



**中国材料大会 2024**

**暨第二届世界材料大会**

**CMC 2024 & WMC 2024**

**July 8-11, 2024**

**Guangzhou, China**

**D24-功能分子材料与器件**

**D24-Functional Molecular Materials  
and Devices**

**Organized by**

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

**D24-302A. 功能分子材料与器件**

分会主席：刘云圻、胡文平

**D24-302A-01****有机自旋半导体**

马於光

华南理工大学

**D24-302A-02****基于氮杂稠环的有机半导体材料**

张浩力

兰州大学

**D24-302A-03****新型功能材料及异质结构的理论设计和物性调控**

杜世萱\*

中国科学院物理研究所

低维材料由于量子限域效应导致的新奇物性、外场和界面对其物性的高度可控特性等受到了人们的极大关注。设计和筛选高性能低维材料、理解构效关系、探索物性调控手段等，对推动高性能低维材料及其异质结的应用至关重要。在本报告中，报告人将介绍团队在高性能低维材料设计方面做的一些工作：利用高通量计算研究了由金属团簇和四羟基苯(THB)分子形成的 232 个具有笼目晶格的二维有机金属网格，发现了 16 种有机拓扑绝缘体；以  $(ZrClx)_n$  为超原子基元构建蜂窝状人工量子晶格，发现随着基元尺寸变化可得到陈绝缘体、狄拉克莫特绝缘体等二维拓扑材料；以  $Si_6Cy$  以及有机共轭单元构筑的 Kekule-T 结构具有高阶拓扑特性，可在费米面处打开大于 1 eV 的能隙；构建铁磁/铁电异质结诱导二维  $CrI_3$  中出现斯格明子并实现拓扑磁结构的非易失多态调控；高通量计算获得 124 个介电常数大于 5、带隙大于 2.5 eV 的潜在范德华介电材料，其中 8 个材料适合用于  $MoS_2$  场效应晶体管，同时我们还构建了定量机器学习模型，预测带隙和介电系数准确率高于 80% 等。

**关键词：**二维金属有机框架材料，高阶拓扑绝缘体，拓扑磁结构，范德华介电材料

**D24-302A-04****单晶态有机发光材料与器件**

冯晶\*

吉林大学

有机半导体单晶材料由于自身分子规则排布、杂质含量低和热稳定性高等突出优点，相比于无定形薄膜具有更高的载流子迁移率，并具有天然的各向异性和偏振发光特性，是一类极具潜力的光电材料。我们针对有机单晶的可控生长和特性调控开展研究，包括单晶传输特性和发光特性调控；进而面向其在发光器件中的应用，通过器件物理、结构设计和制备工艺优化，提高发光性能，并获得高偏振电致发光。

**参考文献**

- [1] M. An, R. Ding, X. Zhang, S. Chen, Y. Wang, G. Ye, Q. Zhu, N. Chen, Y. Liu, J. Feng, and H. Sun, *Optica*. 2022, 9, 121.
- [2] M. An, R. Ding, Q. Zhu, G. Ye, H. Wang, M. Du, S. Chen, Y. Liu, M. Xu, T. Xu, W. Wang, J. Feng, and H. Sun, *Adv. Funct. Mater.* 2020, 2002422.
- [3] F. Dong, M. An, X. Wang, M. Wang, X. Li, J. Feng and H. Sun, *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1807606.
- [4] R. Ding, X. Wang, J. Feng, X. Li, F. Dong, W. Tian, J. Du, H. Fang, H. Wang, T. Yamao, S. Hotta, and H. Sun,

**D24-302A-05****以非形貌调控型固体添加剂提升有机光伏性能**

徐新军\*

北京师范大学

有机光伏器件中活性层的形貌（微观结构形貌和介观聚集状态）对于其光电转换性能具有至关重要的影响。近年来，研究人员除了开发新型光活性材料外，还通过改进器件加工工艺（例如使用溶剂添加剂以及固体添加剂等）获得具有合适电子给受体相分离结构的活性层形貌，并实现了大于 19% 的光电转换效率。如何在已具有适宜活性层形貌的基础上进一步提升光伏器件性能是研究人员面临的一项挑战。为此，我们通过非形貌调控型固体添加剂策略，调控器件中的激子行为和载流子行为，提升器件的光伏性能。

**D24-302A-06****导电聚合物的掺杂调控与热电性能优化**

朱嘉\*

国家纳米科学中心

导电聚合物因其独特的电子性质和在柔性电子学中的应用潜力而成为材料科学领域的前沿热点，尤其在热电转换技术方向展现出巨大潜力。本课题组通过掺杂策略和分子设计，对聚合物的电输运特性和热电转换性能进行了系统地调控研究，为开发高性能热电材料开辟了新路径。利用第一性原理计算，我们发现重硫属元素硒(Se)和碲(Te)的引入能够有效削弱给体-受体型(D-A)共聚物的 D-A 特性，促进电子在主链上的离域化，显著提升 n 型掺杂效率。特别是，碲替代可显著提高 n 型热电优值，而硒的引入则能同时增强 n 型和 p 型热电优值[1]。除了杂原子掺杂，离子掺杂也是调控聚合物性质的有效手段。本研究还探讨了离子掺杂对聚合物 PBTTT 中 Nernst 效应的影响，揭示了 Nernst 系数随掺杂水平增加而单调下降的趋势，这一现象归因于费米能级的显著提升和高掺杂水平下电荷迁移率的降低。这不仅加深了我们对掺杂机制影响导电聚合物电荷传输性质的理解，而且为基于 Nernst 效应的柔性热电应用提供了理论预测[2]。近期制备出的水溶性 n 型半导体聚合物的单网络和多网络导电水凝胶具备优异的电子迁移率和开关比，我们的理论计算证明离子掺杂对其电输运性能的调控至关重要。这些水凝胶还在生物电子接口中对电生理信号的传感和放大能力表现出色，为设计生物兼容的电子器件提供了创新思路[3]。此外，通过设计不同的取代基可影响聚合物骨架的电输运性能。进一步地，通过精细调控不同的取代基，如-NH<sub>2</sub>、-OCH<sub>3</sub>、-F、-CF<sub>3</sub> 和-CN，我们研究了它们对 DPP-TVT 共聚物骨架平面性、电子结构和电荷载流子迁移率的影响。结果表明，带有-CN 取代基的 DPP-TVT 位于无陷阱能量窗口内，具有最窄的带隙，展现出显著的双极性特征，而-NH<sub>2</sub> 基团同样有效地促进了 DPP-TVT 向双极性共聚物的转变[4]。总之，本研究不仅展现了导电聚合物在热电性能调控方面的最新进展，而且突出了分子设计和掺杂策略在实现材料性能优化中的关键作用，为未来高性能电子和生物电子材料的开发提供了坚实的理论基础和实验指导。

**关键词：**导电聚合物、掺杂调控、热电性能、分子设计、生物电子应用

**参考文献**

- [1] Wang Y.; Hao W.; Huang W.; Zhao H.; Zhu J.; Fang W. *The Journal of Physical Chemistry Letters* 2020, 11:3928.
- [2] Zhang S.; Dai X.; Hao W.; Liu L.; Ma Y.; Zou Ye.; Zhu Jia.; Di C., *Chinese Chemical Letters* 2024
- [3] Li et al., *Science* 2024, 384:528
- [4] Wang Y.; Wei Y.; Hao W.; et al. *Journal of Materials Chemistry A* 2024

**D24-302A-07****半导体水凝胶及其生物电子器件**

雷霆\*

北京大学

生物电子器件在医学检测、辅助治疗、可穿戴、可植入设备中具有广泛的应用前景。传统生物传感器与生物组织界面力学和物化性质不匹配是制约生物电子器件发展的重要因素。理想的生物电子器件，需具备轻、薄、柔、可拉伸和生物相容性好等特点。水凝胶材料具有和生物组织最相近的力学性质，因此如果能使用水凝胶构筑电子器件，则能满足相应需求。此外，水凝胶优异的生物相容性和易于修饰等特点也将为电子器件赋予新的功能，为解决上述问题提供物质基础。

传统水凝胶仅具备离子导电性，或通过引入共混导体具备了电子导电特性，但至今仍缺乏半导体属性。基于阳离子共轭骨架研究，申请人提出了“半导体水凝胶”概念。通过将水溶性阳离子共轭高分子用抗离子交联或与其他水凝胶形成多网络结构，实现了具有优异生物相容性和粘附性的半导体水凝胶，首次实现了具有优异开关特性的半导体水凝胶器件和电路，并实现了生物电信号的原位放大。

## D24-302A-08

### 高效自旋输运有机半导体研究

孙向南\*

国家纳米科学中心

有机半导体通常由碳、氢、氧等轻元素构成，其自旋-轨道耦合作用较弱，因此理论上具有远超其他材料的自旋寿命（可达秒量级，无机材料通常低于纳秒），被认为是开展室温、高效自旋输运研究和实现自旋电子应用的理想材料。但不幸的是，有机自旋电子学中目前展现的室温自旋输运效率、自旋寿命、输运距离都比较低下，远低于理论预期值。针对上述问题，本课题组开展了系统研究[1-6]，构建了高度可重复的有机自旋阀器件[7-8]，开发了熔融型自旋输运材料，通过对聚集态缺陷的控制，实现了自旋输运效率的突破；提出了“元素趋同”的材料设计新理念，有效地消除了堆积自旋弛豫，极大地提高了材料的室温自旋寿命；开展了基于有机单晶体系的自旋电子学研究，优化了自旋输运过程，实现了最长的室温自旋输运距离。

#### 参考文献

- [1] Sun, X.; Hueso, L. et al. *Science*, 2017, 357: 677.
- [2] Guo, L.; Hu, S.; Gu, X.; Sun X. et al. *Adv. Mater.* 2023, 35: 2301854.
- [3] Hu, S.; Liu, W.; Guo, L.; Tan, T.; Sun X. et al. *Adv. Mater.* 2023, 35: 2300055.
- [4] Qin, Y.; Gu, X.; Guo, L.; Sun, X. et al. *Nano Today* 2023, 49: 101763.
- [5] Zhu, Y.; Guo, L.; Guo, J.; Sun, X.; Tang, Z. et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62: 202213208.
- [6] Hu, S.; Qin, Y.; Lu, S.; Sun, X. et al. *Adv. Funct. Mater.* 2024, DOI: 10.1002/adfm.202315239.
- [7] Guo, L.; Gu, X.; Hu, S.; Qin, W.; Sun, X. et al. *Nat. Commun.* 2024, 15: 865.
- [8] Yang, T.; Qin, Y.; Wu, M.; Guo, L.; Sun, X. et al. *Adv. Mater.* 2024, Accepted.

## D24-302A-09

### 基于手性诱导自旋选择效应构建圆偏振有机发光二极管

许乐天<sup>1</sup>、邱诺玲<sup>1</sup>、唐本忠<sup>2</sup>、赵祖金\*<sup>1</sup>

1. 华南理工大学

2. 香港中文大学（深圳）

有机圆偏振发光器件可发出强度不同的左旋或右旋偏振光，不仅可穿透显示屏幕中的防眩光滤光片，提升屏幕的显示效果同时降低总体功耗，而且可用于开发三维显示等未来显示技术。传统的有机圆偏振发光器件制备是基于手性发光材料或发光材料的手性环境，但其开发较为困难，若能利用非手性材料制备圆偏振发光器件则会降低器件开发难度。手性诱导自旋选择性(CISS)效应是指电荷载流子在穿过手性材料时发生自旋极化，其进入发光层后可发出圆偏振光，是一种新型制备圆偏振发光器件的方法，但这种现象和方法从未在有机发光二极管(OLED)中报道过。本工作基于具有宽能隙的手性近紫外和深蓝材料开发了此类圆偏振发光器件。在器件设计中，将手性深蓝光层与非手性绿光层相邻，手性深蓝光层产生的自旋极化空穴在相邻的非手性绿光层中重组形成自旋极化激子，发出绿色圆偏振电致发光(CP-EL)。随后，通过将

多层非手性天蓝光、绿光和红光层与手性近紫外或深蓝光层结合，实现了复杂的三发射层或四发射层自旋极化白光 OLED，器件同时发射出不同非手性层的 CP-EL 信号，表现出优异的 EL 性能，外量子效率达到 26.6%，显色指数高达 94，电致发光不对称因子达  $5.5 \times 10^{-3}$ 。本工作首次将 CISS 效应引入到 OLED 中实现了 CP-EL，为制备高性能有机圆偏振发光器件提供了一种新方法。

## D24-302A-10

### 杂环偶氮光开关分子体系

李涛\*

Shanghai Jiao Tong University, China

具有刺激响应特性的有机功能材料与器件是当前的研究热点之一，在能源、信息和生物等重要领域具有广阔的应用前景。光开关分子以便捷、精准的光作为调控手段，被认为是构筑智能刺激响应性体系的最佳选择之一。在不同类型的光开关分子体系中，偶氮苯类化合物因具备异构体结构差异大、易合成、耐疲劳性好、光响应速度快等诸多优点而备受关注。自 1937 年被发现在光照下会发生 *trans*↔*cis* 异构化反应以来，偶氮光开关分子的研究一方面取得了巨大进展，人们对其光物理学性质有了越来越深入的理解，并成功在多个领域做了应用概念展示；另一方面，母核结构单一、调控受限的特点决定了其在光异构产率、亚稳态半衰期、激发波长等多个关键性能参数上存在固有缺陷且不能兼顾，在当前化学智能化、精准化发展背景下，逐渐难以应对新材料开发提出的更高要求。

基于此，报告人近年来聚焦“高效异构化光开关分子体系的化学创制及性能调控机制”的关键科学问题，1) 提出合环构筑与取代基修饰相结合的合成思路，解决了合成中间体不稳定的难题，实现了近百种杂环偶氮分子的普适合成；2) 开发了空间构型与电子结构协同优化的调控策略，实现了关键性能参数的精准调控和升级，获得了兼具高异构比率（双向接近 100%）、长半衰期（数月数年）、双向可见光控的杂环体系；3) 基于优异光开关性质开发了新型光开关相变材料，提出了光热共存储和光能驱动热能品位升级新机制，翻倍提升了分子光储能密度（达 400 kJ/kg）。

## D24-302A-11

### 超薄水凝胶与生物集成电子

徐晓敏\*

清华大学深圳国际研究生院

柔性化、集成化和多功能化是未来电子和光电器件的重要发展趋势。超柔性传感系统能够贴合皮肤或组织表面微观纹理，顺应其动态形变，解决因物理距离波动造成的测试精度下降等问题，有望革新个性化健康管理范式。该报告讨论超薄水凝胶的构建策略，及其面向生物体“无感”集成的独特优势。首次报道了厚度仅 10 微米的超薄水凝胶，作为电子设备/皮肤界面能够弥补软组织和硬质电子元件之间的力学性能差异；其高水蒸气透过率允许几乎无阻碍的经表皮水分流失，在桥接电子设备的情况下，不影响人体皮肤和外部环境之间的水分交换，确保皮肤自由“呼吸”[1]。超薄水凝胶能够进一步用于新型可穿戴能源收集-存储设备，实现超柔性可穿戴系统[2]。基于导电聚合物的高导电水凝胶为真皮“纹身”电极[3]和长期神经接口电极[4]的构建开辟了崭新可能。报告最后展示一种超柔性 128 通道大脑皮层电极（ECoG）阵列，具备高质量的信号采集能力和生物安全性，在新西兰兔体内有效植入逾 200 天，凸显了导电水凝胶作为慢性神经界面的显著优势。

#### 参考文献

- [1] S. Cheng, X. Xu\*, etc. Ultrathin hydrogel films toward breathable skin-integrated electronics. *Adv. Mater.* 2023, 35, 2206793.
- [2] S. Saifi, X. Xu\*, etc. An Ultraflexible Energy Harvesting-Storage System for Wearable Applications. *Nat. Commun.* 2024, in press.
- [3] B. Wei, X. Xu\*, etc. Ultraflexible tattoo electrodes for epidermal and in vivo electrophysiological recording. *Cell Rep. Phys. Sci.* 2023, 4, 101335.

[4] S. Cheng, R. Zhu, X. Xu\*. Transitioning to the Next Generation: The Role of Hydrogel in Neural Interface Development. *Commun. Mater.* 2024, in press.

#### D24-302A-12

##### 高效柔性太阳能器件及其在可穿戴设备方面的应用研究

陈永胜\*

Nankai University, China

有机太阳能近年来取得了巨大进展，其光电转化效率已达 20% 以上。目前该领域的两个问题是进一步提升效率和发展其在柔性器件和设备装备一体化方面的应用。本报告将介绍我们团队在上述两个方面的进展。首先我们通过分子设计发展了高效的 CH 系列 ADA 型材料，进一步我们利用有机太阳能的柔性和超薄等优点发展了其在集成器件特别是人体热管理方面的应用。

#### D24-302A-13

##### 高性能有机半导体热电材料

狄重安

中国科学院化学研究所

#### D24-302A-14

##### 4,9,13,18-四氮杂二萘嵌苯：合成、构象转变与荧光成像研究

陈于蓝\*

吉林大学

$\pi$  扩展和异原子掺杂显著影响了芳烃的电子结构、光学特性以及聚集态性质。相较于平面型的多环芳烃 PAHs，弯曲线型 PAHs 展现了依赖于尺寸和形态的更为独特的理化性质。然而，由于内置应变的存在，这些弯曲结构的合成具有挑战。目前，在 PAHs 中获得负曲率结构主要通过七元或八元环的引入来实现，这两种环的构建效率通常较低，反应条件苛刻。而六元环构成的 PAHs 曲率基本为零。针对上述挑战，受 Bischler-Napieralski 关环反应用于氮杂稠环结构模块化合成原则的启发，我们设计合成了不同数量叔丁基取代的四氮掺杂萘同系物：4,9,13,18-四氮杂二萘嵌苯。通过大位阻取代基的引入，调控了分子间相互作用，发现这类全六元环骨架可以形成独特的碗形构象，并呈现高的发光效率。研究了目标分子的单晶结构、独特的构象转变及光电性质、并初步探索了这类发光分子在肿瘤细胞荧光成像方面的应用，为开发性质可调的负曲率类石墨烯材料和生物成像材料提供了新思路。

#### D24-302A-15

##### 大面积有机半导体单晶的制备及偏振光探测与成像研究

李荣金\*、胡文平

天津大学

偏振光电探测器能够提供振幅（亮度）、频率（颜色）之外的偏振信息，在军事侦察、遥感监测和医学成像等应用中至关重要。传统偏振成像系统依赖于光栅、复杂的镜头和探测器，它们不仅体积庞大、光路复杂，还伴随着能量损耗问题，限制了它们片上集成应用。大面积超薄有机半导体单晶是实现本征偏振光探测的优选材料，但面临制备困难的挑战。我们发展了界面结晶法，获得了晶圆尺寸的有机半导体单晶，实现了高灵敏度的偏振探测与成像。

#### D24-302A-16

##### 三重激发态调控与有机室温磷光

李倩倩\*

Wuhan University, China

围绕“三重激发态调控与有机室温磷光”开展系统研究，通过对三重激发态的产生、失活途径、能量与电子转移过程的系统研究与精细调控，结合材料分子聚集结构的变化对其光物理过程的影响，我们提出实现高效室温磷光的优势分子聚集结构，率先通过磷光共振能量转移构筑近红外余辉，实现了小鼠活体深层组织成像。而且，基于外界刺激对分子聚集结构的影响，实现了温度调控的变色磷光，首次获得了室温磷光与不同分子间相互作用的一一对应关系，并实现了兼具长寿命室温磷光与弹性/塑性形变的有机柔性晶体，其寿命为柔性晶体的最高值 (972.3 ms)。运用三重激发态对微环境的敏锐性，通过高效磷光纳米颗粒的构筑与优化，建立了目前肿瘤转移最灵敏的检测方法，首次实现肿瘤转移前生态位的光学成像，优于现有临床检测手段。

**D24-302A-17****近红外分子光伏材料及器件**

林禹泽\*

中国科学院化学研究所

近红外光响应的有机光电探测器 (OPDs) 具有光电性质易调控、可大面积柔性印刷制备、可室温工作等优点，在可穿戴智能设备、柔性电子皮肤、生物医学成像等新兴领域有着广阔的应用前景。然而，高性能的超窄带隙有机半导体材料的设计合成较为困难，目前强近红外 II 区 (1000-1700 nm)，尤其是硅带隙以下波段 (>1100 nm) 响应的有机光电探测器鲜有报道，且比探测率 ( $D^*$ ) 普遍低于商用无机探测器。我们设计合成了一种具有高 Mulliken 电负性的醌式端基，构筑了超窄带隙受体材料实现了硅带隙以下的高灵敏光电探测。在光伏模式下，二极管型近红外 OPD 器件在 0.41~1.2  $\mu\text{m}$  的宽响应范围内获得了超过  $10^{12}$  Jones 的比探测率，在 1.02  $\mu\text{m}$  处获得了最大值  $2.9 \times 10^{12}$  Jones。

**D24-302A-18****二维分子晶体与器件**

何道伟\*

南京大学

有机半导体材料与器件经过几十年的发展，其电学性能得到了显著的提升，可比拟于部分氧化物半导体材料。尽管如此，有机器件中金属-半导体接触仍是限制有机电子器件性能的关键因素，如何进一步提升有机电子器件性能，需要进一步优化有机半导体器件的电学接触。目前，OFETs 器件的最低接触电阻比氧化物半导体、二维原子晶体高出至少两个数量级，其原因可归结为以下两点：(i) 分子与金属间的范德华间隙导致界面处电子态耦合较弱，降低载流子注入效率；(ii) 传统的金属电极沉积过程涉及高能金属离子轰击有机薄膜，在界面处引入缺陷，形成费米能级钉扎，无法降低接触势垒。要进一步降低 OFETs 器件接触电阻，这两个问题需要同时解决。在此，我们深入优化金属与有机半导体材料的接触界面，实现了小分子 OFETs 器件的超低接触电阻 (可达 14  $\Omega \cdot \text{cm}$ )。此外，我们的器件具有最先进的性能，包括 18  $\text{cm}^2 \text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  的空穴迁移率、28.8  $\mu\text{A}/\mu\text{m}$  的饱和电流、60 mV/dec 的亚阈值摆幅和 0.36 GHz 的工作频率。利用该接触技术，我们制备出大面积 OFET 阵列和整流电路，OFET 阵列器件良率达到 100%，且均一性良好，整流电路的工作频率达到 67 MHz。

**D24-302A-19****高性能有机光电晶体管及感内计算**

李蒙蒙\*

中国科学院微电子研究所

基于有机晶体管的柔性集成电路虽然前景广阔，但其高功耗的缺点严重制约了广泛的实际应用。本工作利用薄层  $\text{AlO}_x$  作为栅极介电层实现了低电压聚合物单分子层薄膜晶体管和高增益逻辑反相器。特别的，

