

# 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 1 期

(总第 89 期)

华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室编

2025 年 2 月 28 日

---

### 新闻动态

- 广州市天河区陈建荣区长一行来实验室参观调研..... 1
- 迎新春 贺新年 全重第二届乒乓球比赛圆满结束..... 2

### 研究进展

#### 发光理论与机制

- 胡斌教授团队：有机-无机杂化金属卤化钙钛矿的自旋轨道有序效应..... 4
- 李远副研究员团队：基于芳香化草酸自由基的稳定电子自旋盘..... 7

#### 新型显示、探测与成像

- 苏仕健教授团队：用于高性能窄带电致发光与护眼照明的高效三组分激基复合物..... 9
- 应磊研究员团队：调控聚合物分子量分布抑制暗电流密度提升有机光探测器性能..... 11

#### 有机光伏材料与器件

- 实验室多团队合作：有机界面层诱导多重自组装开壳实现倒置有机太阳能电池性能大幅提升 13
- 何志才教授团队：吸附诱导空穴传输层实现效率超 19%的稳定无 PEDOT 有机太阳能电池..... 15
- 何志才教授团队：配体功能化的 MXenes 作为有机太阳能电池的阳极和阴极界面..... 17
- 应磊研究员团队：调控本体异质结溶液中聚合物临界浓度提高有机光伏效率..... 20
- 应磊研究员团队：通过“有机-共轭双网络”形貌研究可拉伸有机光伏器件的性能增强机理. 22

应磊研究员团队：通过环烷氧化优化聚合物空穴传输材料，以获得高效的钙钛矿太阳能电池 25

应磊研究员团队：降低空穴传输聚合物的能量无序性提升钙钛矿太阳电池效率 ..... 27

黄飞教授团队：通过互连层工程实现高性能和稳定的钙钛矿/有机叠层太阳能电池 ..... 30

## 无机发光与光纤激光

叶林教授团队：一维锰卤化物 自旋反铁磁有序排列抑制能量迁移实现高效发光 ..... 32

## 前沿交叉

应磊研究员团队：靶向递送基于喹啉林的半导体聚合物用于肿瘤光热治疗 ..... 35

## 仪器设备

600MHz 宽腔固体核磁共振波谱仪 ..... 38

境内外学术交流来访 ..... 40

## 新闻动态

### 广州市天河区陈建荣区长一行来实验室参观调研

1月15日下午，广州市天河区陈建荣区长一行来发光材料与器件国家重点实验室参观调研。



陈建荣区长参观实验室

实验室副主任苏仕健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、研究方向、承担科研项目及科研创新等方面取得的成绩。

调研组参观了实验室的成果展示厅，超净室、小角 X 射线衍射仪设备和核磁室等公共测试平台。

苏仕健为陈建荣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、柔性 OLED 显示和有机光伏电池等成果的研究背景及应用。

调研组对实验室在人才培养、原创性成果等方面取得的成绩给予高度的赞赏。

## 迎新春 贺新年 全重第二届乒乓球比赛圆满结束

1月9日，由发光材料与器件全国重点实验室和全重有机光电材料党支部主办的“迎新春 贺新年”2025年全重第二届乒乓球比赛在全重1楼举行，吸引了来自实验室和材料学院60多名师生参加比赛。本次乒乓球比赛设置了男单、女单、男双、男单和混双项目，还首次新增了师生赛表演赛。最终，李佳豪、梁萍等共18位同学及老师斩获奖项。

开幕式由实验室行政管理负责人周玉主持，她对全重有机光电材料党支部组织的这次比赛表示衷心地感谢，为师生们带来了一次难得的切磋球技、交流情感的机会。并预祝大家能在比赛中获得好的成绩，随后正式比赛由学院行政副院长彭树立和全重实验室副主任、全重有机光电材料党支部书记秦安军开球，打出比赛中的第一球。

比赛现场气氛热烈，选手们精神抖擞，每一次发球、接球、扣杀都展现出了高超的球技和顽强的拼搏精神，引得场边观众阵阵喝彩。经过1天的精彩角逐，各项目的前三名全部产生，比赛圆满落幕。

本次比赛由全重有机光电材料党支部精心策划、细心准备，从绘制海报到编制赛程，教工党员们付出了极大的耐心与热情，服务师生、践行模范做出了表率。比赛不仅给全重师生提供了一个展示自我的平台，也增进了全重师生之间的交流与友谊，大家不仅提高了乒乓球技术，更培养了顽强拼搏、团结协作的精神，以更加振奋的状态投入紧张的学习科研之中。

附：获奖名单

项目	奖项	姓名	项目	奖项	姓名
男单	冠军	李佳豪	女双	冠军	袁琳
	亚军	黄柏林			郭银春
	季军	李恒宇		亚军	梁萍
女单	冠军	梁萍		季军	孙张苛
	亚军	袁琳			刘礼菊
	季军	曾以桐		廖心如	
男双	冠军	李恒宇	混双	冠军	郭银春
		黄柏林			袁峰
	亚军	严剑锋		亚军	郭俊杰
		黄宇鹏			廖心如
	季军	杨国喜		季军	兰霞
		张凯为			吴祖铭

## 研究进展

### 发光理论与机制

胡斌教授团队：有机-无机杂化金属卤化钙钛矿的自旋轨道有序

#### 效应

本文介绍具备强自旋轨道耦合（SOC）的有机-无机杂化金属卤化物钙钛矿在发光（PL）、放大自发辐射（ASE）、光诱导磁性、圆偏振发光（CPL）和手性诱导自旋选择性（CISS）等方面表现出的显著影响。

华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室胡斌教授课题组，在探究 SOC 在钙钛矿发光中的作用机制研究中取得重要进展。通过理论计算和实验验证，揭示了 SOC 在钙钛矿发光特性中的关键作用，为光电器件研究提供了新的理论支持。

SOC 由轨道（ $L$ ）和自旋（ $S$ ）动量组成，导致 J 激子（ $J$  角动量量子数： $= L + S$ ）的形成，其本质上涉及轨道和自旋动量。一般来说，SOC 对 J 激子发光性质的影响有三个关键。首先，当 J 激子作为单个准粒子时，轨道和自旋动量的构型直接决定了亮态和暗态 J 激子的形成。第二，当 J 激子作为集体准粒子相互作用时，激子-激子的相互作用可以通过轨道和自旋动量发生。激子和激子通过轨道和自旋动量的相互作用产生了不同的发光性质，表现出 SOC 有序效应。第三，J 激子可以

通过激子-激子间相干相互作用产生 ASE，通过激子-螺旋有序效应产生 CPL。本文综述了有机-无机杂化金属钙钛矿对 PL、ASE、CPL、光诱导磁性、CISS 等的影响。

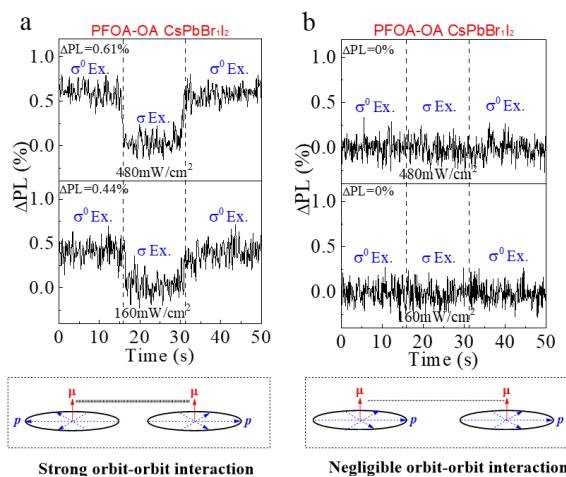


图 1：量子点经表面修饰后，其 PLQY 受激子-激子相互作用影响

图 1 表示通过表面修饰来控制量子点内部的激子-激子相互作用，可以增加钙钛矿量子点的 PLQY。结果表明，CsPbI<sub>1</sub>Br<sub>2</sub> 量子点的 PLQY 从 39% 提高到 72%。

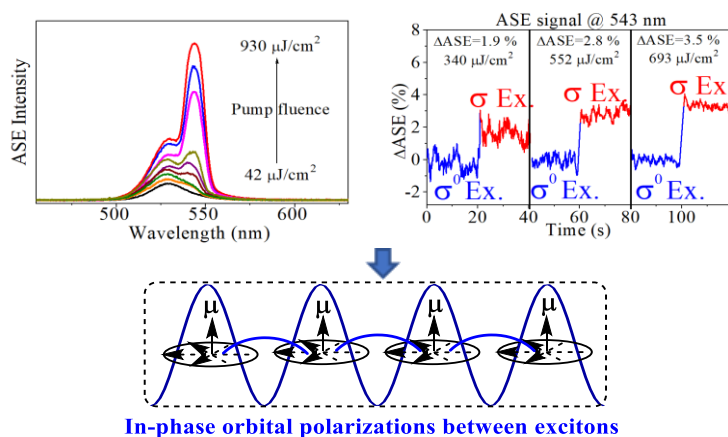


图 2：棒状 MAPbBr<sub>3</sub> ASE 效应受激子-激子相互作用效应影响及长程激子-激子相互作用示意图

图 2 中展示了棒状 MAPbBr<sub>3</sub> 具有 ASE 性质，用 343 nm 的线

偏振/圆偏振激光光源切换激发测量其 ASE,  $\Delta$  ASE 现象表明, 长程激子-激子相互作用是通过长程轨道极化发生的, 为发展相干发光行为提供了必要的条件。

