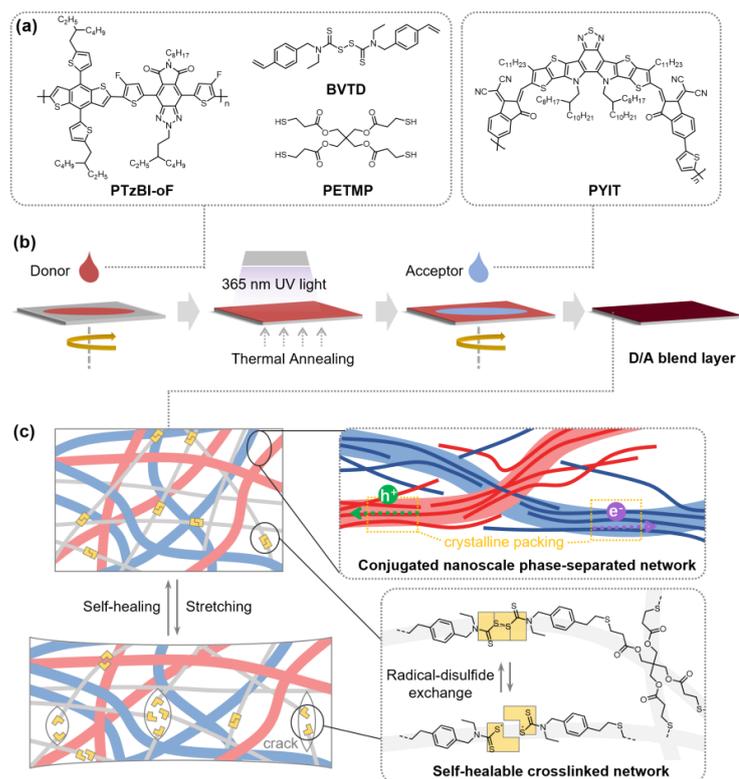


图 a-b) 分子结构式以及活性层制备流程 c) 共轭聚合物相分离网络与基于 S-S 键的可愈合交联网络相结合的双网络形态示意图

相关研究成果以“*Dynamic disulfide bond networks enable self-healable and mechanically resilient intrinsically stretchable organic solar cells*”为题发表在 *Energy & Environmental Science* 上，其中通讯作者为应磊研究员和钟文楷副教授，第一作者为杨雯钰硕士生。该研究工作得到国家自然科学基金、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专项资金等科研项目的资助。

原文链接：

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/ee/d5ee01082a>

## 无机发光与光纤激光

### 董国平教授团队：集成的纳米晶复合玻璃光纤阵列用于远程高分辨率 X 射线成像

可远距离传输的光纤阵列显著提升了在大型航天设备、堆芯内部及人体弯曲部位等紧凑空间中进行远距离高分辨率 X 射线成像与探测的能力。然而，现有技术主要集中于薄膜和块体形态，难以适配复杂机械结构或深入人体组织内部实施无损检测。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的董国平教授团队制备出卤化物纳米晶复合光纤阵列，实现远程高分辨率 X 射线成像及图像信息传输，有望拓展闪烁光纤阵列在 X 射线成像领域的应用。

X 射线成像技术在医学诊断、工业检测和安全检查等领域至关重要，但传统闪烁体材料（如  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ）受限于光子散射和自吸收效应，制约了其光穿透能力和空间分辨率。此外，现有的薄膜或块状闪烁体阵列难以适配复杂结构内部成像并实现长距离信号传输。为此，董国平教授团队开发了一种新型闪烁光纤阵列：将  $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{X}_5$  ( $\text{X}=\text{Cl}$ 、 $\text{Br}$ 、 $\text{I}$ ) 纳米晶体复合进玻璃光纤中，通过精确控制结晶过程制备出低损耗光纤，并通过二次复拉方法制备出具有 1600 个像素的光纤阵列。该光纤阵列探测器能穿透复杂结构，实现低剂量（多低剂量）、高分辨率（48 lp/mm，极限分辨率 60.7 lp/mm）X 射线成像与传像。