本工作提出了一种使用牺牲层的光刻兼容方法来对聚合物单分子层进行图案化, 显著降低其关态和栅极漏电流至  $10^{-12}$  A, 并实现了 86 mV/dec 的陡峭亚阈值摆幅。该器件产生了最高  $10^4$  V/V 的本征增益, 从而实现了在 -3 V 操作电压 ( $V_{DD}$ ) 下增益高达 251 V/V 的单极型逻辑反相器。此外, 通过与非晶铟镓锌氧化物集成制作的混合互补反相器在  $V_{DD} = 5$  V 时表现出 841 V/V 的超高电压增益, 并在  $V_{DD} = 30$  V 时达到 7436 V/V。除此之外, 基于该光刻兼容工艺制备了同时具有正负光电响应的有机光电晶体管, 并成功实现了感内计算功能。

## D24-302A-20

### 钙钛矿太阳能电池界面适配和晶体转化调控研究

谈利承、陈义旺\*

南昌大学

基于半导体复合杂化材料的机械弯折和界面修复是柔性纳米器件领域的重要研究内容之一。针对钙钛矿太阳能电池中界面失配和缺陷修复以及机械稳定性的关键科学问题, 申请人开展了低温两步法制备钙钛矿过程中固液界面反应适配性、晶体靶向转化、缺陷原位修复和机械增韧的相关研究, 实现了柔性太阳能电池稳定性提升和机械应用。研究仿造爬藤植物生长原理, 首次在碘化铅 ( $PbI_2$ ) 中构筑原位自聚合甲基丙烯酸甲酯 (sMMA) 自主纵向支架, 提供更高效率的成核位点以促进晶体沿支架纵向生长, 实现 sMMA 低聚物在钙钛矿薄膜退火过程中进一步聚合并填充钙钛矿晶界, 从而形成能够钝化缺陷、释放机械应力、抑制离子迁移和水氧/阻隔的交联网络, 有效解决了低温两步法制备钙钛矿过程中  $PbI_2$  大量残留和界面缺陷修复增韧的难题[1]。结合丁二酰胺添加剂与纳米压印技术制备了具有有序阵列结构的多孔碘化铅层, 将有机胺盐限制在  $PbI_2$  阵列中促进其全方位扩散反应, 并实现向钙钛矿的充分转化[2]。研究在埋底界面引入一种由多孔金属有机框架沸石咪唑酸盐骨架 (ZIF-8) 包覆少量碘化甲脒 (FAI) 组成的多功能胶囊, 协助  $PbI_2$  形成多孔结构促进有机胺盐渗透, 实现胶囊内 FAI 预先与  $PbI_2$  反应生成钙钛矿晶种, 促进固液界面充分反应。ZIF-8 还可通过下转换效应增强钙钛矿的抗紫外线辐射能力, 极大提升器件稳定性[3]。利用离子液体 1-乙基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐 (EMIMBF<sub>4</sub>) 将多余  $PbI_2$  转化为一维钙钛矿 EMIMPbI<sub>3</sub>, 使其更好地承受晶格应变, 同时在氧化锡/钙钛矿界面处形成界面偶极层, 优化能级结构加速电荷提取。优化后的未封装器件在最大输出功率点追踪测试 1500 h 后能保持 85% 的原始效率[4]。开发了一种原位修复残留  $PbI_2$  的策略, 通过引入胺可释放介体 (吡啶-2-羧甲铵, MAPyA) 在高温退火过程中部分分解为甲胺 (MA) 气体和吡啶-2-羧基 (PyA), 从而优化钙钛矿的晶体结构和薄膜质量。释放的 MA 可以局部形成液态中间相, 有利于钙钛矿微晶和残余  $PbI_2$  的重构; 分解产生的 PyA 被证实可有效钝化钙钛矿薄膜中的未配位铅[5]。另外, 通过改进印刷装备和工艺参数, 调节  $PbI_2$  和有机胺盐墨水的稳定性和印刷过程中钙钛矿晶粒生长动力学, 从而实现两步法刮涂印刷制备刚性和柔性大面积太阳能电池模组。

#### 参考文献

- [1] Licheng Tan\*, Yiwang Chen\*, et al., *Adv. Mater.* 2020, 32(26), 20200061.
- [2] Licheng Tan\*, Yiwang Chen\*, et al., *Energy Environ. Sci.* 2023, 16(2), 629-640, ESI Highly Cited Paper.
- [3] Licheng Tan\*, Yiwang Chen\*, et al., *Adv. Mater.* 2023, 35(33), 2301852, Frontispiece.
- [4] Licheng Tan\*, Yiwang Chen\*, et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 136(1), e202315233, VIP Paper.
- [5] Licheng Tan (Co-author), Yiwang Chen\*, et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, DOI:10.1002/anie.202319100.

## D24-302A-21

### 磷/氮多环芳烃的合成与光电性质

任毅\*

上海科技大学

有机共轭分子在光催化、有毒有害物质检测、有机光电器件等领域具有广泛的应用价值。这些多样的性质与功能性主要来源于该类分子中丰富的化学结构和电子结构。因此, 开发精准、高效、可控的化学修饰方法已经成为提高该类分子在各种应用场景中性能的重要手段之一。近年来, 人们发现向有机共轭分子中引入杂原子, 如硼、氮、氧、磷、硫、硅等, 可以有效地调控该类分子的化学结构和物理性质。其中,

磷原子具有独特的几何结构和多样化学修饰；这些特点使得磷原子掺杂和修饰成为一种调节有机共轭结构的有效手段。相比于传统苯基多环芳香体系，非苯基多环芳香体系具有独特电子结构和物理性质。在众多非苯基多环芳香体系中，含磷芳香体系的报道少之又少。在本次报告中，我们将介绍课题组近期在“磷/氮”掺杂七元环共轭体系的工作。重点介绍分子设计，合成方法和分子光物理性质等方面的工作。

### D24-302A-22

#### 多重共振热活化延迟荧光材料的设计、合成及应用研究

曹啸松\*

深圳大学材料学院

多重共振型热活化延迟荧光（MR-TADF）材料由于兼具高量子产率和优异的发光色纯度，展现出良好的应用前景。本报告将着重介绍 MR-TADF 材料在有机发光二极管（OLED）领域中的系列研究进展：1）针对 MR-TADF 材料所面临的聚集淬灭共性问题，提出了“去平面化”聚集态调控通用策略，实现了窄谱带、高效率的电致发光；2）针对 MR-TADF 材料激发态寿命长、效率滚降严重的问题，提出了多种策略精准调控激发态特性，实现了 MR-TADF 材料激发态寿命和色纯度的同步优化；3）针对圆偏振电致发光色纯度低的问题，发展了“多重共振融合刚性手性单元”策略，实现了窄谱带手性 MR-TADF 材料的性能突破。

### D24-302A-23

#### 可图案化的高迁移率有机高分子半导体

张德清\*

中国科学院化学研究所

近年来，有机高分子半导体的研究受到了高度重视，国内外多个课题组陆续报道了高迁移率  $p$ -型、 $n$ -型和双极性有机高分子半导体，进而促进有机高分子半导体在场效应晶体管、光探测器、逻辑电路、智能感知等功能器件中的应用，展现出诱人的应用前景。有机高分子半导体的高精度图案化是制备这些集成功能器件的关键步骤。我将介绍我们在通过光交联策略发展可图案化的有机高分子半导体方面的工作。

#### 参考文献：

- [1] Chenying Gao, Dandan Shi, Cheng Li, Xiaobo Yu, Xisha Zhang, Zitong Liu, Guanxin Zhang, and Deqing Zhang, *Adv. Sci.* **2022**, *9*, 2106087.
- [2] Changchun Wu, ChengLi, XiaoboYu, LiangliangChen, ChenyingGao, XishaZhang, GuanxinZhang, and DeqingZhang, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 21521.
- [3] Chenying Gao, Cheng Li, Yiming Yang, Ziling Jiang, Xiang Xue, Kaiyuan Chenchai, Junchao Liao, Zhichun Shangguan, Changchun Wu, Xisha Zhang, Di Jia, Fengjiao Zhang, Guoming Liu, Guanxin Zhang, and Deqing Zhang, *Adv. Mater.* **2024**, 2309256.

### D24-302A-24

#### 碳碳双键桥连共价有机框架半导体材料：拓扑结构调控的电子布居及光催化活性

张帆\*

上海交通大学

共价有机框架（COFs）是一种新兴聚合物材料，具有精确的分子结构，高的比表面积，可调的微/纳孔道，既延续了传统高分子材料的高度可设计性和轻质富碳骨架等特点，又可基于其独特的纳米尺度属性，与石墨烯、碳纳米管等纳米碳基材料有效结合/复合，能够通过聚合单体及桥连单元的变化引入多种官能团，以及结合聚合条件调制等进行多尺度/层级组装及图案化编辑等，进而，获得丰富的物性或功能 [1]。通常情况下，共价有机框架是由极性动态共价键（如，硼酸酯键，亚胺键等）连接成的高周期性长程有序结构，具有较强的可逆性和“结构纠错”能力，因而，稳定性较差，电子离域性弱，严重影响了其低维结构相关的性质和活性，也不利于加工等操作，阻碍了这类高晶态聚合物的应用拓展。2016 年，本课题组首次以 Knoevenagel 缩合反应，溶液法宏量制备了高晶态碳碳双键桥连二维共价框架。继而，通过设计开发聚合

单体和优化聚合反应条件, 获得了多个系列非极性碳碳双键桥连共价有机框架, 揭示了这种高晶态类墨烯结构产生于碳碳双键形成反应的热力学控制过程[2]。这里, 我们将从设计开发新结构单体出发, 与不同对称性多取代芳醛缩合共聚, 制备二维碳碳双键桥连共价有机框架半导体材料, 获得二维面内调控的共轭拓扑结构及图案化电子布居, 并研究其光催化活性及选择性[3][4][5]。

#### 参考文献:

- [1] Hao, Q.; Tao, Y.; Ding, X.; Yang, Y.; Feng, J.; Wang, R.-L.; Chen, X.-M.; Chen, G.-L.; Li, X.; OuYang, H.; Hu, X.; Tian, J.; Han, B.-H.; Zhu, G.; Wang, W.; Zhang, F.; Tan, B.; Li, Z.-L.; Wang, D.; Wan, L.-J. *Sci. Chin. Chem.*, 2023, 66, 620.
- [2] Bi, S.; Meng, F.; Zhang, Z.; Wu, D.; Zhang, F., *Chem. Res. Chin. Uni.* 2022, 38, 382.
- [3] Bi, S.; Meng, F.; Wu, D.; Zhang, F., *J. Am. Chem. Soc.* 2022, 144, 3653.
- [4] Meng, F.; Bi, S.; Wu, D.; Zhang, F., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61, e202210447.
- [5] Zhang, Z.; Bi, S.; Meng, F.; Li, X.; Li, M.; Mou, K.; Wu, D.; Zhang, F., *J. Am. Chem. Soc.* 2023, 145, 16704.

#### D24-302A-25

### 氯介导有机共轭材料

何凤

南方科技大学

#### D24-302A-26

### 精准印刷分子纳微图案及其性能调控

乔雅丽\*

Institute of Chemistry, CAS, China

发展超高精度有机功能材料的微纳图案制造技术对于有机电子学发展具有重要意义, 但有机材料与传统光刻技术的不兼容性极大地限制了其超高精度分子图案与器件的制备, 因此如何实现有机功能材料分子尺度图案化成为该领域的巨大挑战。

受自然界中气泡演化的启发, 我们团队突破气泡演化过程中的奥斯瓦尔德熟化等局限, 提出了一种气泡模板印刷分子尺度图案与器件的新思路<sup>[1-5]</sup>。气泡膜极限厚度可达双分子层的牛顿黑膜, 为有机功能材料超高精度图案化提供了一种独特的解决思路, 有望突破目前分子器件制备的局限。利用气泡壁驱动分子受限组装策略, 我们在分子材料可控组装与图案化方面取得了系列研究进展<sup>[2-4]</sup>: (1) 提出了功能分子与表面活性剂双组分设计策略, 实现了气泡模板用于有机功能分子图案化, 获得了精度约 80 nm 的分子图案, 展现了气泡印刷纳米级分子聚集体图案的潜力; (2) 提出了“双片段”单组份设计策略, 获得了精度达亚 12 nm 的分子图案, 将分子图案的精度从纳米级提升至仅少数分子层的分子尺度; (3) 进一步拓展材料体系, 提出了气泡驱动准一维界面策略, 实现了气泡印刷精准控制非对称体系取向组装与图案化。这些研究证明了气泡印刷精确构筑分子图案的巨大前景, 为实现分子器件的制备与应用提供了新的理论与技术基础。

基于表面能调控与软限域诱导研究思想, 进一步将限域体系从“气液气”气泡壁拓展至“气液固”弯液面, 发展了表面能操控多尺度弯液面方法, 提出薄液膜诱导分子成核结晶策略, 发展了气氛诱导、异质浸润、溶剂工程等操控途径, 实现了分子印刷中结晶行为的精准调控<sup>[6-8]</sup>。

**关键词:** 气泡模板; 分子限域组装; 高精度图案; 分子晶体, 功能器件

#### 参考文献:

- [1] Z. Qu; X. Yan\*; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *Sci. Adv.* **2023**, 9, eadf3567. (Featured Image)
- [2] J. Gao; Z. Yang\*; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, 145, 2404.
- [3] F. Min; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, 60, 16547. (Hot Paper)
- [4] F. Min; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *Small* **2023**, 19, 2301362.
- [5] M. Guo; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *InfoMat* **2022**, 4, e12323.
- [6] S. Chen; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *Adv. Mater.* **2022**, 34, 2200928.

[7] S. Chen; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *Adv. Funct. Mater.* **2023**, 33, 2212158.

[8] Y. Yang; **Y. Qiao\***; Y. Song\* et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, 62, e202300971.

#### D24-302A-27

##### The exploring of thin-film transistors (TFTs) technology for novel display, active-matrix sensing and life science applications

冯林润  
领擎科技

#### D24-302A-28

##### Crystal-like Polymer Nanowires Arisen from Solution State Aggregation for High Performance Field-effect transistors

赵岩  
复旦大学

#### D24-302A-29

##### 金属配合物光功能材料与应用

赵强  
南京邮电大学

近年来，作为有机光电子领域研究的核心内容，有机半导体材料及其光电应用成为国际研究的热点。常规有机半导体大都基于纯有机体系，只能利用单重态激发态，无法有效利用三重态激发态。而金属配合物在金属原子的旋轨耦合作用下，突破了这一局限，可同时利用单重态和三重态激发态，具有优异的磷光发光性质，如高的发光效率、长的发光寿命及易调节的发光波长，尤其是其长的磷光发光寿命，非常适合应用于时间分辨发光成像。我们长期从事金属配合物光功能材料激发态调控及其应用的研究，针对其“分子结构-电子组态-激发态性质-功能应用”之间的内在关系这一关键科学问题开展了系统研究。本次报告中，我将详细介绍本课题组在金属配合物激发态调控与光学应用方面取得的研究进展，发现多种外界物理刺激可有效调控金属配合物激发态性质，实现其光学性质的显著调节。基于这一性质，实现了这类材料在信息器件中的应用。

#### D24-302A-30

##### 新型半导体性光刻胶及全光刻有机电子学

魏大程\*  
复旦大学

全光刻具有高的分辨率，可靠性以及工业兼容性，是一种有望实现有机电子学工业化加工的方法。由于当前缺乏一类同时具有高的图案化分辨率，迁移率以及抗光刻溶液加工的性能稳定性的半导体性光刻胶，因此，全光刻有机电子学的发展十分缓慢。本工作开发了一种综合性能优异的纳米互穿结构半导体性光刻胶。光刻后，基于单体的纳米结构交联网络与半导体聚合物的连续相相互穿插，从而实现了亚微米级图案化精度以及紧凑且热力学稳定的分子堆叠。其迁移率是现有光交联有机半导体的最高值，且经过显影液和剥离溶剂浸泡1000分钟后，仍能保持几乎100%的迁移率。得益于半导体性光刻胶综合的性能，我们实现了全光刻，制备出有机反向器和高密度晶体管阵列，其密度高达 $1.1 \times 10^5$ 单位每平方厘米，比传统印刷工艺高1~4个量级。因此，基于该半导体性光刻胶的全光刻开辟了一条加工高密度集成有机电路和系统的全新途径。

**关键词:** 导电高分子; 光刻; 有机器件集成; 微纳加工

#### D24-302A-31

### 基于超窄带隙 n-型有机半导体的高灵敏短波红外有机光探测器

尹冰艳、段春晖\*

华南理工大学

短波红外 (SWIR) 光探测在先进的科学技术应用中发挥着重要的作用。市面上现有的无机 SWIR 光探测器显著依赖于 III-V 族元素, 受原材料严重短缺和制造成本高昂的限制。此外, 其刚性、与 CMOS 读出电路集成的必要性以及对温度变化的敏感性限制了其在柔性、便携式和可穿戴光电设备中的应用。有机半导体因其化学结构可调、吸收系数高、机械柔韧性好、可溶液加工等优点, 成为下一代光电器件的理想候选材料。然而, 利用有机光电探测器 (OPDs) 实现对 SWIR 光的灵敏探测仍然具有挑战。

我们通过在分子骨架中引入醌式单元, 构建了 A-D-Q-D-A 型分子, 有效减小了键长交替值, 开发了一种在中性态下吸收边达 1.24  $\mu\text{m}$  的超窄带隙 n-型有机半导体。醌式单元的引入显著降低了材料内部的能量无序性和陷阱密度, 从而减少了热激发载流子对暗电流的贡献。基于此超窄带隙 n-型有机半导体的 SWIR-OPD 在零偏压于 1.1  $\mu\text{m}$  处实现了 18.9% 的外量子效率 (EQE), 在 0.4~1.2  $\mu\text{m}$  范围内实现了超过  $10^{12}$  Jones 的相对探测率。

随后, 我们将醌式效应更强的三并环缺电子单元引入到分子结构中, 使材料的吸收边进一步红移至 1.27  $\mu\text{m}$ 。基于该材料的 SWIR-OPD 在零偏压于 1.1  $\mu\text{m}$  处实现了 26% 的 EQE, 在 -4 V 偏压下更是实现了高达 41% 的 EQE。此外, 活性层中低的能量无序性和陷阱密度显著抑制了热激发载流子和暗电流, 使器件在 0.50~1.21  $\mu\text{m}$  范围内实现了超过  $10^{13}$  Jones 的相对探测率, 即便在 1.30  $\mu\text{m}$  处, 器件在零偏压下也实现了超过了  $10^{12}$  Jones 相对探测率, 有效拓展了有机光探测器的检测极限。

以上工作证明, 引入醌式单元是构建低能量无序度和小陷阱态密度的中性态超窄带隙 n-型有机半导体的有效策略, 也是实现高灵敏 SWIR-OPD 的有效方法。

#### D24-302A-32

### 有机发光材料的激发态自旋调控与磁场效应

张闯\*

中国科学院化学研究所

有机发光材料在信息、显示、生物等多方面展现出了广阔的应用前景。分子体系激发态过程具有自旋选择性的光学跃迁, 使得有机材料发光性质的自旋调控与磁场效应成为可能。我们设计合成了具有高发光效率的有机-无机杂化材料体系<sup>[1]</sup>, 深入研究其中自旋依赖的激发态过程; 通过材料中单-三重态自旋转换的磁场效应, 设计构建了可片上集成的分子微晶光学磁强计<sup>[2]</sup>; 结合分子间电荷转移和能量转移过程, 设计三元体系实现了可见光激发下的高效率有机长余辉发光<sup>[3]</sup>。以上研究结果说明分子材料激发态自旋调控有利于提高材料发光性能, 为有机光-电-磁功能材料器件的设计提供新思路。

#### 参考文献

- [1] Zhang Y, et al. Crystal-Liquid-Glass Transition and Near-Unity Photoluminescence Quantum Yield in Low Melting Point Hybrid Metal Halides. *J. Am. Chem. Soc.* 2023, 145, 12360–12369.
- [2] Wang H, et al. Giant magneto-photoluminescence at ultralow field in organic microcrystal arrays for on-chip optical magnetometer. *Nat. Commun.* 2024, 15, 3995.
- [3] Jin P, et al. Stepwise Charge/Energy Transfer in MR-TADF Molecule Doped Exciplex for Ultralong Persistent Luminescence Activated with Visible Light. *Adv. Mater.* 2024, DOI: 10.1002/adma.202400158.

#### D24-302A-33

### 新型类螺烯分子的设计合成、手性结构及其光电性质

齐婷\*、李林阔、王东娇

中国科学院大学

手性有机半导体材料在手性分子识别、不对称合成、手性光学材料、光信息存储和自旋电子学方面具

有广泛的应用前景,因而成为有机电子学研究领域的新兴热点<sup>[1]</sup>。螺烯因其独特的螺旋手性和大  $\pi$  共轭体系而展现出电荷传输和圆偏振发光 (CPL) 性质,可应用于有机场效应晶体管 (OFET)<sup>[2-4]</sup>和有机发光二极管 (OLED)<sup>[5,6]</sup>等光电子器件领域。但现有的螺烯分子载流子迁移率和荧光量子产率偏低,且结构多样性有限,这阻碍了其在有机半导体器件领域的应用。鉴于此,本报告主要介绍课题组设计合成的一种异构的二噻吩酰亚胺 (iBTI) 受体单元及其区域选择性上溴的方法<sup>[7]</sup>,并基于此构筑了系列[7]类螺烯分子衍生物,从手性结构与电荷传输性质的关系和发光效率的提高两方面进行研究。一方面,设计合成了不同芳香环与 iBTI 耦合的类螺烯分子。化合物的热稳定性好、消旋能垒大,具有 p 型半导体特性。单晶结构分析、理论计算和 OFET 器件制备结果均表明:此系列类螺烯末端环结构的改变影响了外消旋体中不同手性对映体间的相互作用,导致分子间具有不同的堆积形式,进而较大程度影响了电荷传输性质;而对于纯手性对映体间的堆积模式影响不大。这进一步说明了手性结构对材料载流子迁移率大小的影响。另一方面,设计合成了一系列 D- $\pi$ -A 型类螺烯发射体,有效提高了类螺烯的发光效率,其对映体的发光量子产率 ( $\Phi_F$ ) 最高可达 10.9%,比未修饰的螺烯骨架的  $\Phi_F$  值提高 10 倍以上,发光不对称因子 ( $|g_{lum}|$ ) 均达  $5 \times 10^{-4}$ 。

### 参考文献

- [1] Brandt, J. R.; Salerno, F.; Fuchter, M. J. *Nat. Rev. Chem.* **2017**, 1, 0045.
- [2] Zeng, C.; Xiao, C.; Feng, X.; et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, 57, 10933.
- [3] Ohtsuka, N.; Nakano, M.; Nakagawa, S.; et al. *Chem. Commun.* **2020**, 56, 12343.
- [4] Zhang, L.; Song, I.; Ahn, J.; et al. *Nat. Commun.* **2021**, 12, 142.
- [5] Yang, S.-Y.; Zou, S.-N.; Kong, F.-C.; et al. *Chem. Commun.* **2021**, 57, 11041.
- [6] Yang, S.-Y.; Tian, Q.-S.; Liao, X.-J.; et al. *J. Mater. Chem. C* **2022**, 10, 4393.
- [7] Qu, D.; Li, L.; Qin, Y.; Liu, Y.; Li, G.; Qi, T.; Liu, Y. *Org. Lett.* **2023**, 25, 938.