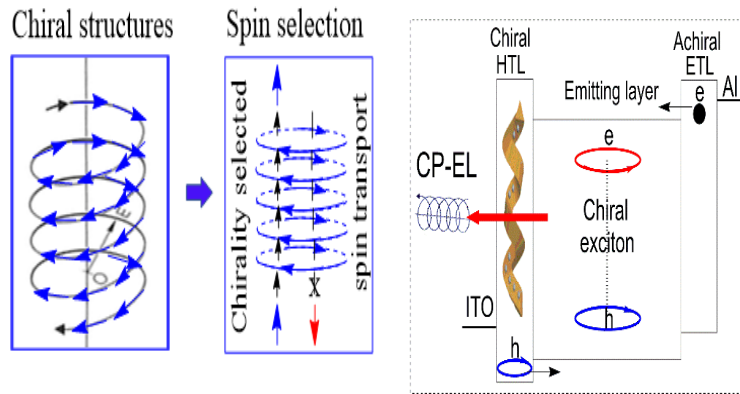


图 3: 手性诱导自旋选择: CCIS 原理图及 CISS LED 示意图; 利用手性结构空穴输运层 (HTL) 注入的圆极化空穴和来自非手性电子输运层 (ETL) 的非极化电子演示 CP-EL

图 3 中展示如 CP-EL 所示, 圆极化空穴与非极化电子的复合本质上可以形成圆极化激子。显然, CP-EL 证实了手性结构确实可以激活 CISS 现象。

相关研究成果以 “*Spin-Orbital Ordering Effects of Light Emission in Organic - Inorganic Hybrid Metal Halide Perovskites*” 为题发表在 *Advanced Materials* 上, 其中第一作者为柳力群博士, 田纳西大学唐翊彭为共同第一作者, 通讯作者为胡斌教授和马於光教授。该研究工作得到了中国广州科技计划项目的资助支持。

## 李远副研究员团队：基于芳香化草酸自由基的稳定电子自旋盘

有机自由基的稳定性在实际应用中至关重要。传统的有机自由基由于其开壳层的特性，通常表现出较高的热力学和动力学不稳定性。为了提高自由基的稳定性，研究者们通常引入电子吸引基团和空间位阻基团来降低自由基与空气中的氧气的反应性。然而，这些方法往往存在产率低和合成复杂的问题。因此，开发具有简单合成过程的稳定有机自由基具有重要意义。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的李远副研究员课题组，设计并合成了一种平面二维芳香草酸自由基（IDF-O<sub>8</sub>），具有稳定的电子自旋平面结构。IDF-O<sub>8</sub>在薄膜中表现出窄光学带隙（0.91 eV），并且在808 nm激光照射下粉末温度可达到147 °C，显示出优异的光热转换性能。该工作提供了一种高效的开壳电子自旋平面有机分子的合成路线，与传统的富勒烯、碳纳米管和石墨烯等材料不同，为未来设计电子自旋管或电子自旋球系统提供了新的思路。

传统的有机自由基由于其开壳层的特性，通常表现出较高的热力学和动力学不稳定性，难以在空气中稳定存在。此外，以往的稳定化策略往往导致合成过程复杂和产率低。该研究通过引入电子吸引的羰基基团，设计并合成了一种平面二维芳香草酸自由基 IDF-O<sub>8</sub>（图1），实现了在空气中稳定的自由基结构。IDF-O<sub>8</sub>的稳定性主要来源于其多重醌式共振结构以及聚集诱导的自由基效应，而不需要引入大的空间位阻基团来保护自由基。同时平面结构有利于分子间的  $\pi-\pi$  相互作用，进一步增强了自由基的

稳定性。在聚集状态下，IDF-0<sub>8</sub> 分子之间通过分子间自由基-自由基键形成“pancake bond”，这种相互作用进一步稳定了自由基结构。IDF-0<sub>8</sub> 在 808 nm 激光照射下表现出优异的光热转换性能，其粉末温度可达到 147 °C。这主要归因于其低光学带隙（0.91 eV）以及高效的非辐射跃迁行为，使得光能够有效地转化为热能。基于芳香化无机酸自由基的设计策略，电子自旋盘可以扩展到自旋管或自旋球体系（图 2）。

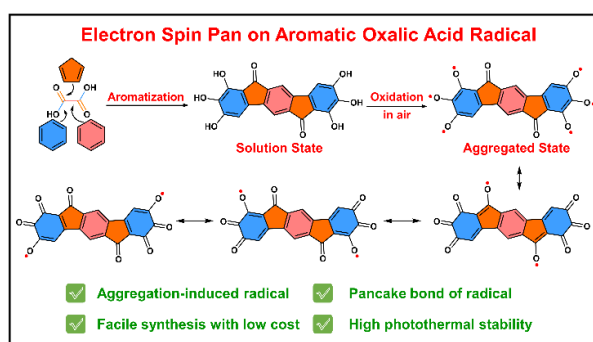


图 1. 芳香化草酸自由基 IDF-0<sub>8</sub> 的制备及共振结构

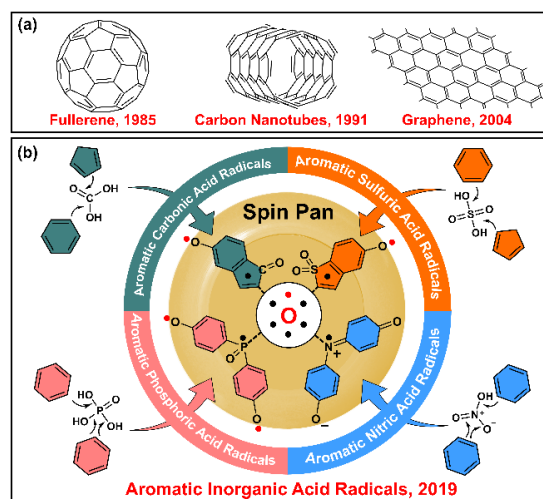


图 2. (a) 具有闭壳结构的富勒烯、碳纳米管和石墨烯 (b) 基于开壳电子基态的芳香化无机酸基的电子自旋盘设计策略  
相关研究成果以“*Stable Electron Spin Pan on Aromatic Oxalic Acid Radical*”为题发表在 *Chin. J. Chem.* 上，其中通

讯作者为李远副研究员，第一作者为黄嘉兴博士生。该研究工作得到了国家自然科学基金（22375065，51973063）的资助。

## 新型显示、探测与成像

苏仕健教授团队：用于高性能窄带电致发光与护眼照明的高效

### 三组分激基复合物

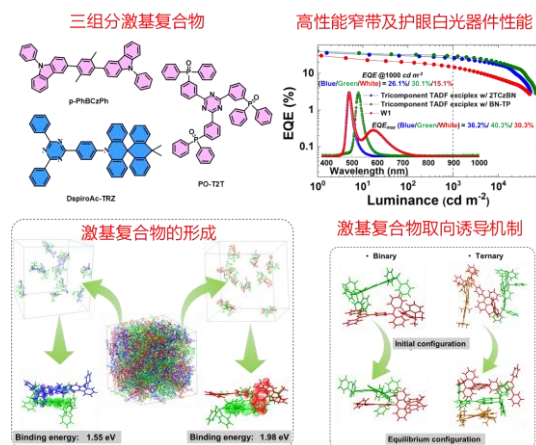
硼衍生的多重共振热活化延迟荧光(MR-TADF)材料兼具 100% 的激子利用和高的色纯度，在高清显示与护眼照明领域具有巨大的应用前景。但是这类材料的 $\Delta E_{ST}$  相对较大，通常表现出较低的反向系间窜越速率( $k_{RISC}$ )和长的激发态寿命，从而加剧 STA 和 TTA 过程，造成严重的效率滚降与短的操作寿命，因此，亟待提出有效的策略解决这一关键问题。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室苏仕健教授课题组提出并证明了一个具有多个 RISC 通道的高效三组分激基复合物，并将其用作主体以制备窄发射及白光 OLED 器件，实现了破纪录的高效、低滚降 MR-TADF OLED 及护眼白光器件，有望拓展 OLED 在高清显示及护眼照明领域的应用。

激基复合物是一种 CT 态的发射，其 HOMO 与 LUMO 分别局域在完全分离的 D 和 A 基团上，减少的电子-空穴波函数的重叠可实现一个极小的 $\Delta E_{ST}$ ，其高的  $k_{RISC}$  有助于提升三线态激子的利用。然而，传统的激基复合物仅有一个本征的 RISC 通道，限制了非辐射三线态激子的上转换。同时，高浓度的激基复合物作为主体很难抑制能量传递的不完全以及 DET 过程导致的三线态激子损

失。因此，本研究基于新设计的二元激基复合物 p-PhBCzPh: PO-T2T，并适当引入一个高水平偶极取向的 TADF 分子 (DspiroAc-TRZ)，开发了具有多个 RISC 通道的高水平取向的三组分激基复合物。该三组分激基复合物表现出高的水平偶极取向，且具有多个 RISC 通道，多组分材料的共存稀释了相互之间的浓度，有效抑制了激子的猝灭，且增加的 RISC 通道有助于提升 PLQY 以及 RISC 速率，所获激基复合物 OLED 的外量子效率突破 30%。

将上述激基复合物用作主体，进一步实现了高性能的窄带电致发光器件。得益于激基复合物抑制的激子猝灭，减少的终端客体激子捕获、缩短的激子寿命以及高的  $k_{\text{RISC}}$  等协同因素，实现了高性能的天蓝和绿光 MR-TADF OLED，其  $\text{CE}_{\text{max}}$  /  $\text{PE}_{\text{max}}$  /  $\text{EQE}_{\text{max}}$  分别可达  $65.9 \text{ cd A}^{-1}$  /  $82.7 \text{ lm W}^{-1}$  / 36.2% 和  $141.3 \text{ cd A}^{-1}$  /  $177.6 \text{ lm W}^{-1}$  / 40.3%，兼具低的启亮电压 (2.5 V) 以及超低的效率滚降 (@  $1000 \text{ cd m}^{-2}$ , EQEs 仍可达 26.1% 和 30.0%)。通过结合以三组分激基复合物为主体的蓝光发射单元和橙红色 TADF 发射单元，获得了  $\text{EQE}_{\text{max}}$  大于 30% 且 EL 光谱稳定的双发光层护眼白光 OLED。所提出的三元激基复合物复体主客体策略为开发高性能窄带和无蓝光危害的白光 OLED 提供了一种有价值的方法。