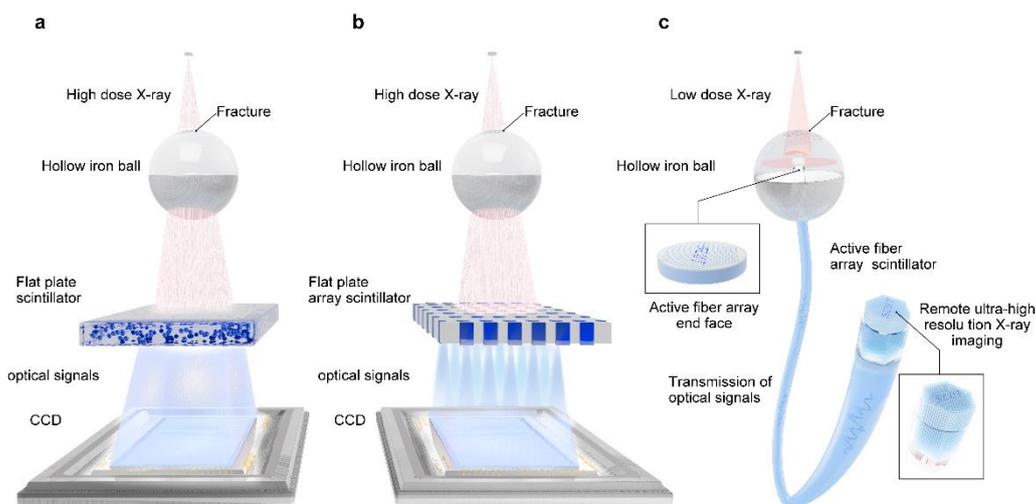


图 1 纳米晶复合光纤阵列可有效结合光纤的低损耗传输能力和光纤阵列的高分辨率成像能力，实现远程成像-传像一体化功能

研究团队首先采用熔融淬火法制备硼硅酸盐先驱体玻璃，随后将玻璃在玻璃化转变点附近进行热处理，诱导  $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{X}_5$  纳米晶在玻璃基质中可控生长。通过精确调控晶体尺寸与分布，所得  $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{X}_5$  纳米晶复合玻璃展现出低光散射、高透过率及高达 87.02% 的光致发光量子产率。其独特的自陷激子（STE）发射机制有效抑制了初始发射光子的再吸收，显著提升了光传输效率。在此基础上，团队利用“管内熔融法”和二次复拉法成功拉制出单个像素仅为  $10.4 \mu\text{m}$  高密度  $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$  纳米晶复合玻璃光纤阵列。该阵列的核心优势在于：其六边形包层结构允许光纤紧密排列；基于光纤芯/包结构设计，X 射线激发的闪烁光子被有效限制在单个像素内，并通过玻璃光纤实现高效长距离传输。这种设计赋予了光纤阵列探测器深度穿透能力，使其能深入复杂结构内部完成传统平板探测器难以胜任的成像任务。例如，在对内壁有裂缝的空心铁球进行 X 射线成像时，传统块体闪烁体难以清晰呈现裂缝细节，而该光纤阵列则可直接穿透球体，精准捕捉裂缝的形状与

走向。

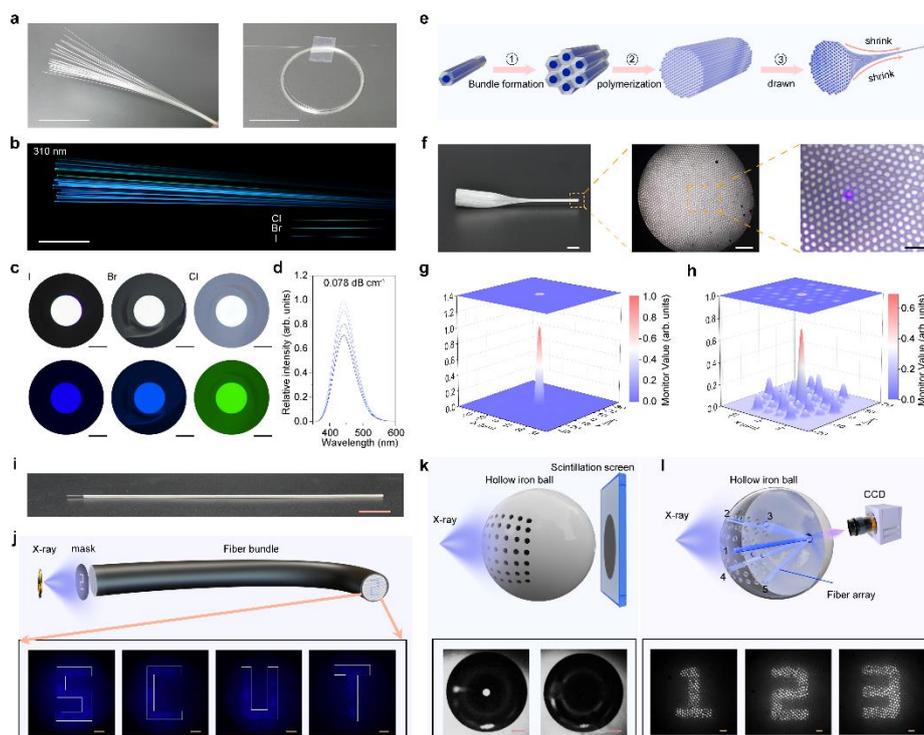


图 2 纳米晶复合玻璃光纤阵列制备流程及其像素级远程成像-传像演示

这项研究不仅成功在实验室环境中验证了新型闪烁光纤阵列的卓越性能，更为其未来的规模化生产和广泛应用开辟了道路。这种集成了卤化物纳米晶的闪烁光纤阵列，有望成为精细放射治疗、脑神经活动监测以及工业三维 X 射线断层扫描等关键领域的新型工具，为高分辨率 X 射线成像技术的革新带来强劲动力。

相关研究成果以“*Integrated copper-halide activated scintillator fiber array for remote high resolution X-ray imaging*”为题发表在 *Nature Communications* 上，其中华南理工大学董国平教授为通讯作者，华南理工大学博士生章皓、黄雄健副教授为该论文的共同第一作者。该研究工作得到了国家自然科学基金项目、博士后创新人才计划项目、广东省基础与应用基础研究基金项目、