### D24-302A-34

#### 窄光谱有机发光材料与器件

张跃威\*  
清华大学

面向国家广色域显示技术发展的重大需求,基于多重共振 (MR) 的窄光谱有机发光材料是目前 OLED 研究的前沿和难点。针对早期 MR 体系结构和发光颜色单一的瓶颈性难题,我们围绕“高光效”、“全光色”和“高色纯”三大核心指标,开发出新型的 BCz-BN 共振骨架、提出“协同耦合”光色调节方法、创制“杂环芳烃稠合多重共振”光谱窄化策略以及发展“立体包覆”聚集态特性调控思路,研制出一系列高性能窄光谱 MR 染料,构筑了高效率、高色纯度的全光色器件,多次刷新国际 OLED 的性能纪录,在新一代窄光谱发光材料领域形成了特色优势。

### D24-302A-35

#### Supramolecular Organic Cocrystals

Yu Wang\*, Wenping Hu  
Tianjin University

Cocrystal engineering, involving the assembly of two or more components into a highly ordered solid-state superstructure, has emerged as a popular strategy for designing advanced functional materials. These cocrystals not only maintain the properties of their individual components, but also display multifunctional or innovative properties. Rigid macrocycles serve as ideal building blocks for constructing organic cocrystals on account of their ability to form diverse supramolecular architectures and possess a wide range of optical, electronic, and magnetic properties. We focus on the design and synthesis of supramolecular organic cocrystals by employing the outer surface interactions between preorganized macrocycles and conjugated guests, and further exploration of their applications in intelligent nonlinear optical media, photothermal imaging and optoelectronic devices, with the aim of tackling critical societal challenges in energy conversion, biomedical sciences and semiconductor

industry.

**D24-302A-36****激子裂分材料的设计、合成和超快动力学研究**

付红兵\*

首都师范大学

激子裂分是有机材料中一类特殊的激子倍增过程，有望克服肖克利-奎瑟极限而大幅提高太阳能电池的能量转化效率。我们从激子裂分材料的设计合成、构效关系和裂分机理三方面开展了系统性研究。1、提出了“基态激发态双芳香性”设计策略，利用内酰胺键互变共振结构实现了从基态  $4n+2\pi$  到激发态  $4n\pi$  电子结构的转变，同时满足基态休克尔（Hückel）和激发态贝尔德（Baird）芳香性，兼顾材料体系的结构稳定性和激子裂分性质，构筑了一类超稳定、高效实用的激子裂分材料体系（DPND），获得 173% 的三重态产率。2、提出了分子内激子裂分作用机理。考虑到多激子暗态一般光谱“不可见”和“瞬时”等特征以及多激子态“强耦合作用”制约，我们设计合成了基于苯并二吡咯酮（DPP）的异构体 BDPP，并结合多参考态理论模拟方法（XDW-CASPT2）和瞬态吸收光谱技术手段首次精确捕捉到了关键的高能级  $31A_g$  多激子暗态，证明了由高能级多激子暗态介导的分子内激子裂分新机制。超快的激子裂分速率（10 ps<sup>-1</sup>）和固态薄膜三重态的有效分离（ $\Phi_T = 179\%$ ）使得该类型分子内激子裂分体系（BDPP）具有很好地应用前景。

**D24-302A-37****有机超高温光热材料**

秦安军\*

South China University of Technology, China

能源在人类生产和生活中扮演着重要的角色，然而，对不可再生能源的过度依赖导致了严重的环境问题，因此，利用可再生能源变得尤为关键，尤其是具有可再生且清洁的太阳能资源。太阳能利用有多种途径，包括光化学、光伏和光热转换等。在这些途径中，光热转换因其更高的太阳能利用效率而备受关注。无机材料已经表现出优异的光热转换能力，但通常存在设计复杂、加工性差和生物相容性不好等问题。而有机光热材料可以解决这些问题，使其在各种光热应用中具有巨大潜力。然而，目前有机光热材料制备方法较复杂，且应用主要集中于海水淡化和生物领域的光热治疗等低温（ $< 100\text{ }^\circ\text{C}$ ）应用，不能完全展示有机光热材料的潜能。

本报告将汇报我们利用自发和定量的[2+2]环加成-开环反应（CA-CR 反应）制备的加工性和热稳定好的有机近红外光热材料 ATT。该材料不仅可用溶液法制备，还可高效地利用研磨或者球磨的方法进行制备。光物理测试显示 ATT 粉末的吸收光谱可以拖尾到 2000 nm 以上，表明它具有全太阳光谱吸收能力。值得指出的是，ATT 粉末在光照下可以升温到  $450\text{ }^\circ\text{C}$ ，同时保持优异的光热稳定性。由于 ATT 具有卓越的光热性能和优异的加工性能，我们利用不同的加工方法将其用于各种高温应用，例如光引燃、光熔化、光冲压、光焊接和光控高温形状记忆等。

因此，我们的工作不仅提供了一种制备超高温且可加工有机光热材料的新方法，并为它们在高温环境中的应用开辟了道路。

**D24-302A-38****液晶高分子执行器的光控智能塑形**

俞燕蕾\*、王金雷、张霄羽、秦朗

复旦大学材料科学系

偶氮苯液晶高分子在紫外光照射下会产生偶氮苯基团的光致顺反异构，促使液晶基元的取向发生变化，这种有序排列的改变进一步引起整个高分子网络产生各向异性的宏观形变。由于光刺激具有远程局部精确操控的特点，并且可以通过改变波长、强度、偏振方向等多种参数进行调控，因此，光致形变液晶高分子在无线软体执行器的制备中具有独到的优势。目前，基于光致形变液晶高分子构筑的软体执行器已经具有

抓取、爬行、跳跃等功能，但大部分以一维纤维和二维薄膜为主要形式。制备其三维执行器则需要借助激光直写、3D 打印等专业化的精细设备。

近年来，我们提出了一种利用形状记忆效应构筑液晶高分子三维执行器的新策略。然而，热致形状记忆效应所需升高的温度往往会超过液晶高分子的相转变温度，破坏液晶的有序结构，导致其失去通过液晶基元排列变化而发生光致形变的执行能力。因此，我们率先建立了一种实现无热光致形状记忆效应的全新机制：以偶氮苯基元作为形状记忆效应的转变单元，可以在不改变体系温度的情况下，通过其光致异构化来光控调节高分子本身的玻璃化转变温度 ( $T_g$ )，使材料体系中储存的熵能得以释放，材料可以回复到永久形状，从而实现无热形状记忆。结合光刺激源可远程、定点、精确控制的优点，还实现了形状回复的局部控制。在此基础上，我们提出了一种先塑形再取向的策略：首先借助光致形状记忆效应精准调控形状的回复程度，实现光控塑形并构筑出三维结构器件；再通过退火自组装，使得此三维结构器件中形成液晶有序结构，从而实现光致形变。

#### D24-302A-39

### Carbon-based Functional Fiber Membrane Materials

Yu WANG\*

Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences

New carbon materials and process innovations are crucial to the development of energy, information, environmental and other engineering technologies. Low-dimensional carbon nanomaterials are rich in novel physical and chemical properties, providing new opportunities and broad development space for transformative leaps in the field of new chemical materials. The novel carbon matrix ceramic fibrous membrane is aimed to be constructed by microfluidic blow-spinning technology, and the influencing factors of the carbon matrix ceramic material will be investigated. The action mechanism of photothermal localization and its influence law of photothermal conversion performance are explored. The mechanism of its photothermal conversion efficiency enhancement will be revealed, which will lay the foundation for the construction of new materials and new methods for carbon matrix ceramic fibrous membranes with application prospects for efficient photothermal conversion.

#### D24-302A-40

### 手性微纳米材料的圆偏振发光

庄涛涛\*

中国科学技术大学

#### D24-302A-41

### 有机半导体纤维化制备 20%效率有太阳能电池器件

王涛\*

武汉理工大学

随着新型有机半导体分子的不断出现，有机太阳能电池的性能持续提升，单结器件效率已经超过 19%。如何调控有机光伏器件活性层中光伏组分由于分子间非共价相互作用而形成的聚集体结构，使其有利于光子吸收、激子解离和电荷传输，对制备高效稳定有机光伏电池至关重要，也是有机光伏领域的难点和热点。围绕这一目标，我们发展了多种物理、化学方法来调控有机电子给体和受体在分子尺度的有序聚集和微纳尺度的长程纤维聚集，突破了 20% 光电转换效率，建立了有机半导体分子结构-聚集体调控-光伏性能间的关键联系。

#### D24-302A-42

### 芳香二酮衍生有机/聚合物半导体材料

陈华杰\*

环境友好化学与应用教育部重点实验室, 湘潭大学化学学院, 湘潭. E-mail: chenjhoe@xtu.edu.cn

本课题组致力开发芳香二酮衍生有机/聚合物半导体材料, 该体系结合了经典梯形多元稠环、杂环和芳香酰亚胺/内酰胺的优势, 具有骨架平面性好、组装能力强、电子亲和力强以及结构易于修饰等优点<sup>[1-5]</sup>, 对其探索研究可丰富有机/聚合物半导体材料的种类, 发展全新的材料结构↔聚集态结构↔光电性质之间关系的研究平台。目前, 主要进展如下:

1) 开发了高迁移率芳香二酮类聚合物半导体分子体系, 其空穴和电子迁移率分别达 10 和 1.0 cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> 以上, 其空穴迁移率可媲美经典的酰亚胺/内酰胺类聚合物半导体材料体系<sup>[4]</sup>;

2) 发展了室温闹文革缩合策略, 构建了四重氰基取代 n-型稠环二酰亚胺和多氰基取代双极性梯形共轭聚合物, 实现低的 LUMO、高的电子迁移率( $\mu_e > 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )和强的红色荧光性质<sup>[2]</sup>;

3) 开发了系列可溶解、稳定以及目前报道最长的 N-杂非交替共轭纳米带分子, 首次将其应用于有机非线性光学领域中, 展现出了优异的反饱和吸收非线性光限幅性能<sup>[1]</sup>;

4) 开发系列氮杂酞式强受体及其超低带隙聚合物半导体材料, 发现其吸收光谱可拓宽至 2000 nm 以上, 其薄膜场效应晶体管器件展现出典型的双极性传输特性。基于该类双极性共轭聚合物, 将其选择性掺杂成为单极性 p-型或者 n-型半导体材料<sup>[3]</sup>。

### 参考文献

- [1] Song, Y.; Sun, J.\*; He, X.; Liao, M.; Zhao, J.; Zeng, W.\*; Zhou, S.; Chen, H\*. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2023**, **62**: e202306418.
- [2] Wu, Z.; Liu, W.; Yang, X.; Li, W.; Zhao, L. L.; Chi, K.; Xiao, X.; Yan, Y.; Zeng, W.; Liu, Y.; Chen, H.\*; Zhao, Y\*. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2023**, **62**: e202307695.
- [3] (a) Yang, J.; Zhao, L.; Yin, Z.; Wang, J.; Zhao, Y.\*; Chen, H.\*; Liu, Y. *Macromolecules*, **2021**, **54**: 3120; (b) Chen, H.\*; Cai, G.; Guo, A.; Zhao, Z.; Kuang, J.; Zheng, L.; Zhao, L.; Chen, J.; Guo, Y.\*; Liu, Y\*. *Macromolecules*, **2019**, **52**: 6149; (c) Chen, Y.; Zhao, L.; Chen, P.; Li, Y.; Guo, J.; Liu, Y.; Qiu, X.; Chen, K.; Chen, H.\*; Lu, X.; Jiang, L.; Liao, L.; Nguyen, T.\*; Hu, Y.\* *Matter*, **2022**, **5**: 2882.
- [4] Tao, X.; Li, W.; Wu, Q.; Wei, H.; Yan, Y.; Zhao, L.; Hu, Y.; Zhao, Y.\*; Chen, H.\*; Liu, Y. *Adv. Funct. Mater.*, **2023**, **33**: 2210846.
- [5] Yang, X.; Yan, Y.; Zeng, W.; Song, Y.; Li, W.; Zhao, L.; Zhao, Y.\*; Chen, H.\*; Liu, Y. *Chem. Commun.*, **2021**, **57**: 7822.

### D24-302A-43

#### 半透明有机光伏研究

程沛\*

四川大学

太阳能作为热门的清洁能源之一, 近年来迎来巨大发展, 其中有机光伏凭借重量轻、半透明、轻薄和柔性等优点成为目前热门的研究和发展领域之一。半透明有机光伏在光伏建筑一体化、农业大棚、智能窗户等多种场景中具有广泛应用, 成为了有机光伏的一个重要研究方向。最近, 我们通过构筑宽带隙无机半导体/窄带隙受体“层层”活性层; 通过小分子添加剂构筑吸收红移且展宽变窄的给体层; 构筑宽带隙第三组分/中带隙给体/窄带隙受体三元共混活性层等策略制备了高性能的半透明有机光伏, 并深入研究了半透明光伏与不透明光伏性能差异的机理问题。

### 参考文献:

- [1] Li, Y.; Wang, J.\*; Yan, C.; Zhang, S.; Cui, N.; Liu, Y.; Li, G.; Cheng, P.\* *Joule* 2024, DOI: 10.1016/j.joule.2023.12.011.
- [2] He, W.; Li, H.; Ma, R.; Yan, X.; Yu, H.; Hu, Y.; Hu, D.; Qin, J.; Cui, N.; Wang, J.; Lu, S.; Yan, C.\*; Li, G.; Cheng, P.\* *Adv. Funct. Mater.* 2024, DOI: 10.1002/adfm.202313594.
- [3] Yu, H.; Wang, J.\*; Zhou, Q.; Qin, J.; Wang, Y.; Lu, X.; Cheng, P.\* *Chem. Soc. Rev.* 2023, **52**, 4132-4148.

- [4] Kong, W.; Wang, J.;\* Hu, Y.; Cui, N.; Yan, C.; Cai, X.; Cheng, P.\* *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62, 2307622.
- [5] Hu, Y.;† Wang, J.;† Yan, C.; Cheng, P.\* *Nature Rev. Mater.* 2022, 7, 836-838.
- [6] Zhao, Y.; Cheng, P.;\* Yang, H.; Wang, M.; Meng, D.; Zhu, Y.; Zheng, R.; Li, T.; Zhang, A.; Tan, S.; Huang, T.; Bian, J.; Zhan, X.; Weiss, P. S.; Yang, Y.\* *ACS Nano* 2022, 16, 1231-1238.
- [7] Cheng, P.; Wang, H.-C.; Zhu, Y.; Zheng, R.; Li, T.; Chen, C.-H.; Huang, T.; Zhao, Y.; Wang, R.; Meng, D.; Li, Y.; Zhu, C.; Wei, K.-H.; Zhan, X.; Yang, Y.\* *Adv. Mater.* 2020, 32, 2003891.
- [8] Liu, Y.;† Cheng, P.;\*† Li, T.; Wang, R.; Li, Y.; Chang, S.-Y.; Zhu, Y.; Cheng, H.-W.; Wei, K.-H.; Zhan, X.; Sun, B.;\* Yang, Y.\* *ACS Nano* 2019, 13, 1071-1077.

#### D24-302A-44

### 空穴陷阱在量子点发光二极管老化中的形成

牛泉

华南理工大学

#### D24-302A-45

### 有机半导体材料中室温汉勒效应探索

秦阳、郭立丹、谷现荣、胡顺华、孙向南\*

国家纳米科学中心

自旋注入和输运是自旋电子学领域的核心研究内容，而汉勒效应是自旋注入和输运的最关键证据。有机半导体材料具有较弱的自旋-轨道耦合（SOC）作用，其中电子自旋寿命很长，被认为最具潜力实现室温高效自旋输运；但同样由于较弱的 SOC 作用，室温下材料中仅 0.1% 的自旋电子可以响应外部磁场作用，传统有机自旋电子器件中室温汉勒效应检测的信噪比（ $<0.01\%$ ）和完全自旋极化电流（ $\sim\text{pA}$ ）远低于目前先进电学测试设备的下限（0.1%，1 nA），无法利用现有手段实际测量。目前，有机半导体材料中室温汉勒效应检测已经成为自旋电子学领域发展面临的重大挑战。我们组将有机半导体材料独特的光电特性与自旋输运相耦合，构建了有机光电耦合自旋功能器件，通过光照-偏压协同调控，该器件可以实现放大磁电流和完全自旋极化电流的功能，为有机半导体材料中室温汉勒效应探索提供了全新的研究思路。基于这一器件，汉勒效应检测的信噪比（0.1%）已经可以实际测量，但完全自旋极化电流（0.08 nA）尚未突破测量的分辨率极限。因此，有机半导体材料中室温汉勒效应检测的关键在于通过优化自旋注入与输运提高室温下器件输出的完全自旋极化电流。首先，我们通过有机半导体输运层结构设计，首次将不完整异质结构有机半导体输运层引入到有机光电耦合自旋功能器件中，一定程度上提高了室温下器件输出的完全自旋极化电流，并首次实验上发现了异质界面会阻碍自旋输运。其次，我们通过有机半导体注入层材料调控，将自行设计研发的小分子界面层引入到有机自旋电子器件顶部界面处，室温下自旋注入效率与输出的完全自旋极化电流均获得了显著提升，获得了目前室温下最高的完全自旋极化电流（2 nA）。上述研究工作为有机半导体中室温汉勒效应探索奠定了坚实的基础，有利于推动未来有机自旋电子学领域内全新自旋功能器件的开发和应用。

#### 报告人已发表学术论文：

1. Shunhua Hu, Yang Qin, Shuhang Lu, Xiangnan Sun, et al., Interface engineering for enhancing air-stable spin-charge interaction in molecular spin-photovoltaic devices. *Adv. Funct. Mater.*, 2315239, 2024. （共一及通讯作者）
2. Yang Qin, Xianrong Gu, Lidan Guo, Xiangnan Sun, et al., Incomplete hetero-structure molecular layer enhancing room-temperature spin-photovoltaic performances. *Nano Today* **49**, 101763, 2023. （第一作者）
3. Tingting Yang, Yang Qin, Xianrong Gu, Xiangnan Sun, Molecular design for enhanced spin transport in molecular semiconductors. *Nano Res.* **16**, 13457-13473, 2023. （共一作者）
4. Xianrong Gu, Yang Qin, Lidan Guo, Xiangwei Zhu, Xiangnan Sun, et al., High-performance floating-gate organic phototransistors based on n-type core-expanded naphthalene diimides. *Chin. Chem. Lett.* **34**, 107306,

2023. (共一作者)

5. Yang Qin, Yilin Chang, Xiangwei Zhu, Xiangnan Sun, et al., 18.4% efficiency achieved by the cathode interface engineering in non- fullerene polymer solar cells. *Nano Today* **41**, 101289, 2021. (第一作者)

6. Lidan Guo, Yang Qin, Xiangwei Zhu, Xiangnan Sun, et al., Spin transport in organic molecules. *Front. Chem.* **7**, 428, 2019. (共一作者)

#### D24-302A-46

##### 单壁碳纳米管直径对氢气传感器性能的影响

郑哲\*

中国工程物理研究院材料研究所

氢能作为下一代备选能源, 具有资源丰富、燃烧热值高、产物绿色环保、可持续利用等优点。但爆炸极限范围宽、检测技术仍有较大发展空间等问题, 为安全使用氢能造成了一定障碍。快速、准确的氢气传感可利用氢与金属结合改变器件电阻的原理实现。这类传感器一般以钯为敏感材料, 钯对氢气的敏感程度极高。而将钯负载于单壁碳纳米管上, 利用单壁碳纳米管自身的高载流子迁移率可以进一步提高器件的灵敏度(单壁碳纳米管自身对氢气响应极弱)。然而, 单壁碳纳米管不同的管径具有不同能级, 响应信号随管径增加而降低; 此外钯上结合的氢会向单壁碳纳米管溢散, 从而导致信号对冲、降低响应, 降低程度随管径增加而减弱, 即响应信号随管径增加而增加。由于这两种作用的影响相反, 故为保证获得高灵敏度器件, 需要考虑权衡两种影响, 选出较为适合制备传感器的管径。

本组采用“管径分离-管壁修饰”的方式提高钯-单壁碳纳米管基的氢气传感器的灵敏度。通过筛选管径、对比, 选择出两类分离管中响应较高的管径集中于 0.7 ~ 1.2 nm; 以酸等刻蚀管壁、以 MOF 等材料修饰改变材料电子结构, 进一步明确其结构-性能影响、提升灵敏度, 最终制备出响应度超过 20000 % 的氢气传感器(氮气环境), 并且发现该传感器在空气与水蒸气氛围中, 仍可以检测出较高的氢气信号。

#### D24-302A-47

##### 有机半导体纤维与纤维电子

张志\*

北京大学

纤维具有独特的一维结构、柔韧性和可编织性, 非常适合无缝集成到日常可穿戴设备中, 在可穿戴电子领域展现出巨大潜力。对于纤维电子而言, 机械性能和电学性能都至关重要。然而, 目前同时实现良好的机械性能和器件性能仍面临挑战。共轭高分子独特的光电性能使其具有广阔的应用前景, 将其加工成纤维将进一步拓展共轭高分子的应用。然而, 共轭高分子较差的机械性能和纺丝工艺不成熟阻碍了其在纤维电子和可穿戴领域的应用。

近期, 我们通过通过流动增强结晶(FLEX)的湿法纺丝工艺, 成功将多种共轭半导体纺成纤维, 并实现了纤维的连续化生产。与传统的湿法纺丝方法不同, 我们显著降低了纺丝液的浓度, 促进聚合物链在拉伸流和剪切流的作用下解聚。进一步调控凝固浴中的溶剂扩散模式和后牵伸, 增强了聚合物链在纤维中的有序排列和结晶。加工得到的共轭半导体纤维展现出良好的力学性能和电学性能, 可以用作多种纤维电子器件。例如, 我们开发了纤维热电(OTE)和纤维有机电化学晶体管(OECT)加工工艺, 实现了器件性能的飞跃。基于高性能的纤维 OECT 器件, 作者还开发了高灵敏度生物传感器和心电信号传感器, 表现出良好的灵敏度或信噪比。

#### D24-302A-48

##### 纳米空间分辨率的聚合物半导体掺杂研究

项兰义\*

Chinese Academy of Sciences University

纳米聚合物半导体掺杂可以克服高度集成柔性电子电路的尺寸限制, 但受限于掺杂剂各向同性扩散

仍未实现。在本工作中,受传统无机单离子注入掺杂启发,我们发展了一种电化学类离子注入掺杂的方法,实现了纳米级分辨率的聚合物半导体掺杂。该方法的核心思路是将对离子的电迁移限制在由室温离子液体和高玻璃化转变温度绝缘聚合物组成的玻璃态电解质内。通过精确调控电解质玻璃化转变温度( $T_g$ )和环境温度( $T$ ),我们成功创建了高度局部化的电场分布和几乎垂直于纳米尖端电极的各向异性离子迁移。基于此,我们实现了 56 nm 的掺杂分辨率,其中最低横向扩展掺杂长度(LDL)低至 9.3 nm,是当前聚合物半导体掺杂分辨率的最优值。此外,我们还揭示了该方法的掺杂分辨率对玻璃化转变温度和环境温度差值( $T_g-T$ )具有普遍的指数依赖性,为其他体系的高分辨率聚合物半导体掺杂提供了指导。最后,我们还展示纳米掺杂在提升有机晶体管性能和构建无缝 p-n 二极管中的应用,其中机晶体管性能可提升 200%以及 p-n 横向结宽度低于 100nm。结合该掺杂方法的可扩展性论证,电化学离子注入掺杂有望为纳米聚合物电子学提供新的机遇。

#### D24-302A-49

##### 单分子电子学研究

郭雪峰

北京大学

#### D24-302A-50

##### 有机半导体内的痕量氧掺杂

李立强\*

天津大学

有机半导体是新一代大面积、低成本柔性光电器件的重要候选材料之一,其光电性质受到微量杂质的显著影响。深入理解微量杂质的作用机制,发展精确可控的掺杂技术,是实现高性能、高稳定性有机光电器件可重复制备的关键。我们揭示了有机半导体内普遍存在痕量( $10^{-15}/\text{cm}^3$ )氧,其与有机半导体相互作用,形成超氧根阴离子自由基和有机半导体阳离子自由基,这是一种 p 型掺杂状态。我们开发了一种基于软等离子体的无损脱氧方法,成功实现了有机半导体中的痕量氧脱附(即去掺杂),进一步开发了光氧协同处理再掺杂技术。基于去掺杂和再掺杂技术,可实现对于有机半导体关键电学性能(如极性、电导率、阈值电压和迁移率)的无损精确调控。这项发现意味着此前大量关于有机半导体“本征性质”的研究实际上都是基于“自然掺杂”的材料,该发现能够解释目前有机半导体领域内诸多难以理解的现象,有助于基础理论体系的完善,为其本征光电性质和可控掺杂的研究开辟了新思路。

**关键词:** 有机半导体; 痕量氧掺杂; 等离子体去掺杂; 有机场效应晶体管

##### 参考文献

- [1] Huang, Y.; Chen, X.; Wu, K.; Sun, Y.; Hu, Y.; Wang, Z.; Yuan, L.; Wang, S.; Ji, D.; Zhang, X.; Dong, H.; Hu, W. Unraveling the crucial role of trace oxygen in organic semiconductors. *Nat. Commun.* 2024, 15, 626.
- [2] Fu, Y.; Zhu, J.; Sun, Y.; Sun, S.; Tie, K.; Qi, J.; Wang, Y.; Wang, Z.; Hu, Y.; Ding, S.; Huang, R.; Gong, Z.; Huang, Y\*.; Chen, X\*.; Li, L\* and Hu, W. Oxygen-Induced Barrier Lowering for High-Performance Organic Field-Effect Transistors. *ACS Nano* 2023, 17(15), 15044–15052.
- [3] Sun, S.; Zhu, J.; Wang, Z.; Huang, Y.; Hu, Y.; Chen, X\*.; Sun, Y\*.; Li, L\* and Hu, W. Oxygen-induced Lattice Strain for High-performance Organic Transistors with Enhanced Stability. *Adv. Mater.* 2023, 35, 2306975.