激基复合物所用分子结构，器件性能及分子动力学计算结果

相关研究成果以“*Highly Horizontal Oriented Tricomponent Exciplex Host with Multiple Reverse Intersystem Crossing Channels for High-Performance Narrowband Electroluminescence and Eye-Protection White Organic Light-Emitting Diodes*”为题发表在 *Advanced Materials* 上，其中通讯作者为苏仕健教授与李梦珂博士，第一作者为博士研究生刘邓辉。该研究工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金等科研项目的资助。

**应磊研究员团队：调控聚合物分子量分布抑制暗电流密度提升**

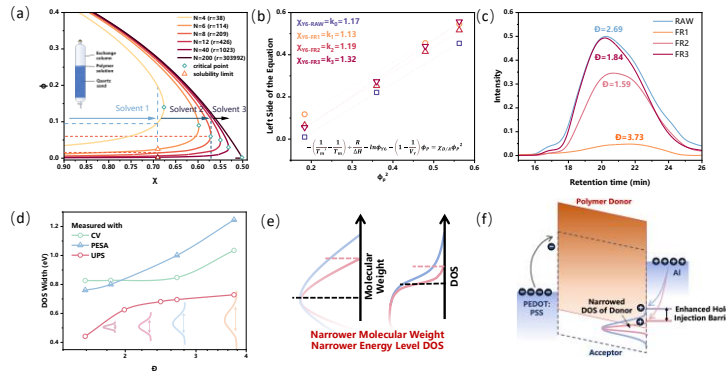
### 有机光探测器性能

有机光探测器 (OPD) 因其宽光谱响应、高吸收系数、低重量及可集成性，在下一代传感器领域展现出巨大潜力。然而，高暗电流密度限制了其探测性能。半导体聚合物的分子量及分子量分布 ( $\mathcal{D}$ ) 对其能级态密度有直接影响。因此通过经济可行的策略优化分子量和态密度分布，以降低暗电流密度，提高器件探测能力，是实现高性能 OPD 的重要挑战。

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溶液分级法 (DFC) 精确控制聚合物的分子量分布 ( $\mathcal{D}$ )，成功制备了窄分子量分布的半导体聚合物，并显著降低了 OPD 的暗电流密度至  $1.37 \times 10^{-11} \text{ A cm}^{-2}$ ，同时比探测率 ( $\mathcal{D}^*$ ) 提升至  $2.19 \times 10^{14} \text{ Jones}$ 。该研究揭示了分子量分布对陷阱态密

度、能带宽度及注入势垒的影响，为提升 OPD 性能提供了一种低成本、高效的策略。

有机半导体的光电性能受分子量 (MW) 及其分布 ( $\mathcal{D}$ ) 影响较大。高 MW 材料往往具有优异的电荷传输能力，但由于传统聚合物合成方法 (如金属催化聚合) 不可避免地引入侧链分支和链长变化，导致 MW 分布较宽 ( $\mathcal{D} > 2$ )，影响分子轨道能级分布，增加带尾态密度，从而提高暗电流密度并降低器件稳定性。缩小 MW 分布可以降低陷阱态密度，提高能带宽度，增加电荷注入势垒，从而显著降低暗电流密度，提高光探测性能。



(a) 聚合物体积分数与 Flory-Huggins 参数之间的依赖关系和溶液分级机理。(b) DSC 测定的不同分子量聚合物给体和 Y6 受体之间的 Flory-Huggins 参数。(c) 不同级分的 GPC 流出曲线和对应分子量宽度。(d) 不同方法测试的态密度宽度和分子量宽度之间的依赖关系。(e-f) 窄分子量聚合物抑制暗电流的机理示意图。

本研究采用溶液分级法 (DFC)，在不改变化学结构的前提下，实现对 MW 分布的精准调控。研究团队以自制聚合物 PTzBI-dF 为研究对象，采用 DFC 策略获得 MW 相近但  $\mathcal{D}$  更窄的聚合物组分。通过器件性能测试，研究发现，缩小 MW 分布可有效提高光探测器的电荷注入势垒、降低陷阱态密度，并优化光生载流子

的带间迁移，最终使得 OPD 的暗电流密度降低了 3 个数量级，探测度提升了 1 个数量级。此外，该策略的普适性得到了进一步验证。研究团队也采用 DFC 策略优化了其他常见供体聚合物，并观察到相似的性能提升，表明该方法适用于多种有机半导体材料。

本研究提出了一种低成本、可规模化的 MW 分布调控策略，利用 DFC 方法有效优化半导体聚合物的 MW 分布，提高 OPD 的稳定性和探测能力。这一突破不仅为高性能 OPD 的制备提供了新思路，同时也为解决有机半导体材料的批次稳定性问题提供了一种可行方案。

相关研究成果以 “*Suppressing the Dark Current Density of Organic Photodetectors by Narrowing the Molecular Weight Distribution*” 为题发表在 *Macromolecules* 上，其中通讯作者为应磊研究员，第一作者为罗轩昂博士生。

## 有机光伏材料与器件

### 实验室多团队合作：有机界面层诱导多重自组装形貌实现倒置

#### 有机太阳能电池性能大幅提升

阴极界面材料对于光电器件至关重要，使得高功函的阴极成为可能，从而避免钙、钡等水氧极度敏感的金属。研发适合于在空气中大面积印刷的阴极界面材料，以及深入理解界面调控机制具有重要意义。

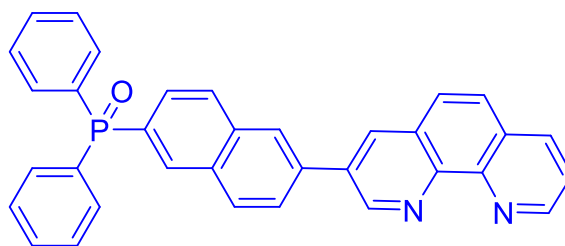


图 1

近日, 华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的何志才、朱旭辉、彭小彬教授合作, 利用 Phen-NaDPO (图 1) 的自组装特性, 实现了高效率倒装有机光伏器件, 深入揭示其界面修饰机制。

3-[6-(二苯基膦酰基)-2-萘基]-1,10-菲咯啉(Phen-NaDPO) 是一类知名的阴极界面材料 (谭婉怡、朱旭辉等, *Adv. Funct. Mater.* 2014, 24, 6540)。相对于传统的菲咯啉衍生物 BCP (bathocuproine) 和 BPhen (bathophenanthroline), Phen-NaDPO 的玻璃化转变温度达到 116 °C, HOMO/ LUMO 能级分别为 -6.10/-2.74 eV。其溶于弱极性溶剂 (例如甲苯) 和强极性溶剂 (例如异丙醇)。在活性层中引入 Phen-NaDPO, 利用 Phen-NaDPO 的自组装特性 (即其兼具高表面能和强配位能力), 一步法实现活性层和阴极界面层的印刷。相对于分步印刷活性层和 Phen-NaDPO, 一步法改善了活性层形貌, 提升倒装有机光伏器件的效率 (*J. Mater. Chem. A*, 2016, 4, 5032)。另外, Phen-NaDPO 有利于提升光伏器件的稳定性 (*Adv. Mater. Interfaces* 2019, 6, 1900434; *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1905810; *Mater. Today* 2022, 55, 46)。

何志才、朱旭辉、彭小彬教授合作, 在高效 PM6:D18:L8-BO 活性层体系中引入 Phen-NaDPO, 实现了 18.87% PCE 的自组装型倒装有机光伏器件 (ITO/SnO<sub>2</sub>/PM6:D18:L8-BO:Phen-

NaDPO/MoO<sub>3</sub>/Ag), 是基于 SnO<sub>2</sub> 界面材料有机太阳能电池的最高 PCE 之一, 并且进一步提高了器件的稳定性。值得指出的是, 通过 TOF-SIMS 和薄膜深度依赖的吸收光谱 (Film-depth-dependent light absorption) 等先进表征手段, 揭示 Phen-NaDPO 的自组装过程诱导了活性层中受体分子的垂直相分离, 从而提升有机光伏器件的光电转化效率。

另外, 研究团队利用溶液法生长出 Phen-NaDPO 的单晶, 并获得首例 Phen-NaDPO 的金属配合物单晶。X-射线单晶衍射结果有待发表。

相关研究成果以 “*Beyond Conventional Enhancements: Self-Organization of a Buffer Material on Tin Oxide as a Game-Changer for Improving the Performance of Inverted Organic Solar Cells*” 为题发表在 *Small* 上, 本成果由实验室化学合成团队和器件物理团队通过深入合作取得, 其中通讯作者依次为何志才、朱旭辉、彭小彬教授, 第一作者为吴济发博士生。该研究工作得到了 NSFC 和科技部重点研发计划等科研项目的资助。

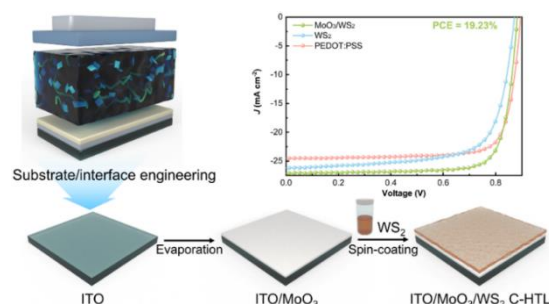
**何志才教授团队：吸附诱导空穴传输层实现效率超 19% 的稳定**

### **无 PEDOT 有机太阳能电池**

有机太阳能电池 (OSCs) 因其轻质、柔性和低成本的溶液加工特性而备受关注。然而, 进一步提升其光电转换效率 (PCE) 和稳定性仍面临挑战。空穴传输层在 OSCs 中起着关键作用, 常用的 PEDOT:PSS 空穴传输层因酸性腐蚀透明电极 ITO, 限制了器件