发光材料与器件全国重点实验和中国国家留学基金委资助项目等科研项目的资助。

原文链接：<https://doi.org/10.1038/s41467-025-61416-7>

## 前沿交叉

### 应磊研究员团队：一种可绿色溶剂加工的聚合物空穴传输材料，实现高效倒置钙钛矿太阳能电池

钙钛矿太阳能电池（PSCs）因其高效率、低成本等优势成为光伏领域的研究热点，但空穴传输层的性能与稳定性仍是关键瓶颈。传统聚合物空穴传输材料（如 PTAA）需使用有毒溶剂（如氯苯、甲苯），限制了其规模化应用。开发绿色溶剂可加工的聚合物空穴传输层对推动 PSCs 产业化至关重要。

近日，华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室的应磊研究员课题组利用一种新型聚合物空穴传输材料 PTACz-PO，在使用非卤素溶剂处理的器件中，实现了创纪录的 26.31% 的高能量转换效率。同时具有出色的稳定性，在 ISOS-D-3 协议下保持了 95% 的初始效率并超过 2000 小时。

空穴传输层的发展对于进一步提高钙钛矿太阳能电池(PSCs)的性能和稳定性至关重要。与自组装小分子材料相比，聚合物空穴传输材料在性能和加工溶剂的毒性较强。为解决这个问题，开发与更安全、环保、不受管制的替代溶剂兼容的聚合物空穴传输材料对于推进 PSCs 的大规模生产至关重要。

我们通过共聚三苯胺单元和二乙基膦酸酯改性的咔唑单元

开发了一种新型聚合物空穴传输材料 PTACz-PO。其在绿色溶剂 2-甲基四氢呋喃 (MeTHF) 中表现出优异的溶解性, 同时具有深的最高占据分子轨道能级、高空穴迁移率、优异的钝化效果和更优的润湿性, 从而增强了界面接触。

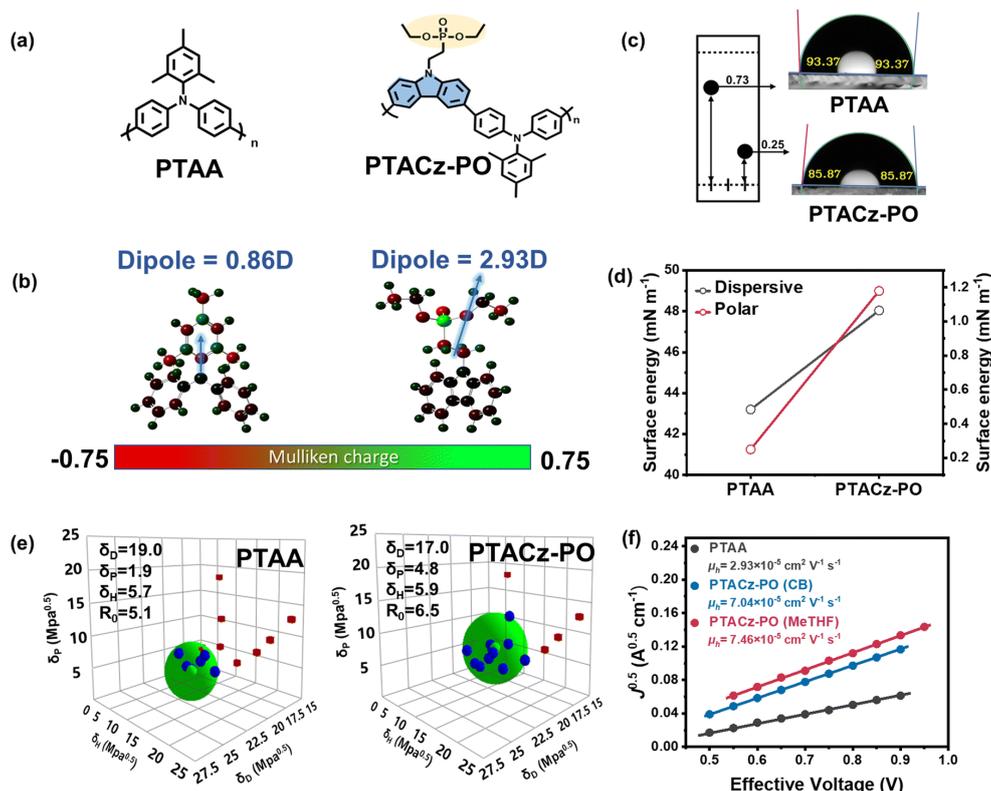


图 1 聚合物分子结构以及性能参数研究

与氯苯处理的 PTACz-PO 和 PTAA 薄膜相比, Me THF 的 PTACz-PO 薄膜具有更优异的均匀性。刚性咔唑单元的掺入减少了电荷传输过程中的能量无序, 导致空穴迁移率提高。强极性侧链与钙钛矿之间的相互作用, 增强了聚合物的极性以及其在绿色溶剂 Me THF 中的溶解度。PTACz-PO 在 Me THF 中溶解度的增加减少了聚合物的聚集, 提高了薄膜的均匀性。

在使用非卤素溶剂处理的器件中, 器件实现了创纪录的 26.31% 的高能量转换效率, 同时具有出色的稳定性, 在“双 85”

测试下保持了>95%的初始 PCE 超过 2000 小时。实验表明 PTACz-PO 是一种优异的 PTAA 替代品, 在环境友好的 Me THF 中具有良好的溶解性, 为产业化提供了材料与工艺新范式。