#### D24-302A-51

##### 高效有机光电转换机理的理论研究

易院平\*

中国科学院化学研究所

为实现光电转换,有机光伏电池需经历光吸收生成激子、激子扩散、激子分离产生电荷、电荷迁移和电荷收集等一系列电子过程,同时存在激子衰减和电荷复合等能量损失过程。我们将重点探讨高效非富勒

烯有机光伏电池电荷产生、电荷迁移和电荷复合过程，阐明极化效应、超交换耦合和自旋三线态的影响机制，尝试为进一步提高有机光伏效率给出新的见解和思路。

#### D24-302A-52

##### 酰亚胺基 n-型高分子光伏材料

孙会靓\*

赣南师范大学

有机半导体是当今材料化学领域的前沿课题，具有重要的商业应用价值。由于有机电子器件中普遍存在的 p-n 结和互补电路，n-型有机/高分子半导体对有机电子器件不可或缺。相比 p 型材料，n-型高分子在材料设计与合成、分子能级和聚集态结构调控等方面的巨大挑战，使得 n-型高分子材料种类少且性能明显滞后，限制了高性能器件和电路的发展，亟需加快 n-型高分子半导体材料创制方面的突破。本次报告将介绍 n-型高分子半导体材料的发展以及报告人在新型双噻吩酰亚胺衍生物化学创制及其 n-型高分子半导体材料的设计与合成方面的研究工作。重点介绍新型 n-型高分子半导体材料在有机光伏电池中的应用。

#### D24-302A-53

##### 硼氮杂有机半导体材料

王小野

南开大学化学学院，元素有机化学国家重点实验室，天津，300071

有机共轭功能分子是有机光电材料与器件这一前沿领域的化学基础与创新源头。将杂原子掺杂到稠环共轭骨架中是调控分子电子结构与性质、构筑新型材料体系的有效途径，赋予有机光电子学发展新的机遇。近年来，硼（B）掺杂的有机稠环共轭分子获得了广泛关注，在有机光电器件领域产生了重要影响，代表了新型共轭材料创制的前沿方向。然而，如何在稠环共轭体系中精准掺杂多个杂原子，杂原子间如何协同作用进而调控稠环共轭分子的光电过程是该领域尚需解决的关键科学问题。本报告将围绕硼氮杂稠环共轭材料的精准构筑方法与多杂原子协同调控机制的问题，汇报我们课题组在新型共轭分子的设计合成与多杂原子协同作用调控光电过程研究中的进展<sup>[1-5]</sup>。

**关键词：**共轭分子；有机半导体；硼氮

##### 参考文献：

- [1] Ji-Kun Li#, Ming-Yu Zhang#, Le Zeng, Ling Huang\*, Xiao-Ye Wang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62, e202303093.
- [2] Wanhui Li#, Cheng-Zhuo Du#, Xing-Yu Chen, Lin Fu, Rong-Rong Gao, Ze-Fan Yao, Jie-Yu Wang, Wenping Hu, Jian Pei, Xiao-Ye Wang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61, e202201464.
- [3] Cheng Chen, Ming-Wei Wang, Xing-Yu Zhao, Shuang Yang, Xing-Yu Chen, Xiao-Ye Wang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61, e202200779.
- [4] Cheng Chen#, Jiayi Lu#, Yang Lv, Yuyi Yan, Qiang Sun\*, Akimitsu Narita, Klaus Müllen\*, Xiao-Ye Wang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61, e202212594.
- [5] Ji-Kun Li, Xing-Yu Chen, Yun-Long Guo, Xin-Chang Wang, Andrew C.-H. Sue, Xiao-Yu Cao, Xiao-Ye Wang\*, *J. Am. Chem. Soc.* 2021, 143, 17958–17963.

#### D24-302A-54

##### 多米诺骨牌效应诱导的“刚致变色”现象

黄伟国\*

中国科学院福建物质结构研究所

传统的荧光探针随着基质刚性增强而发生荧光发射蓝移或强度改变，这一现象被称为“刚致变色”效应。我们最近研究发现：基于菲啶单元的大  $\pi$  共轭荧光分子呈现出明显的“反刚致变色”效应，即其荧光发射随着基质刚性增强而明显红移，并实现了从蓝色到橙红色的准全色系荧光变化。进一步机理研究表明：荧光

探针分子和聚合物基质之间的 polar- $\pi$  相互作用促使分子间呈多米诺骨牌形式进行规整排列, 由此产生长程空间共轭效应, 进而导致分子间形成的电荷转移复合物和“反刚致变色”现象。相比于传统的“刚致变色”效应, “反刚致变色”效应在信号识别和量化输出、穿透深度以及灵敏度等方面存在显著优势。利用“反刚致变色”效应, 我们成功地实现了可视化实时追踪聚合反应动力学与分子量, 原位监测聚合物降解, 并发展了基于聚合物自由体积变化的高端信息加密和防伪技术。

#### 参考文献

- [1] Yao Ling, Jie Liu, Yu Dong, Yuanyuan Chen, Jiamao Chen, Xiaolan Yu, Baoshuai Liang, Xiaocheng Zhang, Wei An, Donghui Wang, Shiyu Feng, Weiguo Huang\*, *Adv. Mater.* 2023, 202303641.
- [2] Wei Huang, Shiyu Feng, Jie Liu, Baoshuai Liang, Ya Zhou, Mengya Yu, Jiayuan Liang, Jiaguo Huang, Xujie Lü, Weiguo Huang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, e202219337.
- [3] Shiyu Feng, Lijuan Zhu, Donghui Wang, Cong Li, Yuanyuan Chen, Xiaowei Chen, Jie Liu, Wei Huang, Yao Ling, Weiguo Huang\*, *Adv. Mater.* 2022, 2201337.
- [4] Jiamao Chen, Yuanyuan Chen, Jie Liu, Shiyu Feng, Wei Huang, Yao Ling, Yu Dong, Weiguo Huang\*, *J. Am. Chem. Soc.* 2024, 146, 2604.
- [5] Yu Dong, Huacan Wu, Jie Liu, Shiyu Zheng, Baoshuai Liang, Chuang Zhang, Yao Ling, Xiaosong Wu, Jiamao Chen, Xiaolan Yu, Shiyu Feng, Weiguo Huang\*, *Adv. Mater.* 2024, 2401294.

#### D24-302A-55

##### 有机功能分子非辐射过程调控及其应用探索

顾星桂\*

北京化工大学

有机功能共轭分子材料因其  $\pi$  离域电子易调节特性, 被赋予了丰富的激发态调控及其能量转换性质, 在生命健康、能源、环境等领域具有广泛的应用前景。可控调控其激发态过程将会实现激发态能量转换方式和效率的按需定制, 从而决定材料的功能。除分子结构外, 分子聚集时形成的内在复杂弱相互作用(聚集微环境, Aggregation Microenvironment, AME) 对其激发态过程具有重要的调控作用。为此, 我们利用化学方法和物理原理, 创新分子结构设计, 构建特征聚集微环境, 秉承“聚集微环境精准调控非辐射过程”的研究理念, 提出了“空间限域聚集微环境有效抑制非辐射过程”和“双自由基特征聚集微环境精准调控非辐射过程”的激发态调控新策略, 定制激发态能量按需、高效转换, 开发有机功能分子高效发光、光热转换、光敏化新材料, 探索其在传感检测、医学光诊疗和能源利用等领域的应用。

#### D24-302A-56

##### 铁电聚合物在有机场效应晶体管中的应用探索

赵强\*

中国民航大学

PVDF 及其共聚物是铁电聚合物中的明星材料, 因其优异的铁电性、热释电性和压电性质被广泛应用于压电传感、力电转换、能量补集、电制冷、红外探测、信息存储、仿神经突触等各类柔性、可穿戴电子器件。有机铁电晶体管以场效应晶体管为基础发展而来, 因具有本征柔性, 低功耗, 生理相容性良好, 电学特性优异等诸多优势, 是实现上述应用的重要元器件之一。目前, 关于它的研究十分多样, 主要集中在非挥发存储、光热探测、类突触响应器件、有机电路等方向, 主要面临的问题也集中在器件电学特性规律难把握, 稳定性和均一性不足, 工艺复杂难推广等方面。为有效改善上述问题, 我们尝试开发低成本工艺连续制备具有自发极化取向的 PVDF 铁电薄膜, 简化随机存储元器件制备工艺, 利用反相器构型开发低功耗抗干扰性强的新型分压型存储单元, 开发基于铁电调制效应且同时具有长、短时效类突触响应器件。此外, 在机制研究方面, 我们将有机铁电晶体管的电学特性和有机铁电晶体管中的核心界面问题联系起来, 提出铁电极化调制下载流子传输特性主要由铁电层、半导体层及其界面效应(整体)协同作用决定。在系列研究中, 采用在铁电晶体管中耦合光响应、电荷充放等次级过程探究其电学特性, 对关键界面进行改性

深入探索其影响机制，为有机铁电晶体管的创新应用开发提供一种有效的研究策略。

**D24-302B. 功能分子材料与器件**

分会主席：刘云圻、胡文平

**D24-302B-01****面向柔性显示的有机半导体材料设计及性能调控**

张晓宏\*

苏州大学

柔性显示技术代表了未来显示技术的发展方向，集成有机发光二极管（OLED，显示发光器件）和有机场效应晶体管（OFET，显示驱动器件）的全有机本征柔性显示器件是国际前沿研究方向。然而，由于在 OLED 显示发光、OFET 显示驱动等方面仍存在诸多亟需突破的关键科学问题，严重制约了全有机柔性显示器件性能的提升及应用。

在柔性显示 OLED 发光材料的设计及性能调控方面，面向超高清显示的发展方向，提出了基于高度扭曲刚性稠环  $\pi$  共轭体系和硼/氮/羰基杂化的高效、高色纯度 OLED 发光材料设计策略，揭示了有效提升反向系间窜越速率、窄化发光谱带、提升材料器件稳定性的机制，发展了一系列兼具高效、高色纯度及高器件稳定性的 OLED 发光材料，器件性能处于国际先进水平，为发展面向超高清显示的柔性显示发光器件提供了重要科学依据。

在柔性显示 OFET 驱动材料与器件设计方面，提出了表面微结构限域高迁移率有机微纳单晶外延生长新方法，实现了晶圆级以上、多组元、多层次，以及图案可设计的有机微纳单品有序阵列的可控制备，使 OFET 材料的电学性能及均匀性得到了极大提升；在此基础上，发展了界面分子解耦的 OFET 器件设计新策略，实现了接近热电子理论传输极限的低电压、高驱动电流、空气稳定的 OFET 器件，为实现高性能柔性显示驱动器件奠定了科学基础。

**D24-302B-02****有机-无机复合钙钛矿射线探测晶体**

陶绪堂\*

山东大学

本报告将介绍我们在有机-无机复合钙钛矿射线探测方面的研究结果，包括采用不同方法生长的  $\text{MAPbI}_3$ ,  $\text{MAPbBr}_3$ ,  $\text{CsPbBr}_3$ , 混卤化合物及最新发展的  $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ 、 $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5:\text{Mn}$  晶体的半导体性质或闪烁性质以及这些钙钛矿晶体用于射线探测方面的最新进展。

**D24-302B-03****仿生视觉材料与器件**

黄辉

中国科学院大学，北京市

仿生视觉是实现人工智能的重要基础。由于具有生物相容性高、能耗低等优点，有机光电突触是实现仿生视觉的最佳选择。然而，目前的有机光电突触的研究还处于初始阶段，无论从材料、器件方面都尚不成熟。本报告将从有机光电突触的材料和器件方面介绍最新研究进展。

**关键词：**仿生视觉、有机光电突触、低能耗、生物相容性

**参考文献**

- [1] J. Am. Chem. Soc. 2023, 145, 11988.
- [2] Angew. Chem. Inter. Ed. 2023, 62, e202213733.
- [3] Nano-Micro Lett. 2023, 133, 15.

**D24-302B-04****三维共价有机框架材料的分子设计**

汪成\*、桂波、程远朋  
武汉大学

共价有机框架 (Covalent Organic Frameworks, COFs) 是一类新型的有机多孔材料, 具有结构规整、孔道均一等特点, 在气体吸附与分离、催化、传感、光电功能器件、能源等方面展现出诱人的应用前景格外引人注目。当前, COFs 领域研究重点主要集中在二维 COFs, 而关于三维 COFs 的研究报道比较少。究其原因, 主要是三维 COFs 的合成难度大、结构解析困难、可供选择的四面体节点稀缺等。在过去的几年中, 我们针对这些问题展开了研究。本报告中, 将具体介绍我们通过控制构象来设计分子构筑单元并构筑三维 COFs 的研究进展。

#### D24-302B-05

##### 有机半导体单晶大面积有序生长及其高性能场效应晶体管

揭建胜\*、张秀娟、邓巍  
苏州大学

有机场效应晶体管具有可溶液法加工、材料种类多样、性能可调及本征柔性等特点, 作为柔性电子之“芯”, 在新一代大面积柔性电子及可穿戴电子等领域发挥不可或缺的作用。有机半导体单晶材料具有完美晶体结构, 克服了晶界及缺陷的影响, 其优异的光电性能使它成为构筑新一代高性能有机场效应晶体管的理想材料体系。然而, 有机单晶材料通常呈现出生长位置的随机性和生长取向的无序性, 大面积高度规整的有机单晶薄膜难以获得, 这给其器件的规模集成造成了困难, 严重阻碍了其实际应用的发展。针对上述关键科学问题, 我们率先提出一种表面微结构引导有机单晶阵列外延生长的新策略, 利用高精度微纳模板对流体的限域效应, 引导有机晶体精确定点定位成核及有序外延生长, 实现了有机单晶阵列的晶圆级大面积有序生长。我们进而发展了一种液-液界面单晶外延生长的新策略, 利用分子级平坦的液体界面作为外延基底, 通过精确控制晶体成核及二维外延生长, 实现了晶圆级连续单晶薄膜的生长。在此基础上, 我们进一步探索了有机单晶在高性能集成器件以及新型功能器件中的应用, 实现了具有较高集成度的有机单晶场效应晶体管阵列的构筑, 并拓展了其在人工仿生视觉及可穿戴电子等新型器件领域中的应用。上述工作作为有机单晶电子学的发展提供了新的思路。

#### D24-302B-06

##### 自由基近红外发光材料与器件

李峰

吉林大学化学学院, 超分子结构与材料国家重点实验室 长春市前进大街 2699 号, 邮编 130012

有机电中性自由基的是一类典型的开壳分子, 我们以电中性三苯基甲基自由基为核, 外围通过连接不同电子给体, 设计合成 D-A 类型的自由基发光材料, 通过调控 HOMO-SUMO 的带隙, 获得了具有高 PLQE 的近红外发光材料, 通过优化器件结构, 获得了峰值波长超过 800nm, 外量子效率接近 10% 的近红外发光器件<sup>[1-3]</sup>。

##### 参考文献

- [1] K. Lv, M. Zhang, F. Li\*, Efficient radical-based near-infrared organic light-emitting diodes with an emission peak exceeding 800 nm, *J. Mater. Chem. C*, 11 (2023) 15892-15897.
- [2] J. Ding, M. Zhang, Y. Gao, C. Lu, M. Zhang, F. Li\*, A Simple Molecular Design Strategy for Luminescent Radicals to Achieve Near-Infrared Emission, *The journal of physical chemistry letters*, 14 (2023) 8244-8250.
- [3] Hwan-Hee Cho, Sebastian Gorgon, Giacomo Londi, Samuele Giannini, Changsoon Cho, Pratyush Ghosh, Claire Tonnelé, David Casanova, Yoann Olivier, Tomi K. Baikie, F. Li\*, David Beljonne, Neil C. Greenham\*, Richard H. Friend\*, & Emrys W. Evans\*, Efficient near-infrared organic light-emitting diodes with emission from spin doublet excitons, *Nature Photonics* (2024) accepted.

**D24-302B-07****有机  $\pi$ -共轭材料光诊疗应用**

田雷蕾\*

南方科技大学

有机  $\pi$  共轭材料是一类具有离域的  $\pi$ -电子结构的有机分子材料,其发现使人们认识到有机材料可以具有光电磁功能性,相关研究在 20 世纪 50 年代形成一门新兴前沿学科。由于具有生物相容、光捕获能力强、分子结构灵活、光热磁电性质丰富等优点,近年来有机  $\pi$  共轭材料被广泛应用于生物及纳米医药领域,在生物传感、荧光及化学发光成像、光声成像、光热治疗、光动力治疗应用上显示出巨大潜力。未来为了进一步提升有机  $\pi$  共轭材料的实用生物医药价值,还需要建立材料结构-功能之间明确的构-效关系,以及开发有效的功能化方法、实现和靶向分子及药物分子的杂化复合以满足更高的生物医药需求。特别是后者需要依赖于学科交叉创新与实践。

我们围绕有机  $\pi$  共轭纳米材料难于进一步生物功能化、构-效关系复杂的科学问题,聚焦生物应用有机  $\pi$  共轭材料依靠分子间相互作用形成及稳定纳米结构的特点,以提升生物传感和疾病诊疗效果为功能导向,发展了系列新型有机  $\pi$  共轭生物材料。(1)开发了“先功能化后组装”的策略实现了有机  $\pi$  共轭纳米材料的核酸功能化,解决了有机  $\pi$  共轭纳米材料在生物传感、细胞及活体成像应用中靶向特异性差的问题,实现了有机  $\pi$  共轭纳米粒子在小鼠脑胶质瘤成像 1、单细胞基因成像 2 中的应用。(2)通过分子侧链设计调控有机  $\pi$  共轭材料纳米聚集态的  $\pi$ - $\pi$  堆积,实现光诊疗性能的提升,发展了多种特色有机光诊疗材料,如第一次发现了兼具高 NIR-II 发光的 I 型光动力治疗光敏剂。证明了聚集态调控除对明确构-效关系至关重要外,也可为发展特色高效光诊疗材料提供新的机制和途径 3-4。

[1] Xiao, F.; Li, L.; Chao, Z.; Shao, C.; Chen, Z.; Wei, Z.; Lu, J.; Huang, Y.; Li, L.; Liu, Q.; Liang, Y.; Tian, L.\* *Angew. Chem. Int. Ed.* 2020, 59: 9702.

[2] Xiao, F.; Fang, X.; Li, H.; Xue, H.; Wei, Z.; Zhang, W.; Zhu, Y.; Lin, L.; Zhao, Y.; Wu, C.; Tian, L.\* *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61: e202115812.

[3] Li, L.; Shao, C.; Liu, T.; Chao, Z.; Chen, H.; Xiao, F.; He, H.; Wei, Z.; Zhu, Y.; Wang, H.; Zhang, X.; Wen, Y.; Yang, B.; He, F.; Tian, L.\* *Adv. Mater.* 2020, 202003471.

[4] Zhu, Y.; Lai, H.; Guo, H.; Peng, D.; Han, L.; Gu, Y.; Wei, Z.; Zhao, D.; Zheng, N.; Hu, D.; Xi, L.; He, F.\*; Tian, L.\* *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2022, 62: e202117433 (Hot Paper).