稳定性。因此，开发高性能、稳定的空穴传输层材料是实现高效 OSCs 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何志才教授课题组通过界面工程策略，利用二维二硫化钨 ( $\text{WS}_2$ ) 纳米



片自组装在氧化钼 ( $\text{MoO}_x$ ) 修饰的 ITO 基底上，构建了一种复合空穴传输层，实现了高效且稳定的有机太阳能电池。基于该结构的有机太阳能电池光电转换效率达到 19.23%，为无 PEDOT:PSS 的单结二元 OSCs 中的最高效率，并展现出优异的器件稳定性。

在有机太阳能电池中，空穴传输层与基底之间的界面接触质量直接影响电荷传输效率和器件稳定性。然而，传统  $\text{WS}_2$  空穴传输层与 ITO 基底之间的弱范德华力限制了电荷传输效率，导致器件性能欠佳。为此，何志才教授课题组提出了一种界面工程策略，在 ITO 基底上预先沉积一层  $\text{MoO}_x$  薄膜，利用其高表面能促进  $\text{WS}_2$  纳米片的均匀自组装，形成复合空穴传输层 (C-HTL)。研究表明， $\text{MoO}_x$  与  $\text{WS}_2$  之间通过 S-O-Mo 键形成了强电子耦合，显著增强了界面接触的稳定性和电荷传输能力。基于 D18:L8-B0 体系的有机太阳能电池在采用 C-HTL 后，光电转换效率达到 19.23%，开路电压为 0.895 V，短路电流密度为  $26.42 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ，填充因子为 81.31%。此外，该器件在氮气氛围中存储 840 小时后，效率仍保持在 94%，显著优于基于纯  $\text{WS}_2$  和 PEDOT:PSS 的器件。这种界面

工程策略不仅优化了电荷传输路径，还提升了器件的长期稳定性，为高性能有机太阳能电池的开发提供了新的思路。

相关研究成果以“*Chemisorption-Induced Robust and Homogeneous Tungsten Disulfide Interlayer Enables Stable PEDOT-Free Organic Solar Cells with Over 19% Efficiency*”为题发表在 *Nano Letters* 上，其中通讯作者为何志才教授，第一作者为课题组硕士生马小惠。该研究工作得到了国家自然科学基金（52394273 和 52373179）和广东省国际科技合作基金（2020A0505100002）等科研项目的资助。

## 何志才教授团队：配体官能化的 MXenes 作为有机太阳能电池的 阳极和阴极界面

有机太阳能电池（OSCs）中界面层的选择要考虑到与活性层的能级匹配及其电荷迁移率。考虑到传统有机界面材料普遍存在功函数难以调节和迁移率低的问题，开发兼具可调能级和高电荷迁移率的新型界面材料迫在眉睫。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的何志才教授课题组以具有优异电荷传输能力的  $Ti_3C_2T_x$  MXenes 材料为基础界面层，采用 O-封端和  $NH_2$ -封端策略，实现了具有可调功函数的两性界面，可分别用于 OSCs 的空穴传输层（O-MQD HTL）和电子传输层（E-MQD ETL）。研究发现，表面封端和  $Ti_3C_2T_x$  基质之间的强电子耦合相互作用使得 O-MQD HTL 和 E-MQD ETL 具有可调的功函数和令人满意的导电性。结果显示，在二元 D18:L8-BO 体系中，基于 O-MQD HTL 的正置 OSCs 和基于 E-MQD ETL 的倒

置 OSCs 的光电转换效率 (PCE) 分别高达 18.75% 和 18.15%。更重要的是, 本研究开发出的界面还可推广到其它有机光电器件中。在有机光电探测器中 (OPDs), 与使用传统电荷传输层的器件相比, 采用 E-MQD ETL 和 O-MQD HTL 的 OPDs 具有更高的比探测率, 分别为  $1.24 \times 10^{13}$  和  $1.10 \times 10^{13}$  Jones。这一研究为设计用于有机光电器件的多功能高效界面提供了重要技术突破。

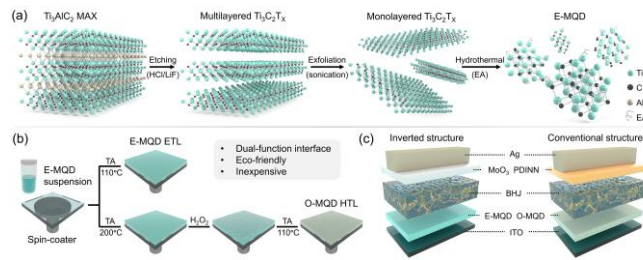


图 1 (a) E-MQD 的制备; (b) E-MQD ETL 和 O-MQD HTL 的制备; (c) OSCs 器件结构

如图 1a 所示, 配体封端  $Ti_3C_2T_x$  的制备是通过在特定反应温度下对剥离的单一层  $Ti_3C_2T_x$  MXenes 纳米片进行水热切割制备的。然而, 没有特殊表面功能化的始  $Ti_3C_2T_x$  的本征功函数范围为 4.4–4.8 eV, 这并不能适用于 OSCs 器件中的界面层。为了调控  $Ti_3C_2T_x$  的电子结构, 用乙醇胺 (EA) 分子共价官能化  $Ti_3C_2T_x$  表面, 得到了  $NH_2$  封端的 E-MQD。随后, E-MQD 薄膜经过热退火和  $H_2O_2$  处理, 将  $NH_2$  转化为 O, 得到的 O-MQD。

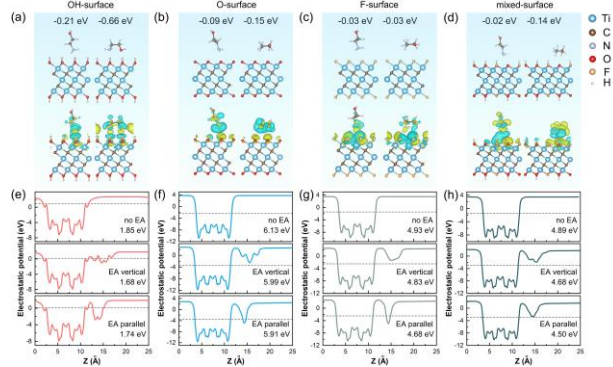


图 2 EA 分子沿垂直和平行方向在 a) - OH、b) - O、c) - F 和

d) -O/-OH/-F 混合封端的 MQD 表面上的吸附能和差分电荷密度。EA 分子沿垂直和平行方向在 e) -OH、f) -O、g) -F 和 h) -O/-OH/-F 混合封端的 MQD 表面上的静电势计算结果

通过 DFT 计算，探究了 MQD 表面封端分子结合形状和界面相互作用机制。由于 MXenes 在化学蚀刻过程中，表面会自然发生官能化，空白 MQD 被认为具有四种表面封端，即 -O、-OH、-F 或 -O/-OH/-F 混合封端。如图 2 所示，EA 分子在 OH 封端表面具有较大的吸附能，表明 EA 分子可能与表面的 OH 通过氢键作用结合在 MQD 表面。当 EA 分子以水平方向结合在表面后，E-MQD 的功函数降至 4.50 eV。此外，O 封端的 MQD 的功函数达到了相当高的 6.13 eV。因此，可以预计具有适量封端的 E-MQD 和 O-MQD 将具有适当的功函数，可分别用作 ETL 和 HTL。

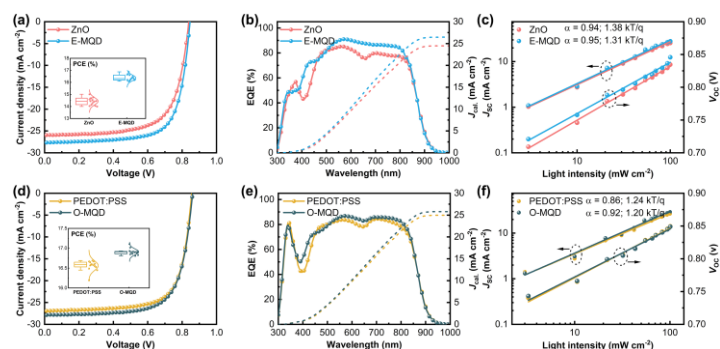


图 3 采用 ZnO 和 E-MQD ETL 的倒置器件的 a)  $J-V$  曲线, b) EQE 光谱和 c)  $J_{sc}$  和  $V_{oc}$  的光强依赖性; 采用 PEDOT:PSS 和 O-MQD HTL 的正置器件的 d)  $J-V$  曲线, e) EQE 光谱和 f)  $J_{sc}$  和  $V_{oc}$  的光强依赖性

相关研究成果以 “*Ligand-Triggered MXene Quantum Dots with Tunable Work Function as Anode and Cathode Interlayers for Organic Solar Cells*” 为题发表在 *Solar RRL*

上，其中通讯作者为何志才教授，第一作者为李涛博士研究生。该研究工作得到了中华人民共和国科学技术部（2023YFE0208500）、广东省国际科技合作基金（项目编号2020A0505100002）、广州市应用基础研究计划项目（2023A04J1696）以及 111 项目（项目编号 BP0618009）的资助。

## 应磊研究员团队：调控本体异质结溶液中聚合物临界浓度提高有机光伏效率

有机光伏（OPV）因其轻质、柔性和溶液可加工性备受关注，但给体聚合物的批次不稳定性阻碍了其规模化应用。精准调控不同分子量组分的聚集行为对提升 OPV 性能至关重要。

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利用聚合物溶液的临界浓度（ $c^*$ ）调控策略，实现了对给体聚合物的聚集行为精确控制，从而提升有机光伏器件效率。该研究揭示了低分子量组分的  $c^*$  在混合分子量溶液中的作用，并建立了  $c^*$  对 PCE 的指导作用，为高性能有机光伏的规模化制备提供了新的思路。