相关研究成果以 “*A green-solvent-processable polymer hole transport material for achieving 26.31% efficiency in inverted perovskite solar cells*” 为题发表在 *Energy & Environmental Science* 上, 通讯作者为应磊研究员。该研究工作得到了国家重点研发计划项目 (2022YFB3602800)、国家自然科学基金项目 (No. U23A2092) 等科研项目的资助。

原文链接:

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/ee/d5ee00380f>

## 应磊研究员团队: 通过聚合物无规行走模型调控钙钛矿太阳能电池空穴传输聚合物偶极矩

反式钙钛矿太阳能电池 (PSCs) 的性能依赖于空穴传输层 (HTL) 的设计。空穴传输材料 (HTMs) 的偶极矩是影响 HTL 性能的关键因素, 然而, 聚合物链的复杂构象使聚合物偶极矩调控面临挑战。传统策略 (如侧链工程) 虽有效, 但需深入理解聚合物偶极的协同作用机制。因此, 建立精准预测 HTMs 偶极矩的理论模型, 对开发高效稳定 PSCs 具有重要意义。

近日, 华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的应磊研究员课题组通过扩展聚合物构象的无规行走模型描述了聚合

物 HTM 中偶极矩的迭代累积，并验证了模型预测的有效性，有望扩展偶极矩调控策略在设计应用于钙钛矿太阳能电池的高效、稳定的聚合物 HTM 领域的应用。

在本研究中，作者设计了两类乙二醇侧链修饰的聚合物 HTMs (PTAC-DEG 和 PTAC-TEG)，通过侧链长度差异调控偶极矩，并构建了聚合物偶极矩的无规行走模型。结合模型，作者发现较短侧链的 PTAC-DEG 因偶极角度更小 (约  $105^\circ$ ) 实现了更高的累积偶极矩 (5.3 a.u.)，而较长侧链的 PTAC-TEG 因偶极角度较大 ( $121^\circ$ ) 导致偶极聚集，整体偶极矩降低 (3.5 a.u.)。PTAC-DEG 更高的聚合物偶极矩有效增强了钙钛矿薄膜的结晶性和晶粒尺寸，降低了缺陷态密度。实验表明，PTAC-DEG 增强了钙钛矿薄膜的 (100) 结晶取向，并显著降低界面非辐射复合，有助于提高载流子寿命和器件稳定性。另外，通过紫外光电子能谱分析发现，PTAC-DEG 较高的偶极矩带来界面能级变深，实现了 HTM 与钙钛矿价带能级的更好对齐，提升了器件的能级匹配性和空穴提取效率。基于 PTAC-DEG 的反式 PSCs 实现了 25.81% 的光电转换效率，为已报道基于聚合物 HTM 的反式钙钛矿太阳能电池的最高值之一，并且器件在 ISOS-L-3 ( $t_{95}=1300$  h) 和 ISOS-D-3 ( $t_{95}=1200$  h) 条件下表现出出色的稳定性。本研究为合理设计具有高偶极矩和高稳定性的聚合物 HTMs 提供了新的策略，为开发高效稳定的钙钛矿太阳能电池铺平了道路。

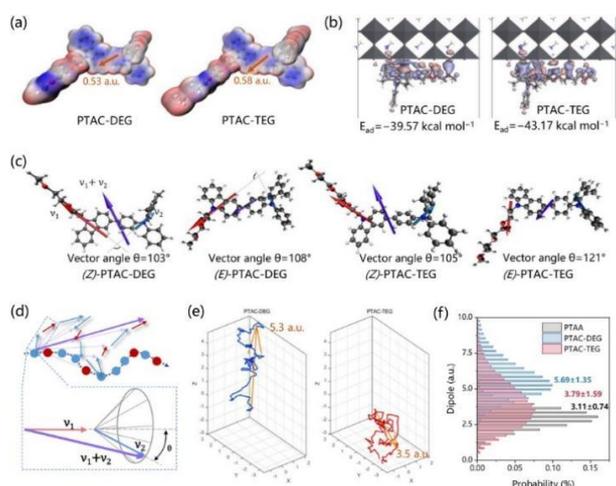


图 1 聚合物 HTM 链偶极无规行走模型

相关研究成果以“*Tuning Polymer Dipole Moment of Hole Transport Materials with a Glycol Ethyl Substituted Strategy for Inverted Perovskite Solar Cells*”为题发表在 *Advanced Functional Materials* 上，其中通讯作者为应磊研究员，第一作者为罗轩昂博士生。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广东省基础与应用基础研究基金等科研项目的资助。

原文链接：

<https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.202426037>

## 李远研究员团队：用于高倍率水系锌离子电池的高电子电导的稳定三苯胺酚自由基正极材料

随着全球对锂资源依赖程度的不断加深，锂离子电池所面临的成本压力和环境挑战日益突出。水系锌离子电池（ZIBs）凭借锌资源丰富、理论比容量高以及安全性好等优势，成为一种极具前景的替代储能技术。然而，传统无机电极材料存在锌离子扩散