**D24-302B-08****茚满二酮封端醌式化合物及其共轭聚合物的合成**

邓云峰\*

天津大学

醌式结构共轭小分子具有带隙窄、平面性好和刚性强的特点,在末端引入腈基(CN)、酯基(COOR)等吸电子基团后可使化合物具有极低的 HOMO 和 LUMO 能级,是目前重要的 n 型小分子半导体材料品种,将其引入到共轭聚合物中是高性能 n 型聚合物的潜在构造方法。然而目前文献报道的醌式结构末端含有强吸电子的单元,例如双氰基,难以引入聚合官能团。

1,3-茚满二酮是一类经典的缺电子单元,具有大的平面共轭骨架,被广泛应用于有机小分子半导体材料的构筑。从化学结构来看,茚满二酮包含一个双取代的亚甲基,能够满足作为醌式分子端基的结构要求。更为重要的是,茚满二酮具有良好的可修饰性,能够利用其末端苯环的修饰位点实现对醌式分子端基结构的调节。基于以上考虑,我们选取 1,3-茚满二酮为端基构新型醌式共轭体系,建立此类醌式化合物的高效合成方法。在此基础上,利用这类醌式化合物 LUMO 能级低的特点,构筑 n 型有机/聚合物半导体材料。

**D24-302B-09****新型有机半导体——从带状稠合芳烃到环状稠合芳烃**

陆雪峰\*

复旦大学

稠合芳烃作为一类核心  $\pi$  共轭分子材料，具有重要理论和应用研究价值。传统的高迁移率材料大都为带状稠合芳烃和单键相连的链状共轭体系，而环状稠合芳烃（如单壁碳纳米管的模型分子碳纳米带和纳米孔石墨烯片段等）作为一类新型的有机光电半导体材料，由于其独特的电子和空间几何结构特征而有望在有机光电子器件和高迁移率超分子材料领域获得突破性应用，其中主要的挑战是环状稠合芳烃的化学湿法精准合成困难，光电功能探索欠缺。我们在带状稠合芳烃的基础上，发展了构建几何结构可控的环状稠合芳烃新方法，开发了系列具有超分子电荷转移作用的环状稠合芳烃体系，揭示了环状稠合芳烃分子几何结构、超分子组装、聚集态结构和载流子传输性能的构效关系。这些研究成果表明环状稠合芳烃分子材料在超分子组装、传感检测和有机场效应晶体管领域具有广阔的应用潜力。

#### D24-302B-10

##### 固相电合成制备垂直取向聚合物单层

李茂\*

吉林大学

在新材料需求迅猛发展的背景下，学术界和工业界一直致力于开发新方法诱导和控制聚合物链的取向态，以实现材料性能突破。例如，共轭聚合物取向对光电薄膜的功能和性能起决定性作用，edge-on 和 face-on 取向在水平方向和垂直方向由于较高的迁移率，分别用来实现高性能场效应晶体管和太阳能电池（图 1a）。但是，微纳米尺度的 edge-on 和 face-on 聚合物取向在宏观表面难以实现取向一致性，链内传输电子不得不跳跃到相邻的链上完成电子转移过程。与 edge-on 和 face-on 取向相比，垂直基底的 end-on 取向（垂直取向）导电聚合物薄膜在沿着分子链方向理论上具有更高的压缩模量和导电性能。但是，柔性的聚合物易相互缠结，取向化需要更强的外场和更长的时间，且最终取向也不完全一致，阻碍了相关材料制备和物理性能研究。我们课题组利用交替的电化学氧化和还原反应，将单体逐一接枝到电极表面，成功实现垂直取向聚合物单层的逐步合成和精准制备（图 1b），并发现了一系列特殊材料性能。具体包括：（1）建立了固相电合成方法，实现了具有难溶难熔特征聚合物材料的精准电合成；（2）首次制备了垂直取向聚合物薄膜，其压缩模量和电子隧穿衰减系数分别为有机材料报道最高和最低值；（3）发展了单一取向聚合物的非线性电阻材料，制备出单体组成和序列结构层次上精准调控的高阶忆阻器，具有最高负微分电阻响应特征。

#### D24-302B-11

##### 有机半导体掺杂研究

胡袁源\*

湖南大学半导体学院（集成电路学院）

掺杂是调控半导体光电性质的重要手段。无机半导体硅的工业化应用建立在对硅高效可控掺杂的基础上。相比而言，有机半导体掺杂仍是有待解决的科学与工程问题。如何实现对有机半导体的高效 PN 掺杂？如何利用掺杂手段实现对有机半导体电学性质的调控以及器件性能的提升？如何将掺杂技术应用于实现新型器件的构建？上述问题一直是本领域力求解决的问题。在本次报告中，我们将汇报近期在有机半导体掺杂物理与器件方面的研究进展，包括有机半导体掺杂机制与掺杂物理、新型掺杂剂研发及掺杂技术在有机半导体器件中的应用。

#### D24-302B-12

##### 共轭聚合物材料及其自旋器件

于贵\*

中国科学院化学研究所

有机自旋电子学是一个新兴的研究领域。电子不仅具有电荷属性还具有自旋属性。有机自旋器件是将自旋属性引入有机电子学器件中，利用电荷和自旋共同作为信息传输的载体，它利于制备运行速度更快、功耗更小的超级芯片，实现量子计算和量子存储。

有机化合物具有弱的自旋-轨道耦合和弱超精细相互作用，有更长的自旋寿命。有机化合物种类多，易实现人工“剪裁”。同时，有机自旋器件的制备工艺简单，方法多，可低成本、制备大面积柔性器件，在量子传感器、量子计算机和三维存储方面具有广泛的应用前景。

近年来，D-A 型共轭聚合物引起了人们的广泛关注，被用来制备高效的有机光伏器件和有机场效应晶体管器件。D-A 型共轭聚合物具有强的分子间相互作用，有利于电荷传输和提高电荷载流子迁移率。高的载流子迁移率是有利于自旋弛豫。所以，我们合成了 D-A 型异靛蓝类聚合物和研究了分子结构与电荷/自旋传输性能的关系，开展了异靛蓝类聚合物的分子结构设计工程研究，利用异靛蓝单元中杂原子的引入和烷基链的改变类调控聚集结构。制备了基于异靛蓝类聚合物的有机自旋阀 (OSVs)，最高磁电阻 (MR) 为 25%，短的烷基链给出高的磁电阻，在异靛蓝单元中引入氮原子使磁电阻增大。此外，制备了基于 DPP 类聚合物的 OSVs，考察了磁性电极材料和聚合物的取代基对磁电阻的影响。最高磁电阻为 30%。与钴电极比，镍铁电极给出高的磁电阻。此外，我们设计、合成 D-A 型亚胺键链接的二维共轭聚合物，采用质子化策略制备了高质量聚合物薄膜，并构筑了 OSVs，观察到明显的磁阻响应，其磁阻值在 30 K 时高达 -26.5%。

#### D24-302B-13

##### 有机太阳能电池关键材料与高效器件研究

彭强

四川大学

#### D24-302B-14

##### Efficient, stable organic light-emitting diodes with over one micron thickness

王鹰

中国科学院理化技术研究所

Thick organic light-emitting diodes (OLEDs) are desirable for the high production yield of OLED-based displays and lightings, but the low carrier mobility of organic semiconductors will inevitably introduce high operating voltage and thus unsatisfied device performance of thick OLEDs. Here, we demonstrated high performance OLEDs over one micron thickness incorporating thick TAPC hole transporting layer and MoO<sub>3</sub>/SimCP2 hole injection layer. Because of the high mobility of TAPC, Ohmic hole injection from ITO to TAPC with MoO<sub>3</sub>/SimCP2 injection layer can only be formed for TAPC over 900 nm in the hole-only devices. These thick devices with 950 nm TAPC present inappreciable dependence of EQE on the device area, TAPC thickness and deposition rate, and EQE of 26.0%, 25.0% and 7.8% and low operating voltage of 4.5, 3.4, and 6.7 V at 1000 cd/cm<sup>2</sup> can be achieved for red green and blue OLEDs, respectively. Thin HAT-CN layer were incorporated between TAPC and electron blocking layer to suppress electron leakage to TAPC layer, these devices remained their high efficiencies with operational lifetime LT<sub>95</sub> of 55000 h, 18000 h and 1600 h for red, green, and blue OLEDs at initial luminance of 1000 cd/m<sup>2</sup>. Our work paves the way towards a higher production yield of high performance OLED-based displays and lightings.

##### References

- [1] Y.-H. Tak, K.-B. Kim, H.-G. Park, K.-H. Lee and J.-R. Lee, *Thin Solid Films*, 411, 12 (2002).
- [2] T. Matsushima, F. Bencheikh, T. Komino, M. R. Leyden, A. S. D. Sandanayaka, C. Qin and C. Adachi, *Nature*, 572, 502 (2019).
- [3] N. B. Kotadiya, H. Lu, A. Mondal, Y. le, D. Andrienko, P. W. M. Blom and G.-J. A. H. Wetzelaer, *Nat. Mater.*, 17, 329 (2018). G. Liu, Z. Li, X. Hu, Y. Qin, C.-S. Lee, D. Chen, L. Wang, J. Liu, P. Wang, Y.-J. Pu and Y. Wang, *Nat. Photonics*, 16, 876 (2022).

#### D24-302B-15

### 界面工程调控有机神经形态视觉器件

纪德洋\*

Tianjin University, China

界面普遍存在于有机电子器件中（比如，有机神经形态视觉传感器），而且对于器件的性能非常关键，因此开展对于器件界面的研究有着非常重要的意义。基于有机场效应晶体管器件结构的有机神经形态视觉传感器，绝缘层与半导体的界面是非常重要的界面之一，绝缘层的性质直接影响到半导体分子排列和结晶性，进而影响载流子的传输。因此如何获得高质量的绝缘层界面决定着器件性能以及集成应用。为了进一步研究器件界面与性能的构效关系，我们从聚合物绝缘层表面出发，层层深入的研究其相互的构效关系，再次基础上进一步研究载流子的传输机理以及器件的多功能应用，比如面向人工视觉系统“感存算”一体器件的制备。

#### D24-302B-16

### 有机螺环 OLED 材料

蒋佐权\*

苏州大学功能纳米与软物质研究院

螺环及其衍生化合物由于良好的热稳定性和独特的正交刚性结构，被广泛应用于 OLED 材料中。从第一代荧光 OLED、第二代磷光 OLED 到第三代热激活延迟荧光（TADF）OLED，螺环化合物展示了巨大的潜力。这些化合物的非共轭连接结构，有助于分离空穴和电子，减少单线态-三重分裂能，实现优异的 TADF 性能。研究人员通过精确设计螺环骨架上的衍生位点，发展新型螺环骨架，应用于高性能 OLED 的发光材料中。特别是通过 C1 位点与螺环中心空间靠近的特点及其刚性结构，限制化学键的自由旋转，构筑限域电荷转移型发光分子，优化器件效率。同时，利用其三维正交结构抑制多重共振发光分子平面聚集，缩窄发光光谱，提升发光器件性能。总体而言，螺环结构凭借其高热稳定性和特异的三维结构，对材料设计有重要作用，其高效应用策略和设计方案值得进一步探索。

#### D24-302B-17

### 有机室温磷光材料

安众福

南京工业大学

#### D24-302B-18

### 二维有机框架材料的可控制备与光电器件

陈建毅\*、刘有星、白一超、刘明辉、商圣从、王鑫玉、洪嘉欣、刘云圻

中国科学院化学研究所

二维有机框架材料是有机分子通过共价键形成的一类晶型有机多孔材料。具有独特的结构和优异的物理化学性质。这类材料不溶解，也不融化，采用传统的方法难以加工，限制了其在薄膜领域中的应用。我们采用电化学方法和限域生长方法，在金属以及绝缘衬底等表面制备了大面积的二维金属有机框架材料（MOF）薄膜。Cu<sub>3</sub>(HHTP)<sub>2</sub> MOF 薄膜电导达到 0.08 S cm<sup>-1</sup>，相比于文献报道提高了三个数量级。另外，通过近平衡合成方法，化学气相沉积方法以及固液界面生长方法，直接在衬底表面制备了二维共价有机框架材料（COF）薄膜。PyTTA-TPA COF 薄膜的电导为 8.40 × 10<sup>-6</sup> S/cm，组装成场效应晶体管，迁移率为 1.89 × 10<sup>-3</sup> cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>，开关比为 10<sup>5</sup>。最近，我们从相同的有机前驱体出发，在不同酸催化剂的作用下，实现了具有不同拓扑结构（亚胺连接和苯并咪唑连接）的两种 COFs 的选择性合成。这两种 2D COFs 在能带结构、化学稳定性、分子吸附以及催化活性等方面表现出不同的性质，具有不同的应用领域。

#### D24-302B-19

### 自插层金属性硫化钽的相位与组分调控及其非线性光学性质研究

耿德超\*

天津大学

自插层技术对于二维材料的功能调控具有重要意义,其能够通过本征金属原子插入于层间范德华间隙形成共价键化合物,进而显著改变材料的电学、光学和磁学性质。目前,精确生长具有不同相态和多种自插层浓度的二维材料仍然是一个巨大的挑战,但是化学气相沉积法被认为是实现二维材料多种调控策略的理想手段[1]。对此,报告人通过温度驱动的化学气相沉积法分别合成了插层浓度从 10%到 58%的 H 相  $Ta_{1+x}S_2$  和 T 相  $Ta_{1+x}S_2$ 。原子级分辨率的环形暗场扫描透射电子显微镜分析揭示,插层 Ta 原子主要占据范德华间隙的八面体空位[2]。此外,非周期性的 Ta 原子破坏了本征  $TaS_2$  的中心对称结构和费米表面属性,使不同厚度和插层浓度的 T 相  $Ta_{1+x}S_2$  均表现出自发的非线性光学效应。该工作提出的自插层策略拓宽了对二维材料非线性光学性能调控的理解,也为设计和开发新型光电器件提供了实验基础。

#### D24-302B-20

### 手性发光材料与器件

李猛

中国科学院化学研究所

#### D24-302B-21

### 高性能卟金属发光配合物及其光电性能研究

龚少龙\*

武汉大学

卟金属发光配合物因为结构多样、激子利用率高、发光性能良好等优势,是目前新兴的一类有机半导体发光材料,在有机发光二极管、X 射线探测和生物探针等领域具有重要的应用潜力。早期的卟金属发光配合物的激发态属性主要为金属到配体的电荷转移跃迁,以磷光发射为主,通常具有较低的发光量子效率和较长的激发态寿命,使其光电应用受到极大限制。近年来,热活化延迟荧光(TADF)的发光机制为设计开发高性能卟金属发光配合物提供了新的设计思路。尽管目前卟金属发光配合物取得了一定进展,但仍然存在优良体系较少、构效关系不明、光电效率偏低等诸多问题,成为限制其发展的主要瓶颈。

近年来,我们以发展高性能的卟金属发光配合物为目标,围绕“金属微扰电荷转移激发态的构筑、调控与利用”开展了相关研究,主要研究进展如下:(1)发展了“配体工程”策略,实现了金属微扰电荷转移型激发态的精准调控,创制了兼具高效率 and 短寿命的二配位铜(I)发光配合物,建立了其分子结构/构象与激发态之间的关系,构筑的铜基 OLED 发光性能处于国际领先水平;(2)提出了“铜(I)配合物敏化”、“金属微扰的空间电荷转移”的设计策略,建立了卟金属配合物与发光客体之间的能量传递机制,构筑了综合性能优异的 OLED,实现了高性能的 X 射线闪烁与成像应用;(3)提出了“手性微扰与多构象协同”的设计策略,拓展了金属微扰电荷转移型激发态调控的新思路,获得了聚集依赖的圆偏振发光和 TADF,建立了其聚集态结构、激发态特性与发光性能三者之间的相互关联。

#### D24-302B-22

### 浅谈从单个分子到分子聚集态科学

李振\*

武汉大学

科学的研究遵循由简至繁、自浅入深的探索历程,变化的分子结构缤纷了万千世界,炫酷的发光现象璀璨了衣食住行。一滴滴水珠融入大海,一个个分子汇聚成材,群体与个体相互关联,当分子排列牵引了堆积方式,分子聚集态行为随之呈现出可能的梦幻性能。

本报告将通过有机力致发光、有机室温磷光等典型实例,展现分子聚集态的奇妙行为。

**D24-302B-23****高效钙钛矿发光**

王建浦

南京工业大学/常州大学

**D24-302B-24****二维共价有机框架薄膜的表界面合成**

王栋\*

Institute of Chemistry Chinese Academy of Sciences, China

构筑具有高度有序 $\pi$ 共轭结构的二维单分子层或薄膜材料对于发展高性能的有机电子器件具有重要意义。基于 $\pi$ 共轭分子以共价键连接形成的二维共价有机框架(2D COF)，具有独特的二维 $\pi$ 共轭平面和三维方向上高度有序的 $\pi$ 堆积结构，可能具有独特的光电性质和功能。我们发展了基于液固界面反应的制备COF薄膜的一般方法。通过在六方相氮化硼和单层石墨烯表面直接生长COF薄膜，分别构建了水平结构和垂直结构的两种场效应晶体管，研究了其面内横向电荷传输性质及 $\pi$ - $\pi$ 堆积方向的电子学性能。我们构筑了基于COF的电致变色器件，COF高度有序的结构显著提升了其响应速度等性能。

**D24-302B-25****有机半导体材料增稳策略与光伏器件**

李忠安\*

华中科技大学化学与化工学院

有机半导体不仅拥有质轻、多样化的结构组成以及宽广的性能调节空间等优点，还可以通过溶液加工法实现大面积和柔性器件的制备，因此在电子学、光电子学、磁学和光学等领域均具有广泛的应用前景。然而，有机半导体的发展和应用仍面临着高性能和高稳定性难以兼顾的挑战，特别是材料的稳定性与无机材料相比仍存在着很大差距，从而限制了其应用。近年来，围绕有机半导体应用于光伏器件所面临的稳定性难题，我们系统开展了有机半导体材料“合成创制”与“功能提升”的贯通研究，以创建具有特殊功能且稳定的 $\pi$ -共轭体系为导向，设计了新型荧蒽缺电子功能基元和环固定共轭烯桥新结构，提出了“共振两性离子”和“交叉共轭”等结构设计新策略，发展了新型自组装单分子层分子和方酸菁n-型小分子掺杂剂，有效增强了有机半导体的本征、界面和聚集态结构稳定性，实现了高效、稳定有机光伏和钙钛矿器件的制备。

**D24-302B-26****苝的设计、合成与应用研究**

史钦钦\*

中国科学院大学

苝分子是含有两个五元芳环的抽换体系，是C70的一个组成部分，其具有丰富的化学修饰位点，且有多样性的光电磁性能。然而苝的分子设计、合成往往具有极大挑战性，且合成产率低，难以选择性修饰，因此，限制了人们对这一材料体系的认识和推广。近年来，我们团队围绕开发苝的新合成方法展开，极大简化了苝的合成路径；同时，我们探索了多种类型苝的结构与性能关系，为苝分子在光电磁领域的应用提供了新的研究思路。

**D24-302B-27****基于噻吩并吡啶二酮的共轭聚合物合成及场效应晶体管应用**

王明\*、董方亮

东华大学

在窄带隙有机聚合物半导体中，异靛蓝（IID）和萘二酰亚胺（NDI）及其衍生物作为常见的吸电子结构单元，广泛应用于有机场效应晶体管、有机太阳能电池和有机光探测器等光电器件。IID 结构含有两个酰亚胺结构，并通过分子内双键共轭相连，结构易于修饰改性，NDI 结构包含两个二酰亚胺结构稠合在萘环中部，具有大的共轭平面，同时两者分子结构上 N 相连的烷基链提供了良好的溶解性。我们结合 IID 和 NDI 两个分子结构单元的特点，设计了一种新型共轭单元噻吩并吡啶二酮衍生物（TPy），并基于这个结构单元设计合成一系列聚合物，应用于有机场效应晶体管。首先，我们将 TPy 结构应用于噻吩异靛蓝的结构中，合成了噻吩并吡啶异靛蓝单体 TPyI，有很强的分子内 S...O 非共价键相互作用，分子结构非常平面。我们合成了基于 TPyI 结构单元的无规和规整两种聚合物（*ri*-PTPyI2T 和 *rr*-PTPyI2T）应用于有机场效应晶体管，两者均表现出 p 型传输为主的特性，其空穴迁移率分别为 0.14 和 0.32 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>。其次，我们基于 TPy 和吡嗪构建了 TPyPz 单体，有效降低了聚合物的 HOMO 和 LUMO 能级，同时 TPyPz 有很强的分子内 S...N 非共价键相互作用，分子结构非常平面。我们合成了基于 TPyPz 单体的纯 n 型共轭聚合物 PTPyPz-bTz 应用于有机场效应晶体管，其电子迁移率为 0.12 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>。这些研究展示了用 TPy 结构单元构建有机共轭分子的潜力，为合成高性能聚合物半导体提供了新的思路。

## D24-302B-28

### 碳化聚合物点的结构与性能

杨柏

吉林大学化学学院 超分子结构与材料国家重点实验室

在过去的十年里，一种新型碳基纳米功能基元——碳点（CDs）得到了迅速发展。CDs 可分为碳量子点（CQD）、石墨烯量子点（GQDs）和碳化聚合物点（CPDs）。其中，CQD 和 GQDs 主要以不同种类的碳源，通过“自上而下”的物理或化学方法来制备<sup>[1]</sup>；碳化聚合物点（CPDs）可通过多功能团单体及合成与天然大分子等为前驱体，经交联聚合、脱水碳化等“自下而上”的化学过程来制备<sup>[2,3]</sup>，是一类具有聚合物特性及核-壳结构的新型 CDs，具有低毒、高发光效率、生物相容等优点<sup>[4-6]</sup>。我们研究发现 CPDs 的高效发光主要源于两个方面，一是碳化聚合物点中包含的分子态发光中心<sup>[7]</sup>；二是交联结构对分子链和发光中心起到的固定作用，即交联增强发射（CEE）效应<sup>[8,9]</sup>，CEE 在一些具有交联特征的非经典共轭聚合物发光体系中也具有普适性。目前，碳化聚合物点相关研究主要聚焦在：多区域发光 CPDs 的分子设计与合成，相关发光机制探索等基础问题，以及 CPDs 的应用研究，包括光学、光电、生物标记与成像<sup>[10]</sup>、药物、诊疗、检测、催化、能源、功能助剂等方面<sup>[5]</sup>。

#### 参考文献：

- [1] Zhu S. J., Song Y. B., & Yang B., et al., *Nano Research* 2015, 8, 335
- [2] Zhu S. J., Zhang J. H., & Yang B., et al., *Chem. Commun.* 2012, 48, 10889
- [3] Zhu S. J., Meng Q., & Yang B., et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013, 52, 3953
- [4] Xia C. L., & Yang B., et al., *Adv. Sci.* 2019, 6, 1901316
- [5] Liu J.J. & Yang B. et al., *ACS Central Science* 2020, 6, 2179
- [6] Zeng Q. S., & Yang B., et al., *Light: Science & Applications* 2021, 10, 142
- [7] Song Y. B., & Yang B., et al., *J. Mater. Chem. C* 2015, 3, 5976
- [8] Zhu S. J., & Yang B., et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2015, 54, 14626
- [9] Tao S.Y., & Yang B., et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2020, 59, 9826
- [10] Liu J. J., & Yang B., et al., *Adv. Mater.* 2020, 32, 1906641

## D24-302B-29

### 有机红外光电探测器受体材料与界面材料

刘俊\*、苗俊辉、王利祥

中国科学院长春应用化学研究所

红外探测在机器视觉、健康监测、遥感、夜视、等领域应用广泛，常用的红外光探测器是以无机半导

体材料作为光电活性层。有机光电探测器具有低成本、易实现柔性和大面积，易与读出电路衬底兼容的优势，为发展新一代光电探测器的创造了空间。目前，有机红外光电探测器面临两方面挑战：一是红外光区的灵敏度不够高；二是在稳定性不够好。