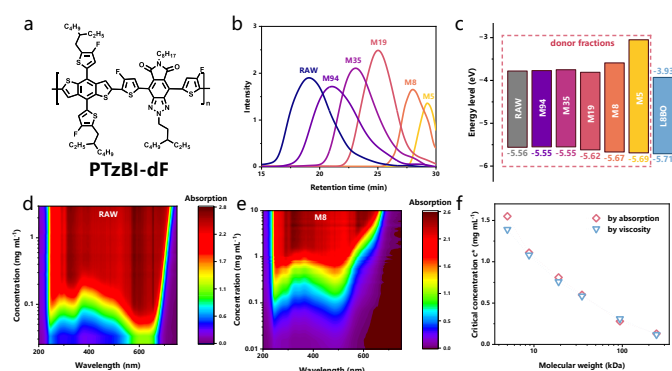


图 1. (a) 给体聚合物 PTzBI-dF 的化学结构。(b) 用分级方法制

备的低分子量级分的 GPC 洗脱曲线。(c) 给体聚合物组分和受体 L8B0 的能级排列。(d) (e) 不同浓度、不同分子量聚合物溶液紫外-可见吸收光谱的依赖关系。(f) 分别用吸收法和粘度法测定具有不同分子量的级分的临界浓度 ( $c^*$ )。

本研究基于 Flory-Huggins 理论，提出以  $c^*$  为关键调控参数，优化不同分子量给体聚合物的混合比例及聚集行为。研究发现，低分子量组分的  $c^*$  可以有效预测其在混合分子量溶液中的聚集行为，并直接影响最终光伏器件的聚集。低分子量组分的  $c^*$ ，可以有效指导分子量混合比例的选择，从而规避过度聚集问题。

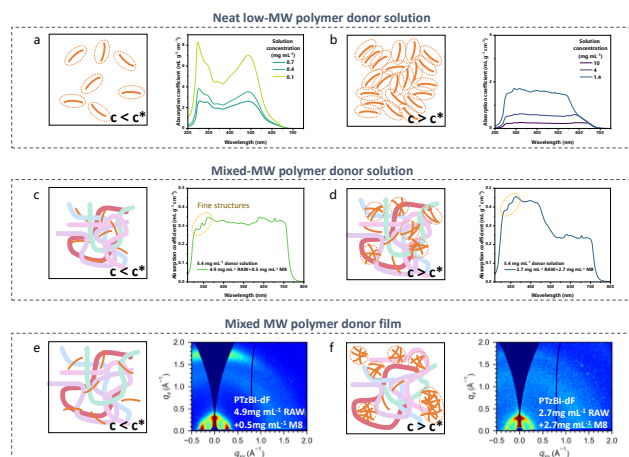


图 2. 浓度 (a) 低于  $c^*$  和 (b) 超过  $c^*$  的纯低分子量聚合物给体 (M8) 氯仿溶液的链重叠示意图和吸收系数图。级分 M8 浓度 (c) 低于  $c^*$  和 (d) 超过  $c^*$  的混合分子量聚合物给体氯仿溶液的链聚集示意图和吸收系数图。级分 M8 浓度 (e) 低于  $c^*$  和 (f) 超过  $c^*$  的薄膜的链聚集示意图和 GIWAXS 图像。

实验中，研究团队采用自主合成的给体聚合物 PTzBI-dF，并通过溶剂分级法获得不同分子量的聚合物组分。利用浓度依赖的吸收光谱测量其  $c^*$ ，并在不同  $c^*$  调控条件下制备光伏器件。结果表明，在  $c^*$  最优条件下，PTzBI-dF:L8B0 体系的 PCE 达到了

19.1%。此外，该方法在其他常见给体聚合物（如 PM6、D18）体系中同样表现出显著的效率提升，验证了该策略的普适性。

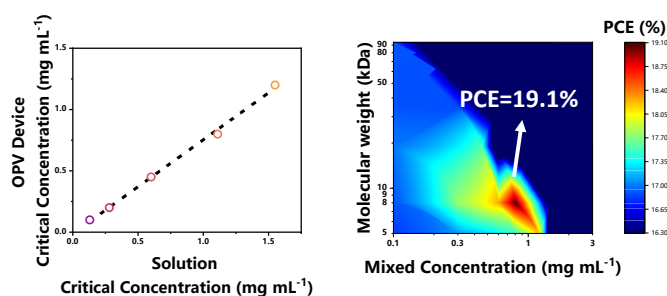


图 3. 溶液临界浓度和器件临界浓度之间的关系。PCE 对混合低分子量组分分子量大小和低分子量组分混合浓度的依赖性。

本研究提出了一种基于热力学原理的聚合物分子量混合调控策略，利用简便的光谱测量手段，即可精准预测聚合物的最优混合比例，从而减少试验成本，提升 OPV 的规模化制备可行性。这一突破为克服光伏聚合物的批次稳定性问题提供了直接可行的解决方案。

相关研究成果以 “*Improving Efficiency of Organic Photovoltaics by Manipulating Critical Concentration of Polymer in Bulk-Heterojunction Solution*” 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。

### 应磊研究员团队：通过“有机-共轭双网络”形貌研究可拉伸有机光伏器件的性能增强机理

可拉伸高分子光电器件是基于共轭高分子的独特器件，具备在承受机械应变时仍能维持其光电性能的能力，在可穿戴电子、

可拉伸显示等领域展现出广阔的应用潜力。但可拉伸有机太阳能电池的发展仍面临着挑战，对光伏活性层在拉伸过程中的形貌演变与效率之间关系的理解还有欠缺。

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和钟文楷副教授，通过物理共混热塑性弹性体，力求达到光伏性能和拉伸性能的平衡，并且利用 X 射线分析等手段对形貌进行详细的研究，提出了有机光伏活性层结构中的“有机-共轭双网络”形貌的结构，对可拉伸有机光伏器件在拉伸过程中的性能增强机理和失效分析有重要意义。

该工作选取高效全聚合物体系 PTzBI-oF:PYIT，通过物理共混加入热塑性弹性体乙烯和醋酸乙烯共聚物 EVA，它在紫外-可见-近红外光谱范围内具有高的透明度和更强的抗紫外线能力。制备了 ITO/PEDOT:PSS/active layer/PFNDI-F3N/Ag 的器件结构测试了 PTzBI-oF:PYIT:EVA 混合活性层的光伏性能。PTzBI-oF:PYIT 全聚合物的 PCE 达到 17.85%。随着 EVA 比例增加到 15% 时，混合薄膜在机械性能和光伏性能之间取得了最佳平衡，PCE 保持在 15.28%，COS 提升到 17.23%。

论文使用 AFM、TEM、AFM-IR 和 RSOXS 研究了混合薄膜的相分离形态。共轭聚合物网络与 EVA 网络的重叠形成了共轭和弹性双网络形态。共轭网络和 D/A 纤维可保持电荷在中尺度上的高效生成和传输。EVA 相互连接的颗粒状结构域有助于消散外加应力。这两个网络并不是独立的，它们通过界面上的附加链相互连接，AFM-IR 可以证明这一点。因此，双网络形态有助于平衡机械性能和 OPV 性能。

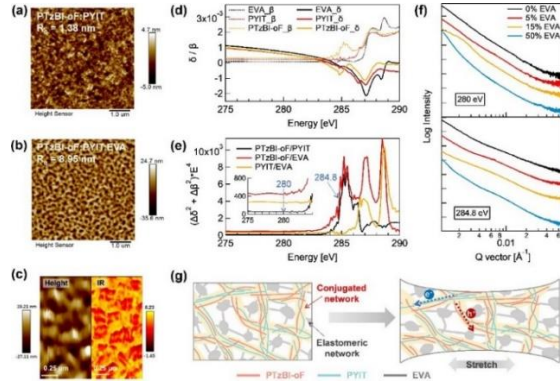


图 1. 薄膜形貌分析

为了评估双网络形貌对 OPV 性能的影响，制作了 TPU/M-PH1000/PEDOT:PSS/active layer/PFNDI-F3N/EGaIn@Ag 结构的本征可拉伸器件，如图 2a 所示。比较了由 PTzBI-oF:PYIT 和 PTzBI-oF:PYIT:15% EVA 活性层制备的器件(图 2b)。含有 15%EVA 时，在 30%应变下保持了初始值的 81.5%PCE。另外，通过相对于拉伸方向的不同方向的 X 射线束进行 GIWAXS 测试。PYIT 信号反射的峰面积和晶体相干长度在拉伸过程中保持不变，表明拉伸中没有发生重新取向（图 5e）。因此，双网络形态有助于保持共轭聚合物结晶堆积的完整性。

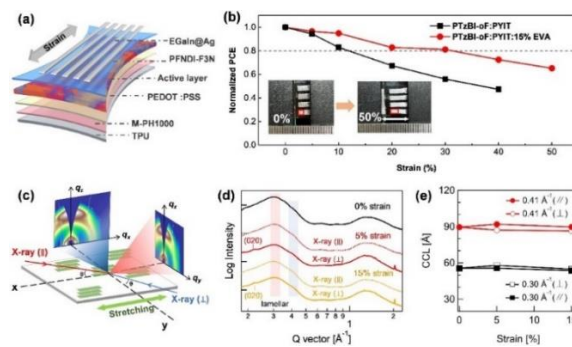


图 2. 本征可拉伸器件结构及应变下的效率测试

最后，该研究为通过控制复杂的薄膜形态实现高效率和优异机械性能的 OPV 薄膜提供了独特的理解。EVA 弹性网络有助于承受外加应力，保护共轭网络免受大的破坏。共轭和弹性双网络的

综合优势使其成为开发高性能可拉伸 OPV 的一种可行的方法。

相关研究成果以 “*Achieving Efficient Intrinsically Stretchable Organic Photovoltaics with a Conjugated and Elastomeric Dual-Network Morphology*” 为题发表在材料领域期刊《*Advanced Materials*》上，其中通讯作者为应磊研究员和钟文楷副教授，第一作者为硕士生杨雯钰。