动力学缓慢、容量衰减快等问题，限制了其实际应用。有机材料因其结构可调控、成本低廉、环境友好等特点，逐渐成为电极材料研究的热点方向。本研究聚焦于一种新型有机自由基正极材料——三苯胺酚自由基（TPA-O<sub>3</sub>），并系统评估了其在水系锌离子电池中的应用潜力。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室李远研究员团队成功开发出一种新型芳香化硝酸自由基正极材料 TPA-O<sub>3</sub>。该材料以廉价原料为基础，通过两步简便高效的合成路线实现了材料的大量制备。TPA-O<sub>3</sub>表现出优异的电化学稳定性，电子电导率高达  $3.35 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ 。其还原电位约为 1.0 V，且在  $5 \text{ A g}^{-1}$  的高电流密度下循环 2000 次后，容量保持率仍高达 95.87%，性能显著优于现有报道的多数有机自由基正极材料。此外，研究团队借助电子自旋共振（ESR）和 X 射线光电子能谱（XPS）等表征手段，深入揭示了 TPA-O<sub>3</sub> 在充放电过程中的三电子转移机制及锌离子的可逆存储行为，为高性能水系锌离子电池正极材料的设计提供了全新的自由基分子策略。

在本研究中，研究团队首次将 TPA-O<sub>3</sub> 作为水系锌离子电池的有机自由基正极材料进行系统研究。该材料可通过简单加热其前驱体 TPA-(OH)<sub>3</sub> 高效制备，具备良好的合成效率与成本优势。电化学测试结果表明，TPA-O<sub>3</sub> 在  $0.5 \text{ mV s}^{-1}$  的扫描速率下展现出约 1.0 V 的高还原电位，明显高于多数醌类正极材料。同时，在  $5 \text{ A g}^{-1}$  的高倍率条件下，TPA-O<sub>3</sub> 经过 2000 次循环后容量保持率

仍达 95.87%，表现出卓越的循环稳定性和倍率性能。研究团队进一步通过 ESR 和 XPS 等手段，深入探究了 TPA-O<sub>3</sub> 在充放电过程中的反应机制。结果表明，TPA-O<sub>3</sub> 在充放电过程中始终保持氮正离子自由基结构，实现了高效的三电子转移反应机制。此外，XPS 结果还揭示了锌离子在电极材料中的可逆嵌入/脱出过程，进一步验证了 TPA-O<sub>3</sub> 作为水系锌离子电池正极材料的可行性与优势。本研究不仅提出了一种低成本、高性能的有机自由基正极材料，还为未来水系锌离子电池的发展提供了有潜力的自由基分子设计策略。

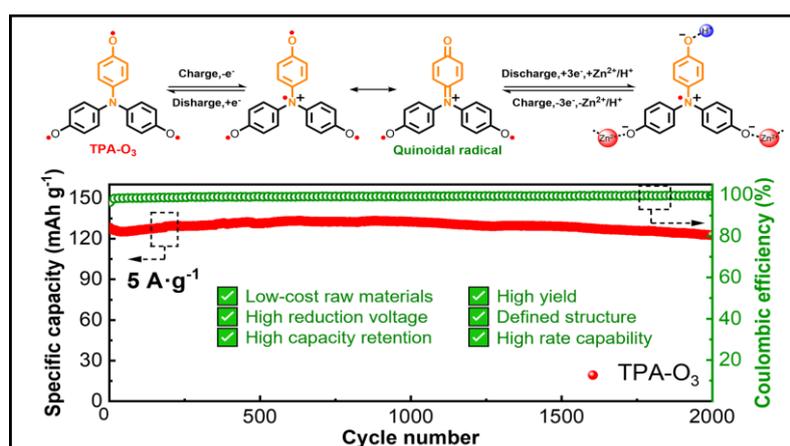


图. TPA-O<sub>3</sub> 正极材料的充放电机理和 5A · g<sup>-1</sup> 下材料的长循环测试

相关研究成果以“*Stable Triphenolamine Radical Cathode with High Electron Conductivity for High-Rate Aqueous Zinc-Ion Batteries*”为题发表在 *ACS Applied Materials & Interfaces* 上，其中通讯作者为李远研究员和韩翠平教授，黄嘉兴博士生和李美霖为共同第一作者。该研究工作得到了中国自然科学基金(51973063, 22279160 和 22375065) 等科研项目的资助。