面向高灵敏度、高稳定性的有机红外光电探测器，我们开发了新型电子受体材料和阴极界面材料。针对近红外光探测器灵敏度的提升，我们开发出全稠环小分子受体材料，它具有分子构象无序度低、薄膜缺陷态密度低的特点。因此，其光探测器暗电流低至  $0.02 \text{ nA/cm}^2$ ，比探测率超过  $10^{13}$  Jones。针对波长大于  $1000 \text{ nm}$  的短波红外光探测，我们基于共振硼氮键大幅度减小带隙的策略，开发出基于共振硼氮键的小分子受体材料。其光探测器的光响应波长范围拓展到  $1300 \text{ nm}$ ，在  $1120 \text{ nm}$  处的光响应度达到  $0.15 \text{ A W}^{-1}$ ，比探测率达到  $10^{12}$  Jones。此外，我们开发出具有低 HOMO 能级和正交溶剂加工性的 n 型聚噻吩，作为有机光探测器的阴极界面材料，提高器件的灵敏度和稳定性，其未封装器件衰减到 90% 的寿命可超过 2000 小时。

## D24-302B-30

### 膜嵌入共轭齐聚电解质的设计合成与应用

周城\*

华南理工大学

膜嵌入共轭齐聚电解质 (MICOE) 具有与磷脂双分子层类似的拓扑结构 (即两端亲水、中间疏水)，因而其作为细胞膜的仿生物，能够通过静电和疏水相互作用自发地嵌入到细胞膜中<sup>[1]</sup>。通过化学结构的调整，可以控制 MICOE 与细胞膜之间的相互作用，进而实现不同功能应用。一些短链 MICOE (分子长度小于磷脂双分子层的厚度) 嵌入细胞膜后由于长度的不匹配将破坏细胞膜的稳定性，并被开发成抗菌药物<sup>[2]</sup>。相反，一些长链的 MICOE 分子可通过其刚性共轭骨架支撑磷脂双分子层，从而增强细胞膜的稳定性<sup>[3]</sup>。MICOE 的共轭单元具有荧光响应，可被开发为靶向细胞膜的荧光探针。例如，窄带隙 MICOE 分子 COE-BBT 通过近红外二区 (NIR-II) 荧光实现了长时间活体监控小鼠体内肿瘤的生长过程<sup>[4]</sup>；一系列光谱可调的 MICOE 分子被用来在流式细胞仪中检测纳米尺度的胞外囊泡，有效解决了传统亲脂荧光染料长期存在的假阳性信号问题<sup>[5]</sup>。最近，一类具有扭转共轭主链结构的 MICOE 分子被设计合成，以减小在其脂质膜中的荧光聚集淬灭效应，并实现 NIR-II 体内脂质体的跟踪成像<sup>[6]</sup>。这些结果不仅说明 MICOE 分子平台的多功能性，也体现其通过模仿细胞膜实现目标应用的特色。

#### 参考文献:

- [1] C. Zhou\*, G. W. N. Chia, K.-T. Yong\*, *Chem. Soc. Rev.* **2022**, *51*, 9917-9932.
- [2] C. Zhou, G. W. N. Chia, J. C. S. Ho, T. Seviour, T. Sailov, B. Liedberg, S. Kjelleberg, J. Hinks\*, G. C. Bazan\*, *Angew. Chem. Int. Edit.* **2018**, *57*, 8069-8072.
- [3] C. Zhou#, G. W. N. Chia#, J. C. S. Ho, A. S. Moreland, T. Seviour, B. Liedberg, A. N. Parikh, S. Kjelleberg, J. Hinks\*, G. C. Bazan\*, *Adv. Mater.* **2019**, *31*, 1808021.
- [4] C. Zhou#, Z. Li#, Z. Zhu, G. W. N. Chia, A. Mikhailovsky, R. J. Vázquez, S. J. W. Chan, K. Li\*, B. Liu\*, G. C. Bazan\*, *Adv. Mater.* **2022**, *34*, 2201989.
- [5] C. Zhou, S. J. Cox-Vázquez, G. W. N. Chia, R. J. Vázquez, H. Y. Lai, S. J. W. Chan, J. Limwongyut, G. C. Bazan\*, *Sci. Adv.* **2023**, *9*, eade2996.
- [6] Y. Meng#, J. Gao#, P. Zhou, X. Qin, M. Tian, X. Wang, C. Zhou\*, K. Li\*, F. Huang\*, Y. Cao, *Angew. Chem. Int. Edit.* **2024**, *63*, e202318632.

## D24-302B-31

### 基于有机场效应晶体管的仿嗅觉感知器件研究

邱龙臻\*、吴孝成

合肥工业大学

随着信息技术和人工智能的快速发展，当今社会信息量呈爆炸式增长。受人脑启发的人工神经网络通

过模仿人脑神经元可以分布式、并行式以及事件驱动的方式进行高效的数据处理,是突破“冯·诺伊曼”瓶颈、实现新一代人工智能计算机的重要手段。有机场效应晶体管可以同时接收和读取刺激以及可以通过沟道层传递信号并通过栅极独立调节突触权重,并且在采集视觉、听觉、嗅觉等信号来工作的人造感知神经系统方面有广阔应用前景。因此,通过设计选择窄带隙半导体,制备了基于有机场效应晶体管的仿嗅觉突触器件。通过双气体刺激,模拟生物嗅觉行为,首次实现了仿生物嗅觉兴奋抑制平衡的调控。以此为核心单元搭建的神经通路,能够将整合信息传递并使传出神经末端作出不同反应,装置展现出类人脑的良好信息整合能力。并且通过器件结合 CNN 神经网络,以单个器件实现多种气体种类及浓度的识别。进一步通过聚集态调控,器件在超低工作电压下实现了多种基本突触可塑性行为的模拟,单次脉冲能耗范围低至 8.94-88 fJ,与生物级能耗相当(1-100 fJ)。气体工作限更是低至 50 ppb,远超出正常人类对 NO<sub>2</sub> 气体感知极限。基于有机场效应晶体管制备的神经形态器件在新兴信息科学技术架构下,对促进集成电路、类脑计算、人工智能等领域的发展具有重要的意义。

## D24-302B-32

### 有机微纳激光材料

闫永丽\*

中国科学院化学研究所

有机材料具有大的受激发射截面和丰富的激发态过程,是良好的激光增益介质。通过理性的分子结构设计及激子行为调控,我们在光激发下实现了覆盖全可见光波段的有机激光发射。电致发光能够将注入的电能转化为光能,是有机发光材料真正走向应用的首要前提。基于有机材料的电致发光器件具有高效、超薄、超轻等特点,已经成为了显示、照明等领域的主流。然而,目前有机电致发光器件发出的光均为宽波段的荧光或者磷光发射,难以满足下一代超清显示、信息处理等领域对窄谱带光源的要求。有机电泵浦激光作为国际公认的学术前沿和难题,目前还没有实现,这也是国内外众多研究团队竞相努力的目标。

电泵浦和光激发的最大差异在于激发态的产生和弛豫方式不同,尤其是增益、损耗方式的差异,这也是制约有机电泵浦激光实现的最大瓶颈。因此,深入认识有机电致发光过程中的激发态过程是发展电泵浦激光的重中之重。在此基础上,构建双极性传输增益材料、抑制三线态累积及其的相关损耗、在器件结构中理性构筑高质量谐振腔,有望在电泵浦激光领域有所突破。

## D24-302B-33

### 聚噻吩化学掺杂及其在新原理电子器件中的应用探索

陈晨<sup>1</sup>、林悦<sup>2</sup>、殷小东<sup>1</sup>、鲁凯晴<sup>2</sup>、齐浩荣<sup>1</sup>、胡袁源<sup>3</sup>、程海峰<sup>1</sup>

1. 国防科技大学

2. 中国科学院物质结构研究所

3. 湖南大学

随着共轭聚合物(CPs)在电子器件领域的广泛应用,化学掺杂技术作为调控其电子特性的关键手段,已成为有机电子领域的研究热点。本报告将主要分享我们在聚噻吩化学掺杂研究方面的最新成果,特别是在电荷传输机制和电化学晶体管性能调控方面的研究进展。在电荷传输机制方面,系统探索了主体材料醚键侧链改性、成核剂改性对于聚噻吩体系掺杂过程、结构形貌以及热/电传输机制的影响规律。通过深入关联分析热激发活化能  $E_a$ 、载流子跳跃传输势垒  $W_y$  以及结构无序度随掺杂度的演变规律,首次揭示了在掺无序区域(特别是晶间连接区域)的链间传输受限是制约载流子离域度及金属态物性形成的关键因素;同时,通过引入成核剂调控 PBTBT 结晶度,我们有效提升了体系电荷传输性质,实现了电导率和塞贝克系数的解耦,经离子交换掺杂优化后,体系电导率可达  $1200 \text{ S cm}^{-1}$ ,此时,功率因子达到  $150 \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ ,达到国际先进水平。在电化学晶体管性能调控方面,我们聚焦于器件的栅极和沟道两个重要组成部分,基于掺杂调控实现有机电化学晶体管(OECTs)性能优化,包括跨导、工作电压、响应时间、功耗等。例如,我们基于离子交换掺杂技术提出了一种 OECTs 通用栅极改性方法,可有效改善栅极界面处电压降,成功将 OECTs 模型器件的最大跨导由  $4.69 \text{ mS}$  提升至  $7.39 \text{ mS}$ ,工作电压由  $-3.5 \text{ V}$  降至  $-1 \text{ V}$ ;同时,使用沟道

材料共混及高温摩擦法策略, 进一步增强聚合物半导体的电子迁移率, 并同时增大体积电容, 从而进一步提升了跨导 ( $G_{m_{max}}$  由 11.76 mS 提升到 21.36 mS), 并显著降低响应时间 ( $\tau$  由 289 ms 降至 163 ms)。目前, 基于聚噻吩化学掺杂技术研制的 OEETs 跨导性能可达 30.73 mS, 已经显著超过了相关电信号传感文章报道的跨导的水平 (3-8 mS); 并且器件在单脉冲、双脉冲易化以及多脉冲测试中表现良好的突触响应特性, 为神经形态器件的研发提供了新思路。以上研究不仅显著深化了我们对掺杂聚合物结构-输运性质之间复杂关系的理解, 更为先进聚合物掺杂技术在新原理电子器件中的创新应用提供了新视角和新方法。

#### D24-302B-34

##### 分子自旋器件中的界面效应研究

谷现荣、郭立丹、孙向南\*

国家纳米科学中心

分子半导体材料由于其极弱的自旋轨道耦合作用, 因此具有超长的自旋寿命, 一直被认为是自旋电子学领域中有望实现室温高效自旋运输的理想材料[1,2]。除分子半导体材料优异的光、电、磁功能特性外, 分子半导体可与其直接接触的铁磁金属产生丰富的杂化相互作用, 导致界面处的电学、磁学性质发生变化, 称为自旋界面效应[3,4]。分子自旋电子器件中的金属/分子自旋界面效应研究作为分子自旋电子学这一全新领域的热点研究方向, 因其复杂、多样化的自旋界面效应, 一直被认为是未来构建新型自旋电子功能性的重要来源[5]。然而, 目前针对自旋界面功能化的研究均基于界面轨道杂化自发产生的不可控效应。这主要是由于利用现有的器件制备工艺, 在分子自旋器件中难以构建稳定、高质量的自旋界面, 进而导致难以获得定量可控的自旋界面效应。以上困境使得源自自旋界面的功能性无法稳定地引入到大多数分子自旋电子器件中, 难以获得更加丰富的、可控的自旋功能性。本研究开发了一种高度普适性的铁磁顶电极转移结合技术, 在铁磁金属和分子材料之间构建高质量的界面, 从而获得高性能、高可重复性的自旋电子器件。该技术为自旋界面效应的定量化研究提供了重要的器件基础[6]。其次, 本研究通过改变分子层粗糙度在  $C_{60}/NiFe$  界面处构建了不同强度的自旋界面效应, 该效应可引发器件磁响应曲线中翻转磁场的定量位移。基于此, 可构建室温多比特自旋存储器件, 为分子自旋电子学的研究提供了重要的思路和应用方向[3]。

##### 参考文献

- [1] Guo, L.; Hu, S.; Gu, X.; Zhang, R.; Wang, K.; Yan, W.; Sun, X. Emerging spintronic materials and functionalities. *Adv. Mater.* **2023**, 202301854.
- [2] Yang, T.; Qin, Y.; Gu, X.; Sun, X. Molecular design for enhanced spin transport in molecular semiconductors. *Nano Res.* **2023**, 16: 13457-13473.
- [3] Gu, X.; Guo, L.; Qin, Y.; Yang, T.; Meng, K.; Hu, S.; Sun, X. Challenges and prospects of molecular spintronics. *Precis. Chem.* **2023**, 2: 1-13.
- [4] Gu, X.; Guo, L.; Sun, X. Recent spintronic studies targeted to spin manipulation in molecular spintronic devices. *Chin. Phys. B* **2018**, 27: 107202.
- [5] Guo, L.; Gu, X.; Zhu, X.; Sun, X. Recent advances in molecular spintronics: multifunctional spintronic devices. *Adv. Mater.* **2019**, 31: 1805355.
- [6] Guo, L.; Gu, X.; Hu, S.; Sun, W.; Zhang, R.; Qin, Y.; Meng, K.; Lu, X.; Liu, Y.; Wang, J.; Ma, P.; Zhang, C.; Guo, A.; Yang, T.; Yang, X.; Wang, G.; Liu, Y.; Wang, K.; Mi, W.; Zhang, C.; Jiang, L.; Liu, L.; Zheng, K.; Qin, W.; Yan, W.; Sun, X. Strain-restricted transfer of ferromagnetic electrodes for constructing reproducibly superior-quality spintronic devices. *Nat. Commun.* **2024**, 15: 865.

#### D24-302B-35

##### 基于金属有机铂化合物的光功能微纳结构

钟羽武\*

中国科学院化学研究所

有机微纳结构是有机纳米光子学、电子学的材料基础。一方面, 光功能微纳结构为研究分子的发光构

性关系提供了良好的平台。另一方面,光功能微纳结构在微纳激光、光波导、光子信号处理等方面有潜在应用。金属有机铂化合物具有良好的平面结构和优秀的发光性能。通过分子间 Pt-Pt、 $\pi$ - $\pi$  相互作用,平面金属有机铂化合物可以形成较低能量的金属-金属到配体电荷转移(MMLCT)激发态,在超分子组装研究以及规整形貌微纳结构的制备中有广泛用途。我们围绕金属有机铂分子组装基元的设计与合成开展工作,制备了几种平面型单核、双核金属有机铂化合物,通过调控分子间相互作用,制备多色发光分子晶体和规整聚集体。通过引入手性基元,制备具有圆偏振发光的磷光微纳结构 [1]。此外,开发了一类非平面型金属有机铂分子组装基元,得到二维片状结构分子晶体,为有机纳米光子学奠定重要的材料基础(图 1)。这些材料在光波导,光子信息处理,传感等方面显示了潜在应用价值[2]。

[1] (a) Sun, M.-J.; Liu, Y.; Zeng, W.; Zhao, Y. S.; Zhong, Y.-W.; Yao, J. J. *Am. Chem. Soc.* 2019, 141, 6157. (b) Gong, Z.-L.; Dan, T.-X.; Chen, J.-C.; Li, Z.-Q.; Yao, J.; Zhong, Y.-W. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, DOI: 10.1002/anie.202402882.

[2] Xu, F.-F.; Zeng, W.; Sun, M.-J.; Gong, Z.-L.; Li, Z.-Q.; Zhao, Y. S.; Yao, J.; Zhong, Y.-W. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61, e202116603.

### D24-302B-36

#### 动态发光材料

曲大辉\*

华东理工大学

利用“自下而上”,在分子层面利用合成化学工具精准改造分子基元,然后通过分子间相互作用力(即超分子化学)将分子尺度的本征性质和动态行为集成、放大到宏观材料尺度,是化学家设计动态分子材料的基本手段。因此,发现和拓展动态化学工具箱(dynamic chemistry toolbox)是构筑动态智能材料的化学基础。近几年,我们聚焦智能材料中动态分子基元设计和组装策略等问题开展研究,利用天然硫辛酸动态基元、动态发光基元、机械互锁动态基元的结构独特性、动态性,创新了非共价键、动态共价键以及机械互锁相互作用等多级协同、动态组装策略,实现了聚硫辛酸高性能动态聚合物材料的简单、高效制备,开拓了一系列动态可调控的分子机器智能组装材料,发展了基于时间尺度的动态光材料,为智能分子材料的设计和高效、绿色创制提供了新思路。本报告将聚焦我们课题组在动态非平衡发光与加密材料等方面的研究进展。

### D24-302B-37

#### 主体工程构建高效团簇电致发光器件

许辉

黑龙江大学

### D24-302B-38

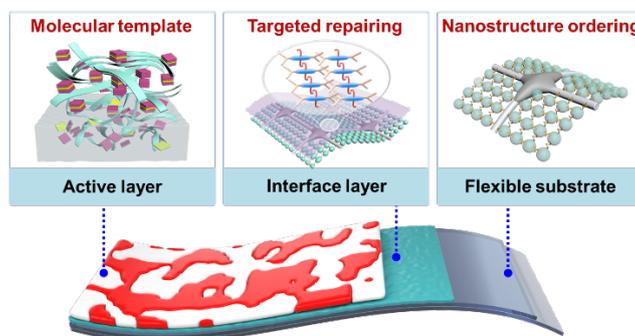
#### 可印刷太阳能电池

李耀文\*

苏州大学

有机/钙钛矿太阳能电池因其轻质、柔性、可溶液印刷等独特优势获得了广泛关注。电池各薄膜层在印刷过程受溶剂化效应影响严重,电子及聚集态精准调控一直是世界难点,相关基础理论缺乏。基于此,我们围绕溶剂印刷薄膜序构化的基础科学问题开展相关研究:1)提出了以功能有机高分子材料作为活性层生长的分子模板策略,突破了传统生长方法的尺寸限域效应,实现了绿色溶剂加工过程中活性层跨尺度可控生长,获得了绿色溶剂加工的世界最高效率之一的柔性、大面积光伏组件[1];2)发展了功能基元分子“靶向”修复层间界面“伴生缺陷”的新方法,解决了活性层与功能层之间电学接触(载流子抽提)问题,突破了

印刷光伏器件结构的局限性[2-3]；3) 构建了超分子作用力序构功能层的新思路，从原子和分子尺度揭示了微纳结构与载流子传输和收集能力的构效关系，开发了可高通量印刷制备的高性能柔性透明电极，完成了载流子动力学的全链条研究[4-6]。最终，绿色溶剂加工的 $10\times 10\text{ cm}^2$ 大面积柔性有机太阳能电池效率达到18%， $35\times 35\text{ cm}^2$ 柔性钙钛矿太阳能电池效率突破15%。相关工作解决了印刷柔性太阳能电池大面积组件制备过程中的多个瓶颈性问题，有望推动可印刷光伏产业化进程。



**Fig. 1** Research ideas and flexible solar modules

**关键词：**有机太阳能电池；钙钛矿太阳能电池；柔性太阳能电池；大面积组件

#### 参考文献

- [1] Chen, H.;# Zhang, R.;# Chen, X.; Zeng, G.; Kobera, L.; Abbrent, S.; Zhang, B.; Chen, W.; Xu, G.; Oh, J.; Kang, S.-H.; Chen, S.; Yang, C.; Brus, J.; Hou, J.; Gao, F.;\* Li, Y.;\* Li, Y. *Nat. Energy* 2021, 6: 1045
- [2] Yang, H.;# Chen, W.;# Yu, Y.; Shen, Y.; Yang, H.; Li, X.; Zhang, B.; Chen, H.; Cheng, Q.; Zhang, Z.; Qin, W.; Chen, J.; Tang, J.; Li, Y.;\* Li, Y. *Adv. Mater.* 2023, 35: 2208604
- [4] Cheng, Q.;# Chen, H.;# Yang, F.; Chen, Z.; Chen, W.; Yang, H.; Shen, Y.; Ou, X.; Wu, Y.; Li, Y.;\* Li, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61: e202210613
- [5] Zeng, G.;# Chen, W.;# Chen, X.; Hu, Y.; Chen, Y.; Zhang, B.; Chen, H.; Sun, W.; Shen, Y.; Li, Y.;\* Yan, F.; Li, Y. *J. Am. Chem. Soc.* 2022, 144: 8658
- [6] Chen, X.;# Xu, G.;# Zeng, G.; Gu, H.;\* Chen, H.; Xu, H.; Yao, H.; Li, Y.;\* Hou, J.; Li, Y. *Adv. Mater.* 2020, 32: 1908478

#### D24-302B-39

##### 超快光谱和自旋电子

翟亚新

湖南师范大学

#### D24-302B-40

##### 晶态薄膜有机发光二极管

朱峰\*、闫东航

中国科学院长春应用化学研究所

基于非晶态薄膜的有机发光二极管（OLED）技术已实现商业化，但亮度不足和高亮度下稳定性差等关键问题亟待解决。晶态有机材料具有分子规则排列、取向度高、热稳定性好等天然优势，可提供潜在解决方案。报告人介绍开发晶态有机发光二极管（C-OLED）的系列工作。首先，利用分子弱外延生长技术

成功制备绿光发光器件，证实晶态有机材料可以实现有效发光。进而，基于宽禁带有机半导体材料，开发出蓝光发射的纯层、掺杂、固溶体、纳米聚集等晶态有机薄膜发光器件。与非晶态薄膜蓝光 OLED 相比，C-OLED 表现出更高的光子输出能力，更低的驱动电压等特性，最大外量子效率高于 9%，证实晶态有机材料可以实现高效发光，C-OLED 有望成为超越非晶态薄膜路线的新一代 OLED。

#### D24-302B-41

##### 基于敏化发光机制的高效率、长寿命蓝光 OLED

张东东\*

清华大学

有机发光二极管 (OLED) 是国家战略性新兴产业，总投资已超过 4000 亿，然而核心发光材料被国外厂商垄断。开发新一代发光材料与器件是 OLED 研究的核心，可突破国外专利技术壁垒，促进产业安全。同时，面向未来超高清广色域显示需求，兼具高效率、长寿命和窄光谱的蓝光 OLED 材料与器件是该技术发展的瓶颈。当前，商业化蓝光 OLED 依然依赖传统荧光材料，其短的激发态寿命 (~ns) 有利于提升器件稳定性，但激子利用率低。磷光和热活化延迟荧光 (TADF) 材料可充分利用电致激发下产生的三线态激子实现器件效率的显著提升，但均面临激发态寿命长 (~ $\mu$ s) 导致的器件稳定性差以及电荷转移态发光特性带来的光谱宽的难题。因而，开发新一代蓝光发光技术是 OLED 研究的热点与难点。

近年来团队聚焦于有机发光材料与器件，提出了“热活化敏化荧光 (TSF)”的新型发光机制，被国际同行称为“OLED 第四代发光技术”。该技术在理论上突破了现有商业化发光材料的瓶颈，在实际应用中为新一代纯有机廉价发光材料提供了一条新路径，是学术界和产业界竞相角逐的热点。TSF 技术将 TADF 材料作为敏化剂，其激子能量通过高效的 Förster 能量传递过程传递给窄光谱染料发光，不仅实现 100% 激子利用，还可以显著缩短激发态寿命 (~ns)，从而有望突破蓝光效率和寿命的瓶颈，并兼顾窄光谱发光。围绕 TSF 技术，开发了系列稳定氰基咪唑敏化剂及与之匹配的窄光谱材料，构筑的 TSF 蓝光器件在 1000 cd/m<sup>2</sup> 实用亮度下，外量子效率高达 29%，LT95 寿命约 200 h，光谱半峰宽仅 20 nm，CIEy~0.20。器件效率和寿命均优于三星公司报道的最稳定蓝色磷光染料，展现了广阔的应用前景。

#### D24-302B-42

##### 本征可拉伸聚合物半导体的设计合成及性质研究

余晓波、李诚\*、张德清\*

中国科学院化学研究所

聚合物半导体在有机光电器件中的应用已经取得了显著进展，随着物联网的发展和普及，其在可穿戴设备、健康监测、疾病诊断等新型领域中呈现出巨大的应用前景。通常优异的电荷输运性能要求聚合物材料具有高结晶性，然而强结晶性会导致材料拉伸力学性能低。因此，设计合成高迁移率可拉伸的聚合物半导体具有挑战性。

近期，我们课题组发展了在吡咯并吡咯二酮类聚合物主链上引入中心不对称的螺萘单元获得高迁移柔性聚合物半导体的新方法。螺萘单元的引入可以打破主链的对称性，降低薄膜中的晶畴尺寸，进而显著降低薄膜的拉伸模量；同时螺萘单元的引入还可以减少侧链长链烷基的含量，提升小尺寸晶畴的短程有序度；此外，通过调节螺萘单元上环取代基大小还可以微调薄膜形貌。其中 P2 在 150% 的形变后迁移率高达 3 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>，在 50% 形变比例下循环拉伸 1000 次后迁移率仍保持在 1.4 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> 以上。该策略实现了半导体性能和拉伸性能的协同调控，为发展可用于柔性器件的可拉伸高分子半导体的设计提供了一种新策略。

##### 参考文献：

- (1) Yu, X.; Chen, L.; Li, C.; Gao, C.; Xue, X.; Zhang, X.; Zhang, G.; Zhang, D. Intrinsically Stretchable Polymer Semiconductors with Good Ductility and High Charge Mobility through Reducing the Central Symmetry of the Conjugated Backbone Units. *Adv. Mater.* **2023**, *35*, 2209896.