### 应磊研究员团队：通过环烷氧化优化聚合物空穴传输材料，以获得高效的钙钛矿太阳能电池

在反式钙钛矿太阳能电池中，空穴传输材料在改变钙钛矿晶体质量、空穴传输提取等方面起着关键作用。其中聚合物空穴传输材料具有优异的成膜性和稳定性，便于大规模生产制造。但常见的聚[双(4-苯基)(2,4,6-三甲基苯基)胺](PTAA)的极性低、缺少钝化基团、能级不匹配等缺点限制了其在反式钙钛矿太阳能电池的应用。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的应磊研究员课题组设计并合成了两种新型聚合物空穴传输材料 PTAA05 和 PTAA06，通过调控烷氧环基团有效钝化钙钛矿下界面缺陷、延长共轭长度和改善能级排列，起到了一石三鸟的作用，其中基于空穴传输材料 PTAA06 的钙钛矿太阳能电池获得了 25.19% 的光电转换效率，这是当时基于新型聚合物空穴传输材料的反式钙钛矿太阳能电池的最高效率，并为设计高性能钙钛矿太阳能电池提供了重要的方法。

本工作经理论计算发现，当烷氧环上的 C-O 键角为  $125^\circ$  时

聚合物的构象最稳定，基于此结果设计并合成了两种烷氧环修饰的空穴传输材料 PTAA05 和 PTAA06，其 C-O 键角分别为  $118^\circ$  和  $128^\circ$ 。与没有烷氧环修饰的对照聚合物 PTAA 相比，PTAA05 和 PTAA06 表现出更深的 HOMO 能级、更高的空穴迁移率。更重要地是，通过 X 射线能谱测试和接触角测试发现 PTAA06 中的 O 原子能够有效钝化钙钛矿埋底界面的空位缺陷，同时 PTAA06 更大的极性增加钙钛矿前驱体溶液的润湿性，从而促进钙钛矿生长结晶减少埋底孔洞。基于 PTAA06 空穴传输层的反式钙钛矿太阳电池能量转换效率达到 25.19%。此外，使用 PTAA06 空穴传输层的电池器件在  $85^\circ\text{C}$  和 85% RH 下储存 1000 h 的光电转换效率衰减小于 5%，在  $65^\circ\text{C}$  和 50% RH 下一个太阳光连续工作 1000 h 的光电转换效率衰减小于 10%。这些结果表明 PTAA06 作为聚合物空穴传输材料在提升反式钙钛矿太阳电池的效率 and 器件稳定性方面具有不可比拟的优势。

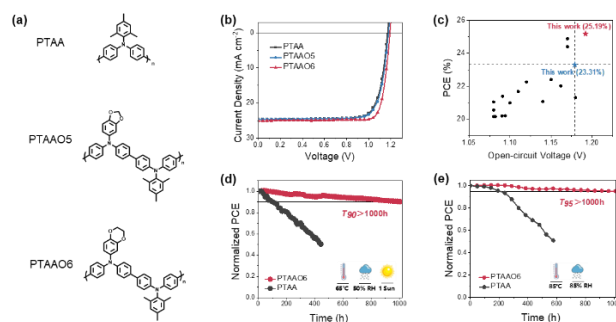


图 (a) 聚合物空穴传输材料的结构式；(b) 不同聚合物空穴传输材料的钙钛矿太阳电池器件 J-V 曲线；(c) 基于聚合物空穴传输材料的反式钙钛矿太阳电池效率统计图；(d) 在  $65^\circ\text{C}$  和 50% RH 下一个太阳光连续工作下的钙钛矿太阳电池器件稳定性；(e) 在  $85^\circ\text{C}$  和 85% RH 下的钙钛矿太阳电池器件稳定性。

相关研究成果以 “*Optimizing Conjugation of Polymer*

*Hole Transport Materials via Cyclic Alkoxylation for Highly Efficient and Stable Perovskite Solar Cells*”为题发表在 *Advanced Energy Materials* 上，其中通讯作者为应磊研究员，第一作者为尹森博士生。该研究工作得到了 No. 2022YFB3602800, No. U23A2092, No. 2023B1515040026, No. 2023ZYGXZR097 等科研项目的资助。

**应磊研究员团队：降低空穴传输聚合物的能量无序性提升钙钛**

### **矿太阳能电池效率**

钙钛矿太阳能电池 (PSC) 的性能受空穴传输层 (HTL) 的影响，其中溶液可加工的聚合物 HTL 因其良好的光电特性和长期稳定性备受关注。然而，无定型聚合物 HTL 的能量无序性会导致载流子传输受限，增大器件能量损失。降低能量无序度可减少陷阱态密度，优化能级匹配，并提升电荷提取效率。

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团队在 *Small* 期刊发表研究，通过降低 HTL 的能量无序度，显著提升了 PSC 的性能。研究团队设计了一种新型低能量无序度聚合物 PF8ICz， $\pi$  共轭扩展有效减少了主链结构弛豫，降低了能级波动。PF8ICz 在 PSC 中展现出优异的载流子输运能力、增强的钙钛矿亲和力/界面钝化效应，以及更合适的能级匹配，有效提升了器件的电荷提取效率和薄膜结晶质量。

研究团队设计的 PF8ICz 采用对称 ICz 单元，其较低的结构弛豫和稳定的几何构型减少了分子链的能级波动。理论计算表明，PF8ICz 主链扭转势垒较高，有助于保持较好的平面性和

共轭性，从而降低能量无序度，提高载流子迁移率。

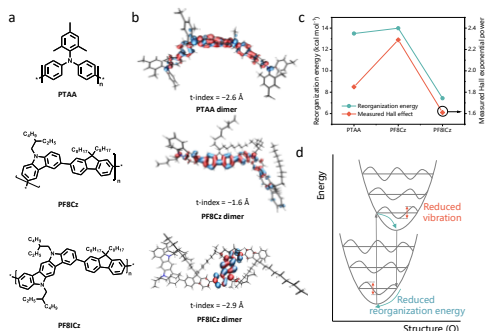


图 1 不同结构聚合物空穴传输材料的弛豫

分子动力学模拟和态密度分析表明，PF8ICz 具有最低的能量无序度，其陷阱态密度和态密度带尾均明显低于 PTAA 和 PF8Cz。结果表明，PF8ICz 提供了更稳定的电荷传输路径，提高了电荷提取效率。

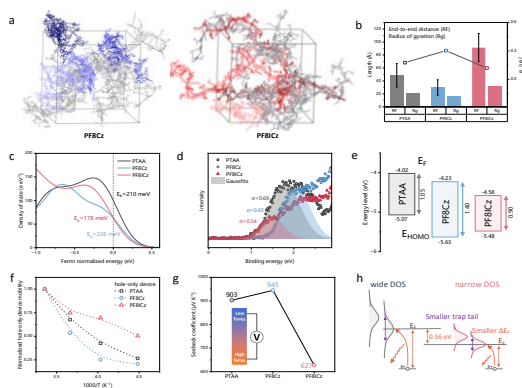


图 2 聚合物空穴传输材料的能量无序

分子模拟计算表明，PF8ICz 对钙钛矿层的吸附能最高，显著高于 PTAA 和 PF8Cz，增强了聚合物与钙钛矿的相互作用，提高钝化效果，减少界面载流子复合，并优化钙钛矿结晶质量。

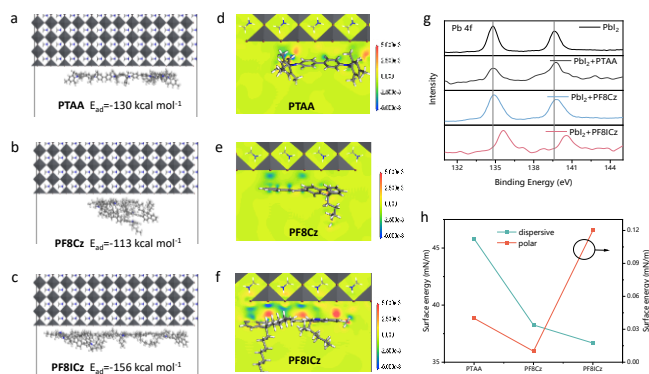


图 3 不同聚合物空穴传输材料对钙钛矿的亲/钝化作用

PF8ICz 空穴传输层上的钙钛矿薄膜表现出较大晶粒和更少小颗粒，表明其结晶质量优异。PLQY 测试显示，PF8ICz 钙钛矿层的 PLQY 为 24.3%，明显高于 PTAA 和 PF8Cz。TRPL 测试表明，PF8ICz 钙钛矿层的激子寿命更长，表明其电荷传输效率更高，载流子复合损失更低。

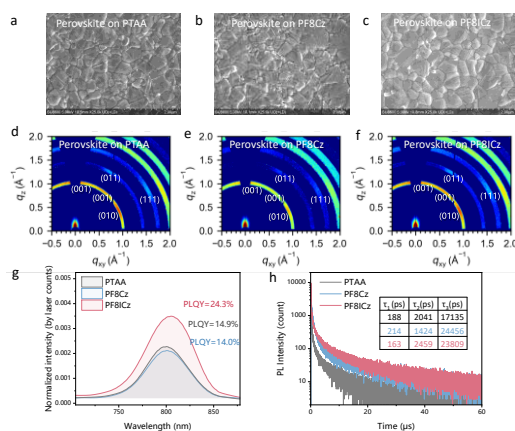


图 4 不同聚合物空穴传输材料上制备的钙钛矿层结晶质量

基于 PF8ICz 的 PSC 光电转换效率高达 25.4%，远高于 PTAA (23.3%) 和 PF8Cz (22.0%)。其中，PF8ICz 太阳能电池的开路电压达 1.19V，短路电流密度达 25.31 mA/cm<sup>2</sup>，填充因子达 84.33%。此外，PSC 在 ISOS-D-3 和 ISOS-L-3 测试下，1000 小时后仍保持 96.2% 和 95.0% 的优异长期稳定性。