原文链接：<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.5c01552>

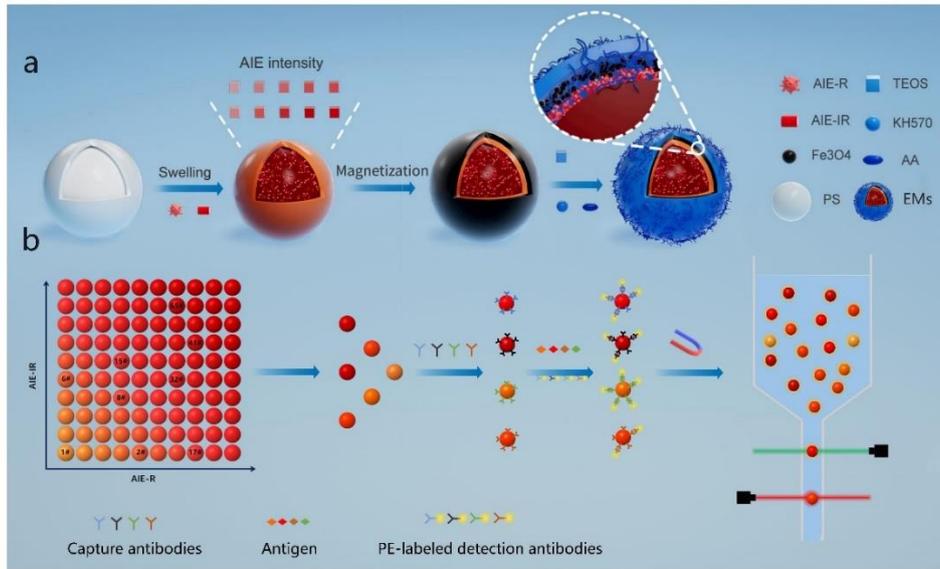
## 王志明研究员团队：利用 AIE 材料的大斯托克斯位移特性改进

### 磁性/荧光编码微球的多重检测性能

多重生物检测技术在疾病诊断、蛋白质分析和单细胞研究中具有重要价值，其核心在于编码微球的识别能力。传统技术面临三大瓶颈：光谱串扰：普通染料斯托克斯位移小（约 20 nm），导致激发/发射光谱重叠，引发光子重吸收和颜色交叉干扰；荧光猝灭问题：磁性纳米粒子（MNPs）在分离富集时会显著猝灭有机染料的荧光信号；聚集猝灭（ACQ）：染料高浓度聚集时荧光强度非线性衰减，限制编码容量。

商用平台（如 LuminexMAP 系统）仅能实现 100 种编码，量子点编码虽扩容但稳定性差。AIE 材料（聚集诱导发光）因聚集增强发光、抗光漂白等特性成为突破口，但其在磁性编码微球中的应用仍受限于颜色串扰和磁猝灭效应。

本研究亮点包括：（1）大斯托克斯位移设计：选用 AIE-R（激发/发射：488nm /625 nm，位移 137 nm）和 AIE-IR（628 nm/780 nm，位移 152 nm），彻底消除光子重吸收；（2）ACQ 效应逆转：AIE 材料在聚苯乙烯微球内浓度越高发光越强，实现单色 11 级荧光强度线性编码（ $R^2 > 0.994$ ）；（3）磁-光协同优化：通过原位磁化策略，在微球内部生成  $Fe_3O_4$  层，磁饱和强度达  $15 \text{ emu} \cdot \text{g}^{-1}$ （高于文献 3-5 倍），分离时间缩短至 15 秒；（4）36 重高通量编码：构建  $6 \times 6$  双色编码矩阵，实现 36 种可区分条码，为迄今 AIE 微球双色的最高编码容量。



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利用大斯托克斯位移的 AIE 分子开发了 36 重磁性/荧光编码微球应用多重生物检测。主要解决了传统荧光编码微球在多重检测中的三个痛点：有机染料的聚集导致猝灭(ACQ)、光子重吸收效应以及磁性纳米粒子(MNPs)的荧光猝灭效应问题。

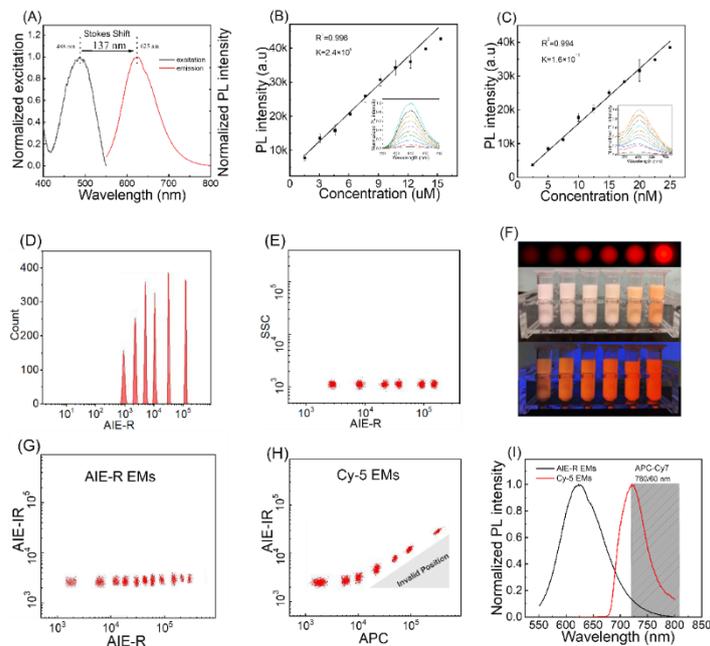


图 1 (A) AIE-R 的光谱信息。(B) 和 (C) 不同染料浓度下荧光强度。(D) 和 (E) PS/AIE-R 微球的流式荧光峰。(F) 在紫外

光照射下 PS/AIE-R 微球的乳液照片。(G) 和 (H) 不同染料浓度下 AIE-R EMs 和 Cy-5 EMs 的条形码。(I) AIE-R EMs 和 Cy-5 EMs 的归一化发射光谱

在 AIE 染料选择和设计上, 使用大斯托克斯位移的 AIE 染料减轻再吸收和猝灭效应, AIE 染料在微球中的荧光强度随浓度增加而线性增强, 且斜率远高于纯染料(333 倍, 图 2B 和图 2C)。这是因为 AIE 分子在微球中的分子内运动受限, 导致荧光增强。最终使得不同浓度的 AIE 染料能够生成可区分的编码峰, 如 AIE-R 的 11 个独立荧光峰 (图 2G), 而传统染料 Cy-5 在高浓度时会出现信号重叠从而产生无效区域 (图 2H)。