#### D24-302B-43

##### 有机手性功能材料

丘子杰\*

香港中文大学（深圳）

经过几个世纪的发展，具有不同尺寸大小和边缘结构的有机分子被陆续合成及开发，已经在光电磁等领域崭露头角。但具有大  $\pi$  平面结构的传统有机材料，仍存在溶解性差、聚集导致荧光淬灭等局限性。通过引入立体结构，则能制备具有聚集诱导发光、圆偏振发光、空间相互作用等新颖性质的新型有机光电材料，实现多维度下的光与电，有望在自旋电子学、信息加密与储存、光电器件和生物传感等应用领域开辟新的机会。

本次主要报道含有碘原子、高度扭曲的螺旋锁环杂芳化合物 R/S-BBTI 的设计与圆偏振磷光性质。R/S-BBTI 在固态和溶液中，均可实现圆偏振磷光，不对称因子高达 0.013。通过实验现象和理论计算，证明高效的自旋翻转过程可以作为调控电子和磁跃迁偶极矩的驱动力，从而实现不对称因子的提升。

#### D24-302B-44

##### 基于氢键融合策略构建智能超强超分子粘合剂

杨靓月\*、谢晨阳、王世如、孟亮、李明依

燕山大学

现代粘合剂在交通、包装、航空航天、电子等基础和尖端技术领域展现出广泛的应用价值。据最新统计数据，截至 2023 年，全球粘合剂市场规模已突破 240 亿美元。然而，尽管市场规模庞大，当前市场上的粘合剂仍面临多重挑战。其中，多数粘合剂含有甲醛等挥发性有机化合物（VOCs），对人体健康和环境安全构成潜在威胁。此外，虽然许多粘合剂表现出强大的粘附力，但它们通常只能单次使用，且难以在基材使用寿命结束后从表面完全去除，这不仅增加了处理难度，还导致了严重的资源浪费和环境污染问题。以电动汽车行业为例，电池组回收过程中粘合剂的去除成为了一个亟待解决的难题。

为了应对这些挑战，非挥发性超分子粘合剂作为一种由有机小分子通过非共价相互作用构成的解决方案，受到了广泛关注。近年来，该领域的研究工作取得了显著进展，包括冠醚体系、离子液体以及深共晶体系等典型代表。然而，目前超分子粘合剂仍面临结构复杂、合成难度大、在疏水基材和低温条件下性能不佳等问题。针对上述问题，本课题组近年来致力于利用有机合成方法开发新型功能分子体系。通过深入研究分子间氢键相互作用，我们成功构建了氢键供体和受体融合分子，进而建立响应型多功能强力粘附体系。该体系在亲水基材表面实现了超过 10MPa 的粘附强度，在疏水基材表面也达到了近 5MPa 的粘附性能。此外，还能在液氮和 -80°C 的极端条件下维持较强的粘附力，并具备阻燃、可重复使用、可回收等多功能特性。这些研究成果为多功能粘合剂的应用奠定了坚实的基础，并有望在未来推动相关领域的创新与发展。

#### D24-302B-45

##### 有机单晶薄膜晶体管金-半接触界面工程

邓巍\*

苏州大学

金属与有机半导体接触界面是有机薄膜晶体管的关键部件，对器件性能起决定性作用。由于有机分子的脆弱性，金属沉积过程中会对接触区域造成破坏，制约器件性能的提高。针对金属-有机半导体接触界面对单晶有机薄膜晶体管（SC-OTFTs）性能桎梏的问题，本报告将重点从原子/分子尺度阐述金属与有机半导体接触界面间隙态起源，为缓解金-半接触界面费米能级钉扎效应提供理论与实验指导。在此认识之上介绍我们最近提出的分子解耦界面调控新方法。利用该策略，我们首次使 OTFTs 中金-半接触界面接近理想的肖特基-莫特模型，将亚阈值斜率(SS)和器件信号放大效率逼近热电子发射的理论极限。进一步，通过接触区域 P-N 结设计和界面解耦，实现了首例有机隧穿薄膜晶体管，突破了玻尔兹曼限制，实现了 SS 和放大效率的进一步提升。最后，展示超陡峭 SS 的柔性 OTFT 在低功耗、高增益放大电路及可穿戴传感器接口方面的应用潜力。

#### D24-302B-46

### 有机自旋材料化学结构与自旋输运性质关系研究

郭立丹、孙向南\*  
国家纳米科学中心

有机半导体材料自旋轨道耦合作用弱，因此自旋弛豫时间很长（可达秒量级），是极具潜力的自旋电子学材料。自旋输运和弛豫性质是有机半导体材料最受关注的性质，已被证明与材料化学结构密切相关。然而，由于现有自旋器件表征和实验技术的局限性，材料自旋输运性质、自旋寿命以及自旋弛豫机制难以通过器件进行可靠研究，导致有机半导体的元素组成、化学结构与自旋输运之间的关系和内在机制研究仍然十分匮乏，极大阻碍了有机自旋电子学的发展。首先，我们开发了顶部电极应变限制转移技术提高了器件性能和再现性。其次，我们研究了同分异构半导体的结构异构效应对有机半导体自旋输运性能的影响，证明结构异构形成的构象锁是影响材料自旋轨道耦合效应以及自旋输运性质的重要原因。再次，我们通过有机半导体共轭结构边缘进行元素取代，在不改变自旋寿命的情况下将载流子迁移率提高了 10 倍，并获得了大于 200 nm 的室温自旋扩散长度和大于 8% 的室温磁阻，另外证明了氮原子在室温下表现出比氢原子更强的超精细相互作用。上述研究将为高效自旋输运材料的研究开辟新篇章，促进有机电子学和自旋电子学的理论和实践进步，推动自旋电子学和整个信息领域发展。

#### D24-302B-47

### 有机发光材料及其 OLED 器件研究

赵娟\*  
中山大学

有机发光二极管（Organic light-emitting diodes, OLEDs）在平板显示和固态照明等领域得到了迅速发展和应用。有机发光材料是 OLED 器件中的一个重要组成成分，目前已从第一代荧光发光材料，第二代磷光发光材料，发展到备受瞩目的第三代纯有机热激活延迟荧光（TADF）发光材料。TADF 发光材料由于具有较小的三线态和单线态能级差，能够在常温下发生三线态到单线态的反向系间窜越，理论上可以实现 100% 的激子利用率。然而，由于常规 TADF 发光材料存在浓度猝灭（ACQ）效应，为了克服 ACQ 而获得高性能 OLED 器件，通常需要采用复杂的掺杂工艺进行器件制备。2014 年，我们课题组首次提出一种非对称分子设计策略，将聚集诱导发光（AIE）和 TADF 两种特性集合在一个分子结构中，获得了高发光效率的 AIE-TADF 发光材料，当用其制备非掺杂 OLED 器件是，可获得高于 20% 的外量子效率。近年来，为了提高材料和器件性能，我们提出一系列创新的分子设计策略，获得了热稳定高、发光效率高、可非掺杂的 TADF 发光材料和高性能 OLED 器件，在提高效率的同时，也大大简化器件制备工艺，降低成本。

#### D24-302B-48

### 窄光谱有机发光材料的激发态调控

杨楚罗\*  
深圳大学

多重共振诱导的热活化延迟荧光（MR-TADF）材料在高效、窄谱带有机发光二极管（OLED）中显示出巨大的潜力。本报告将介绍我们近几年在 BN 稠环 MR-TADF 材料的激发态调控及其窄光谱 OLED 器件上的进展。

(1) 重原子效应促进 MR-TADF 材料的反向系间窜跃速率（RISC）。将 S、Se 原子嵌入硼氮杂多重共振稠环骨架，该 MR-TADF 材料具有几乎 100% 的光致发光量子产率和快速的 RISC 速率（kRISC）。将其作为发光客体的 OLED 表现出高达 36.8% 的外量子效率（EQE）和超低的效率滚降。将 MR-TADF 材料用作敏化剂制作了高性能的超荧光（HF）OLED 器件，其 EQE 高达 40.5%。

(2) 引入长程电荷转移激发态提升 MR-TADF 材料反向隙间窜跃速率。将合适的电子给体单元与硼氮稠环骨架中的硼原子对位正交连接，在保证最低单重激发态（S1）SRCT 特性的前提下，合理引入长程电荷转移三重态（3LRCT）促进反向系间窜越过程，从而获得兼具窄半峰宽、高效率和快速 kRISC 的发光

材料。基于 CzBN3 的器件外量子效率高达 37.1%；基于 CzBN3 的超荧光 OLED 器件，获得了高达 42.3% 的外量子效率（1000 cd/m<sup>2</sup> 亮度下，EQE 仍然高达 34.1%）。

(3) 长程电荷转移激发态和重原子效应协同提高 MR-TADF 反向隙间窜跃速率。根据这个策略设计的 MR-TADF 材料兼具快速的反向隙间窜跃速率 ( $2.2 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ )，快速的辐射跃迁速率 ( $4.9 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ ) 和接近 100% 的荧光量子产率。得益于这些优异的光物理性质，相应的电致发光器件实现了近 30% 的最大外量子效率，其器件展现出超低的效率滚降。

#### D24-302B-49

##### 有机微纳米激光材料与器件

赵永生

中国科学院化学研究所

#### D24-302B-50

##### 多受体类有机聚合物半导体的精准合成

王洋\*

复旦大学材料科学系

由于受体单元种类的匮乏以及受体单元中拉电子基团较大的空间位阻，双极性/n 型有机聚合物半导体的设计和开发一直停滞不前，其电子迁移率往往比空穴迁移率低 1-2 个数量级[1]。最近，受体-受体-给体或者全受体主链的有机聚合物半导体展示出了优异的电子迁移率、较高的光电转换效率和良好的热电转换性能[2, 3]。这些聚合物通常使用 Stille 偶联缩合聚合而成。然而，受体单元的锡试剂（即 Stille 聚合前驱体）的提纯非常具有挑战性，限制了这一类聚合物的进一步发展。为了规避有机锡试剂，我们使用受体-受体主链策略结合 C-H 直接芳基化聚合反应来高效合成双极性/n 型有机聚合物半导体材料。我们发现氟取代使得吡咯并吡咯二酮双受体单元的 C-H 键酸性增强，故其 C-H 反应活性增强。仅经过 1 小时的直接芳基化聚合，便得到数均分子量接近 3 万的高分子量聚合物，其中聚合物与苯并噻二唑共聚的聚合物电子迁移率可达  $3.75 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ [4]。然而，吡咯并吡咯二酮差强人意的拉电子能力导致所得聚合物前线分子轨道能级较浅，表现出一定的空穴传输性而不利于 n 型有机薄膜晶体管性能。为此，我们进一步提出了一种混合受体调制策略，即在吡咯并吡咯二酮双受体单元中间插入氟化苯并噻二唑单元用于构建具有更深前线轨道能级的氟化三受体单元。基于该氟化三受体单元的聚合物表现出更深的 HOMO/LUMO 能级。此外，还具有由非共价构象锁引起的高平面性骨架，故其表现出很高的结晶性和有利于载流子传输的 3D 聚合物堆积结构，展示出高达  $5.04 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  的电子迁移率[5]。

参考文献

- [1] Wang, Y.; Liu, Y. Trends in Chemistry, 2023, 5: 279.
- [2] Zhao, Y. H.; Li, W.; Shen, T.; Zhao, Y.; Liu, Y.; Wang, Y. Sci. China Chem. 2023, 66: 548.
- [3] Wang, Y.; Takimiya, K. Adv Mater. 2020, 32: 2002060.
- [4] Shen, T.; Li, W.; Zhao, Y.; Liu, Y.; Wang, Y. Matter. 2022, 5: 1953.
- [5] Shen, T.; Li, W.; Zhao, Y.; Wang, Y.; Liu, Y. Adv Mater. 2023, 35: 2210093.

#### D24-302B-51

##### 生物传感功能界面创制与应用研究

张凤娇\*

中国科学院大学

有机场效应晶体管可以通过栅压调控有机半导体的导电能力，被广泛认为是研究电荷传输性质与拓展功能研究的重要载体之一。基于器件信号放大和信号转换作用，有机晶体管被广泛用于化学/生物以及物理信号的检测。为发展高灵敏度和高选择性的化学/生物传感，实现传感功能导向的界面创制关键[1,2]。围绕上述要求，我们从新型功能分子开发、分子堆积的精准调控和微观结构化入手，发展了系列高灵敏度生物

传感器[3-5]: 结合流体力学和界面聚合物修饰, 发展了氢键诱导的分子组装策略, 实现了对含共轭结构的药物活性分子高度取向性堆积, 发展了高灵敏度的乙酸乙酯识别检测平台; 利用有机半导体与探针分子的物理吸附修饰开发了新型高稳定性和可重复使用的有机电化学晶体管传感器, 该类器件可高灵敏度和选择性探测血液中的表皮生长因子受体, 为新型定点照护检测 (POC) 技术开发提供了新思路; 通过界面多孔修饰诱导探针分子的微观组装结构, 创新传感界面待测分子与器件间的电荷转移, 基于有机电化学晶体管实现了高灵敏度的幽门螺旋杆菌抗原检测。上述工作促进了有机电子器件在健康监测等领域的应用。

#### 参考文献

- [1] X. Y. Ma, Z. L. Jiang, L. Y. Xiang, F. J. Zhang\*, ACS Mater. Lett. 2022, 4, 918.
- [2] D. F. Zhi, E. Y. Zhang, B. Y. Zhang, F. J. Zhang\*, Mol. Syst. Des. Eng. 2022, 7, 553.
- [3] L. Y. Xiang, Z. H. He, C. Y. Yan, Y. Zhao, Z. Li, L. Jia, Z. Jiang, X. Dai, V. Lemaury, Y. Ma, L. Liu, Q. Meng, Y. Zou, D. Beljonne, F. J. Zhang\*, D. Q. Zhang, C. A. Di\*, D. B. Zhu, Nat. Nanotechnol. 2024, 10.1038/s41565.
- [4] F. J. Zhang, V. Lemaury, W. Choi, P. Kafle, S. Seki, J. Cornil, D. Beljonne, Y. Diao\*, Nat. Commun. 2019, 10, 4217.
- [5] F. J. Zhang\*, E. Mohammadi, G. Qu, X. J. Dai, Y. Diao\*, Adv. Mater. 2020, 32, 2002823.

### D24-302B-52

#### 本征可拉伸超分子光电材料与器件

王以轩\*、胡文平

天津大学

基于本征可拉伸高分子光电材料/器件的人机交互系统, 是信息技术改造/融入生命过程的重要载体, 在主动健康、脑科学等领域有广阔的应用前景。共轭聚合物导体/半导体是生物界面信号传感、转换、调制的核心功能材料, 然而其延展性差 (断裂应变低于 5%), 难以随组织界面形变 (30%-70%应变) 并稳定工作。就分子结构而言, 高效载流子传输需要刚性共轭结构紧密堆积, 抑制了链段自由度及本征拉伸性; 柔性链段的引入, 不仅降低光电活性材料的含量, 而且易降低共轭链段排列有序度进而影响光电性能。这一矛盾致使高性能本征可拉伸光电材料的制备成为领域的瓶颈问题。

我们结合环状分子合成与超分子自组装研究工作基础, 针对上述挑战, 通过发展高构象自由度超分子塑化策略提升柔性网络的应力耗散效率, 并通过刚-柔网络超分子作用促进共轭组分规则排列进而提升载流子传输与光电转化效率, 从而同步改善复合材料的力-电/光性能。创制了耐受 100% 拉伸应变的高性能聚合物导体/半导体材料及器件, 发展了脑干核心区的电生理交互、类皮肤光电传感/视觉反馈等人机交互新技术。

### D24-302B-53

#### 多维配位化合物的能量储存与转换研究

师唯\*

南开大学

能量存储与转换一直是化学与材料科学交叉的前沿领域。应用配位化学原理是合成具有不同结构维度的配位框架材料是一种非常有前途的研究途径[1-15]。我们研究了多种具有优异能量储存和转化性质的新型配位框架化合物, 并在分子水平上进一步研究了它们的储能和转化机理。

#### 参考文献:

1. S. Zhang, L. Lu, J. Jiang, N. Liu, B. Zhao, M. Xu, P. Cheng, and W. Shi\*, Adv. Mater. 2024, 202403464.
2. W. Lan, X. Gou, Y. Wu, N. Liu, L. Lu, P. Cheng, and W. Shi\*, Angew. Chem. Int. Ed. 2024, 63, e202401766.
3. M. Wang, Z. Han, K. Wang, B. Zhao, T. Sun, Y. Wu, P. Cheng and W. Shi\*, Angew. Chem. Int. Ed. 2024, 63, e202318722.
4. Z. Han, K. Wang, M. Wang, T. Sun, J. Xu, H.-C. Zhou, P. Cheng, W. Shi\*, Chem, 2023, 9, 2561.
5. Z. Han, R. Zhang, J. Jiang, Z. Chen, Y. Ni, W. Xie, J. Xu, Z. Zhou, J. Chen, P. Cheng, W. Shi\*, J. Am. Chem. Soc. 2023, 145, 10149.

6. Z. Chen, Y.-L. Lu, L. Wang, J. Xu, J. Zhang, X. Xu, P. Cheng, S. Yang, W. Shi,\* J. Am. Chem. Soc. 2023, 145, 260.
7. Z. Han, K. Wang, H.-C. Zhou, P. Cheng, W. Shi,\* Nature Protoc. 2023, 18, 1621.
8. N. Liu, J. Jiang, Z. Chen, B. Wu, S. Zhang, Y.-Q. Zhang, P. Cheng, W. Shi,\* Angew. Chem. Int. Ed. 2023, 62, e202312306.
9. Z. Han, J. Li, W. Lu, K. Wang, Y. Chen, X. Zhang, L. Lin, X. Han, S. J. Teat, M. D. Frogley, S. Yang,\* W. Shi,\* P. Cheng, Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61, e202115585.
10. Z. Han, K. Wang, H. Min, J. Xu, W. Shi,\* P. Cheng, Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61, e202204066.
11. Z. Han, K. Wang, Y. Chen, J. Li, S. J. Teat, S. Yang, W. Shi,\* P. Cheng, CCS Chem. 2022, 4, 3238.
12. J. Liu, D. Xie, X. Xu, L. Jiang, R. Si,\* W. Shi,\* P. Cheng, Nature Commun. 2021, 12, 3131.
13. J. Du, J. Ren, M. Shu, X. Xu, Z. Niu, W. Shi,\* R. Si, P. Cheng, Angew. Chem. Int. Ed. 2021, 60, 4142.
14. H. Liu, C.-Y. Chen, H. Yang, Y. Wang, L. Zou, Y.-S. Wei, J. Jiang, J. Guo, W. Shi\*, Q. Xu\* and P. Cheng, Adv. Mater. 2020, 32, 2004553.
15. Z. Han, K. Wang, Y. Guo, W. Chen, J. Zhang, X. Zhang, G. Siligardi, S. Yang, Z. Zhou, P. Sun, W. Shi,\* P. Cheng, Nature Commun. 2019, 10, 5117.