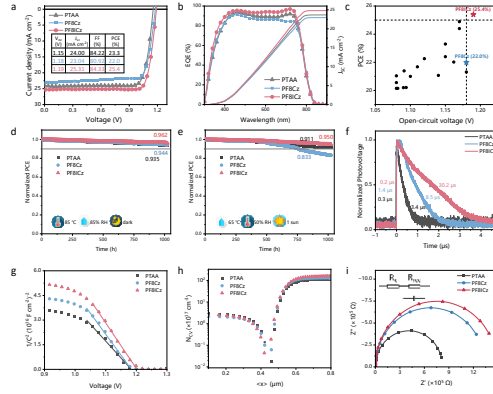


图 5 使用不同聚合物空穴传输层的钙钛矿太阳电池器件表现

相关研究成果以 “*Improving Performance of Perovskite Solar Cells by Reducing Energetic Disorder of Hole Transport Polymer*” 为题发表在 *Small* 期刊上，通讯作者为应磊研究员，第一作者为罗轩昂博士生。

### 黄飞教授团队：通过互连层工程实现高性能和稳定的钙钛矿/有机叠层太阳能电池

太阳能电池在新能源领域具有重要意义。有机太阳能电池和钙钛矿太阳能电池（PSCs）具有成本低、柔性好、重量轻、可溶液加工等突出特性，可通过大面积溶液加工制备，显示出其在实际应用中的巨大潜力。另一方面，钙钛矿/有机叠层太阳能电池能够通过对太阳光谱的选择性吸收减少损耗，从而获得更高的理论效率极限。在叠层电池中，互连层起到非常关键的作用。然而，当两个子电池的载流子传输不平衡时，互连层往往会产生损耗，降低叠层器件的整体性能。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室黄飞教授、张凯教授团队在这一领域取得了重要突破。他们设计了一种

新的互连层结构，成功解决了载流子失衡带来的损耗问题。

本研究介绍了一种有效的互连层优化策略，即使用自组装单分子层材料 2PACz 来改性互连层中的空穴传输层 PEDOT:PSS。这种方法可以改善载流子提取，促进载流子从有机层向互连层的传输，从而促进来自两个子电池的载流子平衡。2PACz 在 PEDOT:PSS 上的覆盖状态对互连层的性能有重大影响，这可以通过 2PACz 溶液的浓度来调节。这种方法还能使 PEDOT:PSS 更薄，减少寄生吸收。此外，2PACz 层还能保护 BHJ 不受酸性 PEDOT:PSS 的腐蚀，从而提高稳定性。因此，基于这种结构的叠层器件并实现了 25.26% 的光电转换效率，远高于对照器件（未经 2PACz 修饰的光电转换效率为 23.57%），而且稳定性更好，这表明互连层优化策略在提高叠层太阳能电池效率和稳定性方面具有巨大潜力。

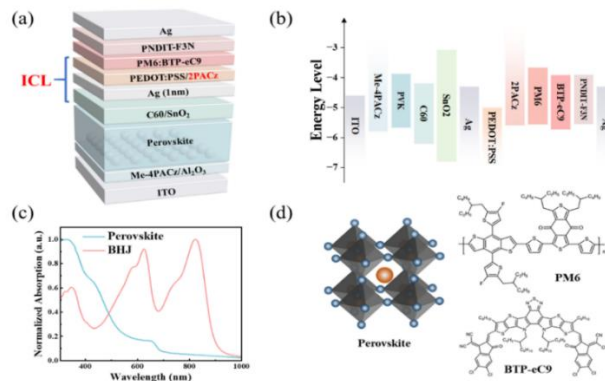


图 1 器件结构及吸收层材料

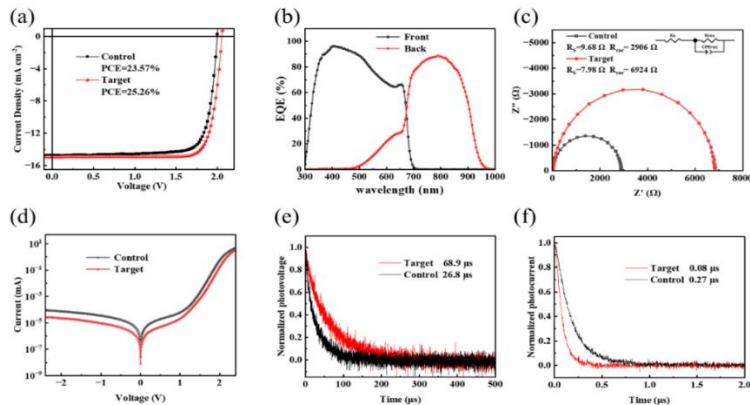


图 2 叠层器件性能及表征

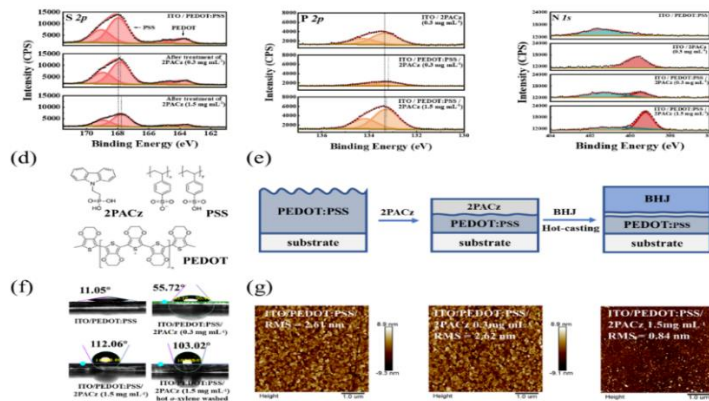


图 3 PEDOT:PSS/2PACz 结构表征

相关研究成果以“*High Performance and Stable Perovskite/Organic Tandem Solar Cells Enabled by Interconnecting Layer Engineering*”为题发表在《*ACS Nano*》期刊上，其中通讯作者为黄飞教授，张凯教授，第一作者为刘松涛博士生。该研究工作得到了国家自然科学基金（52122307，52373180）的支持。

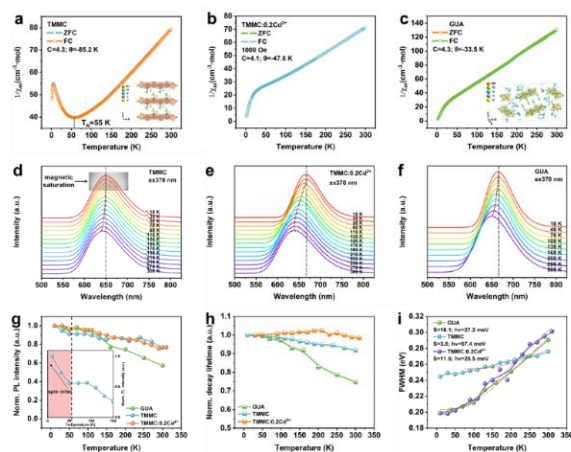
## 无机发光与光纤激光

叶柿教授团队：一维锰卤化物 自旋反铁磁有序排列抑制能量  
迁移实现高效发光

过渡金属离子电子自旋间的相互作用可以影响这类材料的发光性质，是一种新调控策略，在照明显示用发光材料、自旋-光子学具有潜在应用。早期在  $Mn^{2+}$  掺杂的半导体材料中证实光可以诱导材料激子自发磁化，进而调控半导体中激子和  $Mn^{2+}$  的光致

发光行为。近年研究表明  $Mn^{2+}$ - $Mn^{2+}$  自旋交换作用可以有效缩短  $Mn^{2+}$  的发光寿命，可缓解  $Mn^{2+}$  掺杂发光材料在高通量密度光子激发下的发光饱和现象。同时， $Mn^{2+}$ - $Mn^{2+}$  自旋交换作用要求较高  $Mn^{2+}$  掺杂浓度和较短的  $Mn^{2+}$  离子间距，这使得激发光能量易于迁移至猝灭中心导致  $Mn^{2+}$  发光猝灭，严重阻碍了这类材料的应用。

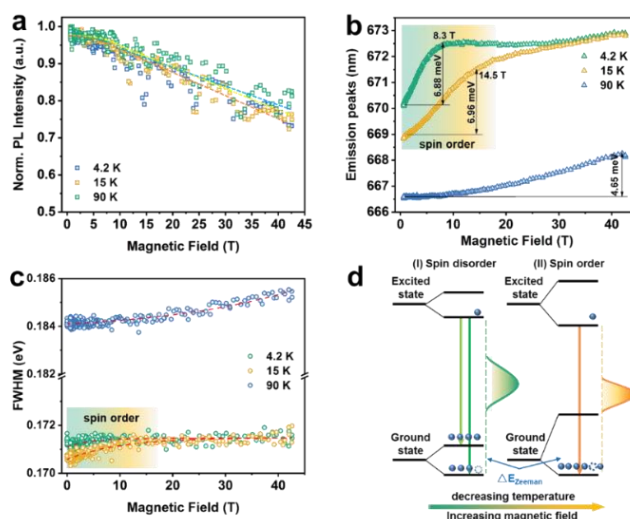
近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室的叶柿教授课题组和华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心韩一波教授以及桂林理工大学尹从岭研究员合作，利用变温光致发光和磁光光谱阐明了含一维  $MnCl_6$  链的金属卤化物杂化材料  $(CH_3)_4NMnCl_3$  (TMMC) 中自旋有序排列对激发光能量迁移的影响。该研究以具有孤立  $[Mn_3Cl_{12}]^{6-}$  三聚体的  $(CH_6N_3)_2MnCl_4$  (GUA) 和掺  $Cd^{2+}$  的 TMMC 为参照组，揭示  $Mn^{2+}$  自旋反铁磁有序排列对  $Mn^{2+}$  离子间能量迁移具有明显的抑制作用，可以减少  $Mn^{2+}$  的无辐射跃迁损耗，提高材料发光效率。