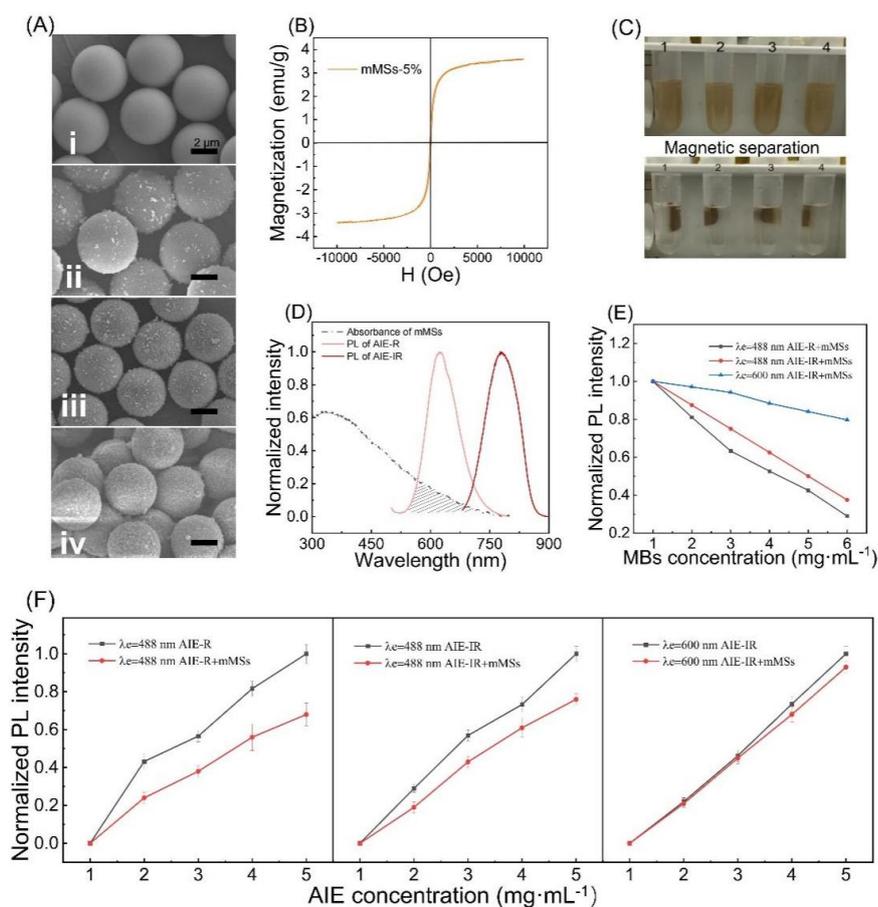


图 2 (A) 不同磁性编码微球 SEM 图像。(B) mMS-5% 在 298K 下的磁化曲线。(C) 经过 60 秒磁分离后的照片。(D) AIE 微球

的吸收光谱和发射光谱。(E) 磁性粒子浓度对 AIE-R、AIE-IR 的 PL 强度的影响。(F) 一系列 AIE/mMS 混合物的 PL 强度

将 AIE 染料嵌入 5  $\mu\text{m}$  氨基化聚苯乙烯微球，通过溶胀-挥发技术控制染料浓度梯度（图 2A）。微球磺化后，在表面静电组  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  并原位生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  层。不同磁性含量的 AIE EMs 的饱和磁化强度在 3-15  $\text{emu}\cdot\text{g}^{-1}$  范围内，远高于文献报道的值 1-3  $\text{emu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。磁性粒子对 AIE-R 猝灭率仅 15%（传统 Cy-5 达 48%），AIE-IR 因近红外激发猝灭更弱（图 4E-F）。

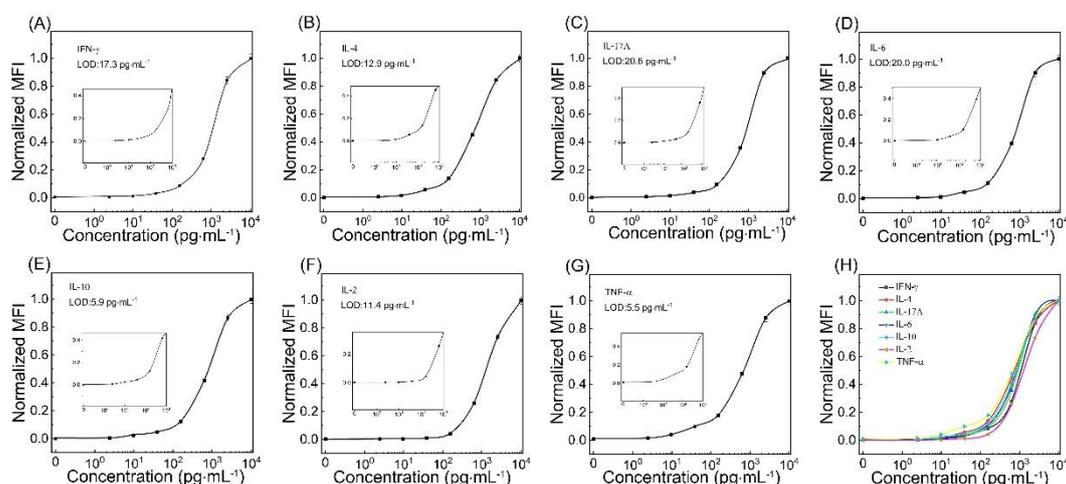


图 3 七重过敏原检测中用于检测 A-H) IFN- $\gamma$ 、IL-4、IL-17A、IL-6、IL-10、IL-2、TNF- $\alpha$  的标准曲线及合并图