### TMMC、TMMC:0.2Cd<sup>2+</sup>和 GUA 的变温磁化率及荧光光谱

实验表明 TMMC 在约 55 K 发生反铁磁自旋有序转变。强自旋交换作用所产生的内磁场使 TMMC 在低于 55 K 下发生自发磁化，此过程在  $Mn^{2+}$  发光行为中表现为发光峰位在自发磁化温区内不发

生红移，即发生磁饱和。磁光光谱显示这种有序的自旋排列显著地影响  $Mn^{2+}$  发射能级及其辐射跃迁速率。结果表明自旋长程有序有效地抑制了  $Mn^{2+}$  离子之间的能量迁移，降低非辐射跃迁损失，使 TMMC 表现出良好的发光热稳定性，即使在室温下仍保持高达 94% 的量子产率。



### TMMC 的磁场响应发光行为

在 TMMC 中  $Mn^{2+}$  自旋沿一维链反平行排列有效抑制了  $Mn^{2+}$  间的能量迁移和多声子弛豫，从而减少了非辐射跃迁损失，提高  $Mn^{2+}$  的光致发光效率。本研究为开发用于光电器件和自旋-光子学领域的高性能  $Mn^{2+}$  发光材料提供一种新策略，并为操控这些材料中的自旋与能量迁移提供一些参考。

相关研究成果以 “*Suppressing energy migration via antiparallel spin alignment in one-dimensional  $Mn^{2+}$  halide magnets with high luminescence efficiency*” 为题发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，其中通讯作者为叶柿教授，第一作者为朱兴路博士生。该研究工作得到了 NSFC (Grant No. 52272150, 51772104, 11974126) 等

科研项目的资助。

## 前沿交叉

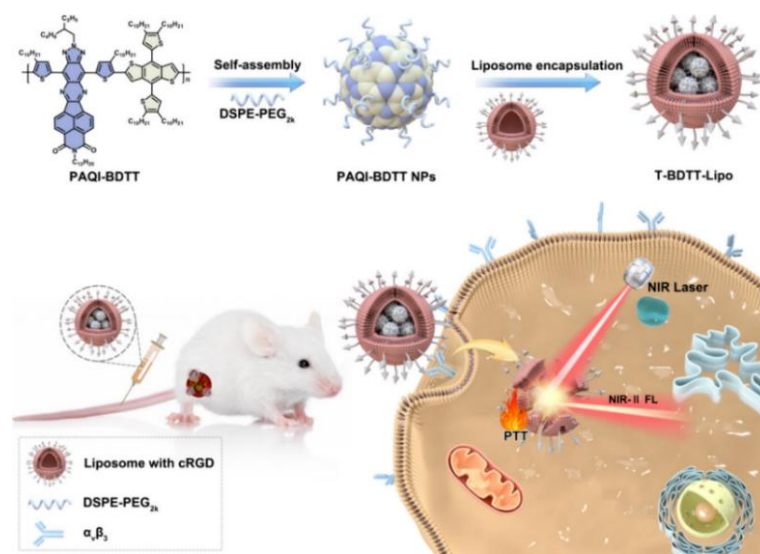
### 应磊研究员团队：靶向递送基于喹喔啉的半导体聚合物用于肿瘤光热治疗

光热疗法 (PTT) 因其高特异性和低侵入性而在癌症治疗领域具有巨大潜力。然而，低光热转换效率、肿瘤积累不足和细胞摄取有限继续阻碍 PTT 治疗肿瘤的有效性。喹喔啉单元具有弱电子接受平面  $\pi$  共轭框架，被广泛用于开发应用于光疗的 D-A 型共聚物。因此，我们合成了一种基于喹喔啉衍生物的半导体光热剂用于肿瘤光热治疗。

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利用靶向肿瘤细胞的脂质体递送半导体聚合物光热剂 PAQI-BDIT (PCE: 74%)，实现高效的光热抗肿瘤治疗。此外，该脂质体显著抑制肿瘤生长并有效防止肿瘤复发。

光热疗法因其高特异性和低侵入性在癌症治疗领域具有巨大潜力。然而，光热剂的低光热转换效率、肿瘤积累不足和细胞摄取有限继续阻碍光热治疗肿瘤的有效性。半导体聚合物 (SP) 因其具有独特的光学特性、良好的光稳定性及优异的光热转换效率 (PCE)，SP 已成为一类很有前途的光学治疗诊断剂。在这项研究中，我们通过调整半导体聚合物的给电子供体-受电子单元，合成了一种基于喹喔啉衍生物的半导体光热剂 (PAQI-BDIT)。PAQI-BDIT 具有很强的 NIR 光吸收、NIR-II 荧光成像和良好的 PCE 能

力。为了减轻给药创伤并最大限度地减少激光照射引起的正常组织损伤，PAQI-BDIT NPs（与 DSPE-PEG<sub>2000</sub> 自组装）封装在脂质体中，脂质体用靶向肿瘤细胞表面的环状 Arg-Gly-Asp (cRGD) 肽修饰 (T-BDIT-Lipo)。该纳米系统能够将光热剂特异性地递送到肿瘤细胞。脂质体表面存在的 cRGD 肽有助于与癌细胞表面表达的整合素  $\alpha_v\beta_3$  受体结合，从而增强细胞对 T-BDIT-Lipo 的内吞。在 808 nm 照射下，T-BDIT-Lipo 诱发高温直接损害癌细胞并破坏脂质体，实现高效的光热疗法 (PTT)。此外，在体内皮下瘤实验中，T-BDIT-Lipo 显著抑制肿瘤生长并有效防止 PTT 后肿瘤复发 (Scheme 1)。



Scheme 1. T-BDIT-Lipo 的制备和 T-BDIT-Lipo 在 NIR-II 荧光成像引导下的抗肿瘤光热治疗中的示意图。

相关研究成果以 “*Targeted Delivery of Quinoxaline-Based Semiconducting Polymers for Tumor Photothermal Therapy*” 为题发表在 *ACS Applied Materials & Interfaces* 上，其中通讯作者为应磊研究员，第一作者为陈培玲博士生。该研究工作得到了广东省国家自然科学基金 (2019B030301003) 等

科研项目的资助。

## 仪器设备

### 600MHz 宽腔固体核磁共振波谱仪

固体核磁共振是研究凝聚态物质结构和动力学行为的一种重要谱学表征手段，主要用于各种固体样品和材料的表征测试与过程检测，可进行  $^1\text{H}$ 、 $^{11}\text{B}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{19}\text{F}$ 、 $^{27}\text{Al}$ 、 $^{29}\text{Si}$ 、 $^{31}\text{P}$  等元素的一维及二维固体核磁共振分析，现已广泛应用于多相催化、材料、能源以及生物大分子等诸多领域。其研究对象覆盖了晶态与非晶态、纯态和混合态的各种固态物质。固体核磁共振具有对近程结构变化敏感，针对特定原子核，无损检测的特性，可以在原子分子水平上获得关于凝聚态物质的组成结构、动力学行为和功能方面的多种信息，与 X 射线衍射等研究固体长程结构的方法形成补充。

实验室新进的 600MHz AVANCE NEO 宽腔固体核磁共振波谱仪（下图）配备了多种功能性探头：共振频率为  $^{109}\text{Ag} \sim ^{13}\text{C}$  的 7mm 双共振 HX 探头、共振频率为  $^{15}\text{N} \sim ^{31}\text{P}$  的 4mm 双共振 HX 高温探头、3.2 mm 四共振 HFX Y 探头（检测核： $^1\text{H}$ 、 $^{19}\text{F}$ 、X/Y，其中 X 包括  $^{15}\text{N} \sim ^{23}\text{Na}$ ，Y 包括  $^{15}\text{N} \sim ^{29}\text{Si}$ ）、共振频率为  $^{15}\text{N} \sim ^{31}\text{P}$  的 3.2 mm 双共振 HX 探头和共振频率为  $^{15}\text{N} \sim ^{23}\text{Na}$  的 1.3 mm 三共振 HFX 高转速探头，并配有相应的变温单元，可充分满足各种研究需求。



### 600MHz 宽腔固体核磁共振波谱仪

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、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 W103 房。

设备管理员：郭婷老师 13610349307

## 境内外学术交流来访

●1月3日，华中科技大学唐江教授在全重301会议室作题为“单片集成量子点红外探测器和钙钛矿微显示”的学术报告。报告主要介绍了利用单片异步/同步集成方案实现单片集成光电子器件与系统及其在成像与显示领域的应用。

●1月4日，湖南科技大学陈建教授在全重501会议室作题为“光开关荧光聚合物构筑与防伪加密应用”的学术报告。报告主要介绍其课题组针对光开关荧光聚合物存在的关键科学问题，先后发展了一系列高性能的光开关多态荧光聚合物体系和可见光响应的光开关荧光聚合物，并成功应用于光信息存储、高级防伪、多层次和时间分辨信息加密等领域。

●1月10日，太原理工大学苗艳勤副教授在全重501会议室作题为“照明用白光有机发光二极管的研究”的学术报告。报告主要分享了课题组将互补的磷光超薄层( $<0.1\text{ nm}$ )嵌入在蓝色荧光发光层和TADF激基复合物界面中构建白光OLEDs，研究了超薄磷光层中激子形成机制及能量传递方式，采用非常简单的器件结构开发出一系列超高性能的白光OLEDs。

●1月12日，中国科学院理化技术研究所吴雨辰研究员在全重501会议室作题为“液桥限域微加工技术与器件”的学术报告。报告主要介绍其课题组从液相加工的关键媒介“界面”出发，结合界面微结构与化学修饰协同作用开发了液桥限域微加工技术。