结合磁富集和 AIEgens 的高光稳定性，该平台对 7 种细胞因子的检测限低至 5.5–20.6  $\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$ （图 3），且与临床结果高度一致。此外，该研究通过 AIE 材料的大斯托克斯位移特性，攻克了磁性荧光编码微球在信号稳定性、编码容量和抗干扰能力方面的难题。36 重 AIE 编码平台的实现为大规模生物标志物筛查提供了新工具，尤其适用于肿瘤微环境分析、感染性疾病早期诊断等场景。未来方向包括拓展更多 AIE 颜色通道、开发便携式解码设

备，推动精准医疗从实验室走向临床。

相关研究成果以“*Realization of more precise multiplex detection on magnetic/fluorescent barcodes platform via enjoying AIEgens' large stokes shift characteristic*”为题发表在 *Sensors and Actuators: B. Chemical* 上，其中，南华大学的胡蓉教授、聚集诱导发光研究院的刘勇博士和涂于洁博士与华南理工大学王志明研究员为论文的共同通讯作者。华南理工大学博士生胡亚新为该论文的第一作者，该研究工作得到了国家自然科学基金、发光材料与器件国家重点实验室自主研究项目等科研项目的资助。

原文链接：<https://doi.org/10.1016/j.snb.2025.138177>

## 仪器设备

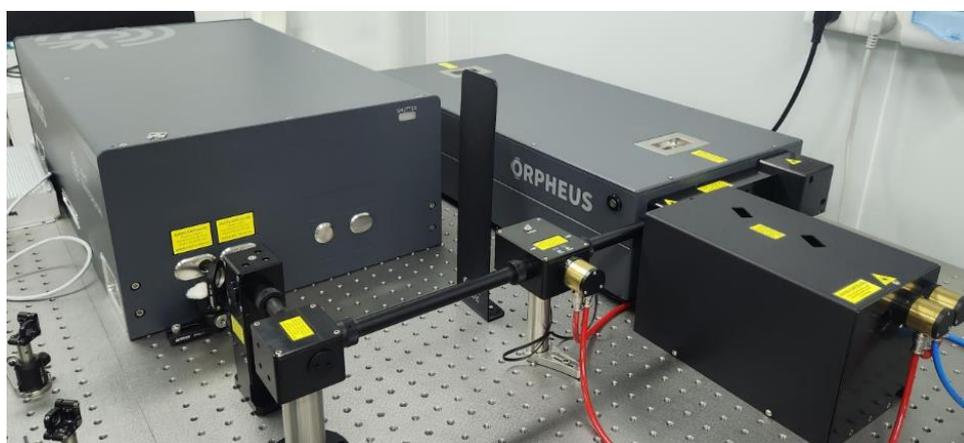
### 近中红外特种光纤激光测试系统

#### ●仪器信息

品牌：Light Conversion

型号：PHAROS-10W

放置地点：华南理工大学北区科技园 1 号楼 S204A 室



#### ●应用领域

近中红外特种光纤激光系统可用于多波段的光纤激光泵浦与测试，实现近中红外光纤激光输出。高稳定性短脉冲飞秒激光器是多种发光材料光学性能研究的必用光源，也是探究激光与多种透明材料相互作用的必要设备。

#### ●功能简介

本设备主要用于发光材料和器件的发光和激光等光学特性测试，在测试中用作，适用于以下测试：光纤激光，上下转换发光，单颗粒发光等，可用于研究发光材料的激发态特性。

#### ●技术参数

1. 工作波长：1030nm、515nm；

2. 脉冲宽度：290fs—10ps；
3. 重复频率 1KHz—1000KHz；
4. 泵浦功率：10 瓦@ 1030nm；
5. 脉冲能量大小：200uj @ 1—50KHz；
6. 脉冲—脉冲能量稳定性：0.5% RMS（基频）；
7. 光束指向性：<20  $\mu$ rad/°C；
8. 集成式二倍频转换效率：>50% (2H)；
9. 搭配光学参量放大器 OPA 后：315-2600nm；
10. OPA 转换效率 (peak)：>9% (Signal)，>4% (Idler)。

●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<1cm，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 2：30-5：30。

## 境内外学术交流来访

●6月4日,中国科学院大连化学物理研究所吴凯丰研究员,在全重 W301 会议室作题为“量子点超快光物理与光化学”学术报告。报告主要介绍团队近年来基于先进的时间分辨谱学方法,系统研究了量子点的超快动力学及其相关应用。

●6月18日,香港城市大学任广禹教授,在全重 501 会议室作题为“Molecular Engineering of Organic and Hybrid Materials for Highly Efficient and Stable Perovskites Solar Cells”学术报告。报告主要介绍课题组通过空穴选择性自组装单层 (SAM) 和有机铵配体之间复杂的路易斯酸碱相互作用,在埋入界面构建局部 2D/3D 钙钛矿异质结,开发了一种新的策略来降低宽带隙 (WBG) 钙钛矿太阳能电池光电压损失。