#### D24-302B-54

### 分子聚集态固体光功能材料激发态的探测与调控

李明德\*

汕头大学

基于分子态与聚集态固体下的有机材料往往表现出不同的性质，除了分子自身结构因素外，分子间相互作用也将显著影响材料的性能。近年来，有机分子聚集态固体材料在照明、监测、智能传感、防伪、及光学信息存储等领域展现出巨大的应用前景，有机固体材料新颖光学现象不断被报道。因此，对分子本征激发态性质的研究往往难以解释有机分子聚集态固体下的光学现象，除了分子态激发态过程研究，亟需对分子聚集态固体的激发态过程开展研究。

超快时间分辨光谱是研究光诱导引起的光物理、光化学、光生物和光药物等的超快过程反应机制的最重要的研究手段。有机光功能材料的激发态是高能的活性中间体，寿命短、电子结构异常复杂，导致其光物理和光化学过程难以控制。有机光功能材料激发态的时空探测与调控尚处在起步阶段，是目前光化学领域研究的热点和难点。因此我们利用超快光谱开展了分子聚集态固体光功能材料的激发态时间分辨探测与调控的工作，揭示了激发态分子电子结构、晶体构型和分子间相互作用力等对分子聚集态固体激发态过程的影响规律，进而实现对激发态的调控，为有机光功能材料设计提供理论指导和科学依据。

## 墙报

## D24-P01

## NIR-II 共轭电解质作为脂质双分子层的仿生物用于体内脂质体跟踪

孟莹莹\*

华南理工大学

脂质体是一种很有前途的、多功能的药物传递载体。跟踪这些纳米大小的囊泡，特别是在体内，对于了解它们的药代动力学至关重要。本研究介绍了三种新型共轭电解质(CE)分子的设计和合成，它们在第二个近红外窗口(NIR-II)中发射，促进更深的组织穿透。此外，这些 CE 分子作为脂质双分子层的仿生物，与常用的碳菁染料(如 DiR)相比，与脂质膜具有更好的相容性。为了减缓聚集引起的猝灭效应，CE 分子采用了扭曲的主链，因此采用荧光团聚策略，它们的荧光强度可以有效增强。值得注意的是，建立了一种新的“被动”方法，在脂质体形成过程中将 CE 分子整合到脂质体中，并显著提高了膜的掺入效率，接近 100%。为了验证体内跟踪能力，含 CE 分子的脂质体被环精氨酸-甘氨酸-天冬氨酸(cRGD)肽功能化，作为肿瘤靶向配体。通过收集 NIR-II 辐射，获得了活体小鼠肿瘤部位清晰的荧光图像。独特的是，这些 CE 分子在可见光区表现出额外的发射峰，使得使用常规共聚焦显微镜进行体外亚细胞分析成为可能。这些结果强调了 CE 分子作为新一代膜靶向探针促进基于脂质体的药物研究的潜力。

## D24-P02

## Novel V-shaped HLCT emitters towards solution-processed ultra-deep-blue OLEDs with EQE exceeding 10%

Chuanxin Liao<sup>1,2</sup>, Bo Chen<sup>1,2</sup>, Qi Xie<sup>1,2</sup>, Xianggao Li<sup>1,2</sup>, Hongli Liu<sup>1,2</sup>, Shirong Wang<sup>\*1,2</sup>

1. Tianjin University

2. Collaborative Innovation Center of Chemical Science and Engineering (Tianjin)

It has always been a great challenge to achieve high-efficiency solution-processed ultra-deep-blue organic light-emitting diodes (OLEDs) with the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) 1931 chromaticity coordinates matching the blue primary of Rec. ITU-R BT.2100, which specifies high dynamic range television (HDR-TV) image parameters. Inspired by hybrid local and charge transfer (HLCT) excited state emitters improving exciton utilization through high-lying reverse intersystem system crossing, a series of high-performance blue emitters by a V-shaped symmetric D- $\pi$ -A- $\pi$ -D design strategy are developed in this study. Here, the large torsions and unstable bonds of D-A structures could be improved through  $\pi$  bridges, and also the conjugation length and donor groups can be easily adjusted. The obtained emitters merit excellent photophysical and electrochemical properties, thermal stability, solution processibility, and HLCT excited state excellence. Results suggest that the OLEDs based on the obtained blue emitters all achieve high maximum external quantum efficiency (EQE<sub>max</sub>) of more than 8% with very low efficiency roll-off. In particular, the device based on **FIP-CZ** exhibits a satisfactory ultra-deep-blue emission (CIE<sub>x,y</sub> = 0.1579, 0.0387) and a record-high EQE<sub>max</sub> (10.40%) among solution-processed HLCT-OLEDs, which is very close to the record EQE<sub>max</sub> of devices by vacuum vapor deposition technology.

## D24-P03

## Strain-insensitive viscoelastic perovskite film for intrinsically stretchable neuromorphic vision-adaptive transistors

Chengyu Wang<sup>1,2</sup>, Yunqi Liu<sup>1,2</sup>, Yunlong Guo<sup>\*1,2</sup>

1. Institute of Chemistry Chinese Academy of Sciences

2. School of Chemical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences

Stretchable neuromorphic optoelectronics present tantalizing opportunities for intelligent vision applications that necessitate high spatial resolution and multimodal interaction. Existing neuromorphic devices are either stretchable but not reconcilable with multifunctionality, or discrete but with low-end neurological function and limited flexibility. Herein, we propose a defect-tunable viscoelastic perovskite film that is assembled into strain-insensitive quasi-continuous microsphere morphologies for intrinsically stretchable neuromorphic vision-adaptive transistors. The resulting device achieves trichromatic photoadaptation and a rapid adaptive speed (<150 s) beyond human eyes (3 ~ 30 min) even under 100% mechanical strain. When acted as an artificial synapse, the device can operate at an ultra-low energy consumption (15 aJ) (far below the human brain of 1 ~ 10 fJ) with a high paired-pulse facilitation index of 270% (one of the best figures of merit in stretchable synaptic phototransistors). Furthermore, adaptive optical imaging is achieved by the strain-insensitive perovskite films, accelerating the implementation of next-generation neuromorphic vision systems.

#### D24-P04

### 有机半导体在室温自旋阀中的应用

杨学礼\*

中国科学院化学研究所

随着有机电子学的迅速发展，基于有机材料的电子器件，如有机发光二极管、有机太阳能电池、有机场效应晶体管等器件，在过去的几十年里取得了迅速发展。有机自旋电子学作为有机电子学的重要分支，是一个新兴的研究领域。传统的电子器件仅利用了电子的电荷性质，而有机自旋电子学则利用电子的电荷和自旋两个内禀属性。自 2004 年第一个有机自旋阀诞生以来，大量经典有机半导体在自旋电子学领域实现了自旋输运。然而，大多数基于有机分子的自旋输运研究都是在超低温下进行，这使得有机自旋电子学的未来应用面临着巨大的挑战。基于此，本文综述了近几年有机半导体在室温自旋阀中的应用。首先，介绍了有机自旋阀的基本工作原理和磁阻开关机制。随后，详细概述了铁磁电极选择和自旋界面对于实现室温自旋输运的重要性，并综述了有机半导体材料在自旋阀中应用的最新进展，包括室温自旋输运的小分子和聚合物。最后，基于爱因斯坦关系式，我们系统性地分析了载流子迁移率和自旋寿命对材料自旋输运性能的影响。同时，我们为改善有机半导体材料的自旋输运性质，提供了一个可靠的分子设计策略。

#### 参考文献

[1] Xueli Yang, Ankang Guo, Lidan Guo, Yunqi Liu, Xiangnan Sun, and Yunlong Guo. ACS Materials Lett. 2022, 4, 805–814.

#### D24-P05

### Interlayer ‘Sponge Effect’ in Two-Dimensional Covalent Organic Frameworks

Changsheng Du\*

Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences

The burgeoning field of two-dimensional (2D) materials has been significantly expanded with the advent of covalent organic frameworks (COFs). These materials exhibit exceptional properties due to their ordered, porous structures and poised to revolutionize applications in gas storage, catalysis, and sensing. In this study, we report the unique interlayer ‘sponge effect’ of that enables reversible tuning of the interlayer spacing through the adsorption or desorption of water vapor, as demonstrated by in-situ powder X-ray diffraction (PXRD). Solid-state nuclear magnetic resonance (NMR) spectra of COFs reveal that the hydrophilic points in the pore structures regulate the interlayer of COFs interaction by forming hydrogen bonds with water molecules. Remarkably, the ‘sponge effect’ of 2D COFs give rise to significant effects on their photophysical properties, such as light adsorption and emission. The findings contribute to the fundamental understanding of the dynamic structural properties of 2D COFs and pave the way for the development of smart materials with tunable optical properties

and responsive behavior to environmental stimuli.

## D24-P06

### 非富勒烯共混薄膜相结构的调控及纳米级成像

孙健哲、刘云圻\*

中国科学院化学研究所

由于有机半导体中光生激子的固有物理特性以及有机半导体薄膜较低的迁移率，本体异质结的形貌一直是影响器件性能的关键因素。对于这类结构的探究，常规表征手段很难具有合适的纳米级映射。在这里，我们使用散射型扫描近场光学显微镜（s-SNOM）研究了聚合物供体 PM6 和非富勒烯小分子受体 Y6 共混薄膜中的纳米级结构域，以大约 20 nm 的空间分辨率直接测定有机薄膜的局部结晶度，并比较了不同热塑性弹性体 SEBS 含量对共混膜形貌的影响。我们发现 s-SNOM 非常适合在纳米级分辨率下观测给受体结晶诱导的多尺度复杂结构形成过程中的多态性和相共存现象，这有助于理解非富勒烯共混薄膜的内部运行机制，并有效指导新型材料的开发和器件制备工艺的改进，从而进一步提高效率。

## D24-P07

### 单分子尺度手性自旋运输的室温测控

王珏钧<sup>1,2</sup>、涂丽娟<sup>1,2</sup>、洪文晶<sup>\*1,2</sup>

1. 厦门大学化学化工学院
2. 固体表面物理化学国家重点实验室

手性诱导自旋选择性效应对物质在物理、化学过程中的行为具有重要调控作用，揭示手性-自旋的内在关联对理解生命过程和物质的物化行为具有重要意义。然而，目前基于宏观手性材料体系的系综检测结果难以揭示手性-自旋的内在关联机制。同时，以往的研究对象大多具有多个手性中心，这加剧了手性结构的复杂程度，加大了对其构效关系的分析难度，进而限制了对手性自旋效应的进一步研究和应用。

为了得到手性自旋运输过程中的本征信息，我们以具有单个手性中心的手性联萘酚衍生物 R-BINOL-2 为模型分子，通过扫描隧穿裂结技术（STM-BJ）构建具有单个手性中心的单分子结，使用外磁场调控自旋流的产生，并在室温下发现手性单分子结存在自旋运输选择性，磁阻值达到 203.04%。我们使用通过单能级运输模型，揭示了不同自旋运输过程中的分子-界面耦合能量和运输轨道能量的差异。同时，我们在基于非手性的不对称结构分子和对称分子的单分子结中也发现了分子结的自旋运输选择性和运输磁阻的偏置电压依赖性，推测是局域强电场增强分子极化状态，导致分子在高偏压下自旋运输选择性的加强。为了进一步佐证上述观点，我们通过增加分子长度，以降低电极间隙内的电场强度和分子极化，观察了到分子自旋运输选择性的降低。

我们从单分子尺度对手性自旋效应进行表征和操纵，从实验上证明手性自旋运输现象来源于自旋运输轨道和分子-界面耦合能量的差异，并提出了通过电场操纵自旋极化的方法，这对理解手性自旋内在机制，发展手性自旋量子化和室温自旋运输的测控方法具有重要意义。

## D24-P08

### 本征柔性有机电子器件的研究进展

史文康\*

中国科学院化学研究所

本征柔性有机电子学是近年来涌现的一项变革性的前沿交叉学科，它赋予电子材料可印刷、可折叠和可拉伸等特性，使其应用于健康医疗、柔性显示、传感探测、人工智能和脑机接口等前沿领域。为了进一步拓展本征柔性有机电子器件的应用场景，设计开发高性能、高显示度、高稳定性的本征柔性材料和有机电子器件是当前的研究重点。本文主要介绍了近年来本征柔性有机电子学相关领域的前沿研究进展，重点讨论了本征柔性材料和有机电子器件的设计和制备策略、本征柔性材料图案化工艺和集成电路，分析了本

征柔性有机电子学领域的技术瓶颈和前沿问题，最后，总结和展望了本征柔性有机电子器件的应用前景和未来发展趋势。

## D24-P09

### 多功能化导向的高迁移率聚合物半导体

朱明亮、郭云龙、刘云圻\*

中国科学院化学研究所

导电聚乙炔的发现开创了有机电子学中凝聚态物理和合成化学的跨学科研究。与无机和小分子半导体不同，聚合物半导体具有易于溶液法加工、大面积制造、优异的机械强度和本征柔性等固有优势。到目前为止，它们已经具备了超过  $10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  的载流子迁移率，而器件工艺和可控掺杂/共混进一步提高了电学性能和环境稳定性。除了高迁移率之外，集成机械性能（可拉伸性）、光学性质（发光和光图案化）和热学特性（热电转换）等有助于多模式融合和智能制造，其中可裁剪的  $\pi$ -共轭单元可以面向不同的应用实现材料的功能化。因此，我们总结了功能化高迁移率聚合物半导体的最新进展，并提出当前的挑战和未来的研究方向。

## D24-P10

### Topology-Selective Manipulation of Two-Dimensional Covalent Organic Frameworks

Xinyu Wang, Jianyi Chen\*

Institute of Chemistry Chinese Academy of Sciences

The manipulation of topological architectures in two-dimensional (2D) covalent organic framework (COF) materials for different applications is promising but remains a great challenge. Here, we first report the topologyselective synthesis of two distinct varieties of 2DCOFs, imine-based HT-COFs and benzimidazole-fused BI-HT-COFs, by simply altering acid catalysts. To HT-COFs, a superlattice of 1D channel with a persistent triangular shape is formed via Schiff base reaction, while to BI-HT-COFs, a hexagonal lattice structure with a highly conjugated structure and imidazole linkages is constructed due to an iminebased cyclization reaction. The two COFs exhibited marked differences in their bandgap, chemical stability, molecular adsorption, and catalytic activity, which make them have different fields of application. This work not only diversifies the hexaaminotriphenylene-based 2DCOF topologies but also provides vivid examples of structure–property relationships, which would facilitate fundamental research and potential applications of 2DCOFs.

## D24-P11

### Solid-Liquid Interfacial Engineered Large-Area Two-Dimensional Covalent Organic Framework Films

Jiaxin Hong, Jianyi Chen\*

Institute of Chemistry Chinese Academy of Sciences

Constructing uniform covalent organic framework (COF) film on substrates for electronic devices is highly desirable. Here, a simple and mild strategy is developed to prepare them by polymerization on a solid-liquid interface. The universality of the method is confirmed by the successful preparation of five COF films with different microstructures. These films have large lateral size, controllable thickness, and high crystalline quality. And COF patterns can also be directly achieved on substrates via hydrophilic and hydrophobic interface engineering, which is in favor of preparing device array. For application studies, the PyTTA-TPA (PyTTA: 4,4',4'',4'''-(1,3,6,8-Tetrakis(4-amino\_x0002\_phenyl)pyrene and TPA: terephthalaldehyde) COF film has a high photoresponsivity of  $59.79 \mu\text{A W}^{-1}$  at 420 nm for photoelectrochemical (PEC) detection. When employed as an active material for optoelectronic synaptic devices for the first attempt, it shows excellent light-stimulated

synaptic plasticity properties such as short-term plasticity (STP), long-term plasticity (LTP), and the conversion of STP to LTP, which can be used to simulate biological synaptic functions.

#### D24-P12

##### **Biomimetic Nanocluster Photoreceptors for Adaptive Circular Polarization Vision**

Wei Wen, Hanlin Wang, Yunqi Liu\*

Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences

Nanoclusters with atomically precise structures and discrete energy levels are considered as nanoscale semiconductors for artificial intelligence. However, nanocluster electronics engineering and optoelectronic behavior have remained obscure and unexplored. Hence, we create nanocluster photoreceptors inspired by mantis shrimp visual systems to satisfy the needs of compact but multi-task vision hardware and explore the photo-induced electronic transport. Wafer-scale arrayed photoreceptors are constructed by nanocluster-conjugated molecule heterostructure. Nanoclusters perform as an in-sensor charge reservoir to tune the conductance levels of artificial photoreceptors by a light valve mechanism. Ligand-assisted charge transfer process at nanocluster interface, featuring integrated spectral-dependent visual adaptation and circular polarization recognition. This approach is further developed as a concisely-structured, multi-task and compact artificial visual systems and provides valuable guidelines for nanocluster neuromorphic devices.

#### D24-P13

##### **Construction of Highly Crystalline Vinylene-Linked Covalent Organic Frameworks for Efficient Hydrogen Evolution**

Helin Xu, Jianyi Chen\*

Institute of Chemistry Chinese Academy of Sciences

The  $sp^2$ -carbon-linked covalent organic frameworks ( $sp^2$ -COFs), an advanced semiconductor material, have attracted much attention in recent years due to their excellent  $\pi$ -conjugated, high stability, and tunable electronic structure. However, the synthetic mechanism and strategy of highly crystalline  $sp^2$ -COFs remains in an exploratory stage and considerable challenges. The synthesis of  $sp^2$ -COFs with different catalytic sites and local charges has been achieved through this catalyst. Benefiting from the highly  $\pi$ -conjugated and catalytic sites, the obtained  $sp^2$ -COFs achieved an ultrahigh sacrificial photocatalytic hydrogen evolution rate of  $143 \text{ mmol h}^{-1} \text{ g}^{-1}$  under visible light irradiation. This strategy may constitute a step towards preparation of high-crystalline vinylene-linked COFs for applications beyond photocatalysis.

#### D24-P14

##### **基于超窄带隙 n-型有机半导体的高灵敏短波红外有机光探测器**

尹冰艳、段春晖\*

华南理工大学

短波红外 (SWIR) 光探测在先进的科学技术应用中发挥着重要的作用。市面上现有的无机 SWIR 光探测器显著依赖于 III-V 族元素, 受原材料严重短缺和制造成本高昂的限制。此外, 其刚性、与 CMOS 读出电路集成的必要性以及对温度变化的敏感性限制了其在柔性、便携式和可穿戴光电设备中的应用。有机半导体因其化学结构可调、吸收系数高、机械柔韧性好、可溶液加工等优点, 成为下一代光电器件的理想候选材料。然而, 利用有机光电探测器 (OPDs) 实现对 SWIR 光的灵敏探测仍然具有挑战。

我们通过在分子骨架中引入醌式单元, 构建了 A-D-Q-D-A 型分子, 有效减小了键长交替值, 开发了一种在中性态下吸收边达  $1.24 \mu\text{m}$  的超窄带隙 n-型有机半导体。醌式单元的引入显著降低了材料内部的能

量无序性和陷阱密度，从而减少了热激发载流子对暗电流的贡献。基于此超窄带隙 n-型有机半导体的 SWIR-OPD 在零偏压于 1.1  $\mu\text{m}$  处实现了 18.9% 的外量子效率 (EQE)，在 0.4~1.2  $\mu\text{m}$  范围内实现了超过  $10^{12}$  Jones 的相对探测率。

随后，我们将醌式效应更强的三并环缺电子单元引入到分子结构中，使材料的吸收边进一步红移至 1.27  $\mu\text{m}$ 。基于该材料的 SWIR-OPD 在零偏压于 1.1  $\mu\text{m}$  处实现了 26% 的 EQE，在 -4 V 偏压下更是实现了高达 41% 的 EQE。此外，活性层中低的能量无序性和陷阱密度显著抑制了热激发载流子和暗电流，使器件在 0.50~1.21  $\mu\text{m}$  范围内实现了超过  $10^{13}$  Jones 的相对探测率，即便在 1.30  $\mu\text{m}$  处，器件在零偏压下也实现了超过了  $10^{12}$  Jones 相对探测率，有效拓展了有机光探测器的检测极限。

以上工作证明，引入醌式单元是构建低能量无序度和小陷阱态密度的中性态超窄带隙 n-型有机半导体的有效策略，也是实现高灵敏 SWIR-OPD 的有效方法。

## D24-P15

### 化学气相诱导转化策略制备二维共价有机框架材料

刘明辉、陈建毅\*

中国科学院化学研究所

共价有机框架 (Covalent Organic Frameworks, COFs) 材料是一类具有明确拓扑结构的多孔聚合物，其孔通道有序且孔径大小可调，形成的二维 (2D) 或三维 (3D) 晶体/薄膜长程有序。其中，2D COFs 是通过有机单体之间的缩聚并用共价键连接起来的类石墨烯二维有机网络结构，可为载流子的传输提供一个理想通道，是一类新型有机半导体材料。然而，迄今为止，常规的合成方法在大面积、厚度可控及多种衬底生长等方面仍然面临着一系列的挑战，这大大限制了 COFs 薄膜材料在光电子器件、催化、能源存储等领域的广泛应用。鉴于上述的挑战，我们发展了化学气相沉积法 (CVD) 制备 COFs 新策略，并成功制备了多种 2D COFs 薄膜材料。该策略采用超高真空有机蒸镀方式制备的 1, 3, 6, 8-四-(对胺基苯基)-苊作为主要前驱体薄膜，在 CVD 系统内分别与对苯二甲醛、4, 4'-联苯二甲醛、2, 2'-联吡啶-5, 5'-二甲醛三种小分子前驱体进行 Schiff's base 反应生成了三种大面积、厚度可控的 COFs 薄膜材料。此外，我们借助掩模版工艺制备了多种 COFs 薄膜图案。通过 Raman, FTIR, HRTEM, GIWAXS 等检测手段证明了 COFs 薄膜材料的成功制备。以 PyTTATPA COFs 薄膜作为半导体活性材料，制备了底栅底接触构型的场效应器件，测试结果表明，该 COFs 材料为一种 P 型半导体材料，器件在 -40 V 的栅极电压下显示出  $\sim 9.0 \times 10^{-7}$  A 的饱和电流，并且阈值电压  $< -5$  V，空穴迁移率为  $\sim 1.89 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，开/关比为  $5.24 \times 10^5$ 。电催化测试结果显示我们制备的 COFs 薄膜具有优异的催化性能。因此，本工作为探索多种生长衬底、厚度可控、可图案化以及制备超干净 COFs 等方面提供重要借鉴。

## D24-P16

### Preparation of Novel Conjugated Macromolecule with Balanced Mobility for Organic Field-Effect Transistors

Wenqing Zhang, Shiwei Ren, Yunqi Liu\*

Key Laboratory of Organic Solids, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences

In this study, a macromolecular material with high molecular weight based on the coupling polymerization of pyridine ring-embedded diketopyrrolopyrrole with bis(difluorinated) thiophene, named PDPP-2Py-2FT, was designed and prepared. The target product was purified by Soxhlet extraction with very high purity and excellent thermodynamic stability. The theoretical simulations verified the good planar nature of the molecular structure, which was necessary to achieve the conductive transport of carriers. Electrochemical tests revealed that the material possesses well-reversible reduction properties and shows low-lying frontier orbital energy levels, which were fundamental for the realization of the electron transport behavior. The corresponding thin-film materials have been used in organic transistors and show balanced hole and electron mobility.

**D24-P17****二维共价有机框架 (2DCOFs) 薄膜材料的制备及其应用**

化春雨、陈建毅\*  
中国科学院化学研究所

二维共价有机框架 (2DCOFs) 材料因其具有比表面积高、易于官能团化、孔径可调、孔道环境可定制等优点, 在气体吸附和分离、储能、催化、载药、传感、识别、光电材料等领域均有卓越的性能和更广泛的应用前景。从 2D COFs 材料的设计与合成、结构的表征与应用等方面出发, 组分、结构和功能可调性的 2DCOFs 薄膜材料在开发和应用方面取得了较快的发展。本文主要介绍了近年来 2DCOFs 薄膜材料的前言研究进展, 重点讨论了 2DCOFs 薄膜材料的制备及其在光电器件方面的应用, 最后, 总结和展望了 2DCOFs 薄膜材料的应用前景和未来发展趋势。

**D24-P18****气泡群中时空依赖的限域效应促进手性分形多级组装**

高杰<sup>1</sup>、欧阳光辉<sup>1</sup>、周鹏<sup>2</sup>、尚鹏<sup>1</sup>、龙浩然<sup>3</sup>、冀璐康<sup>1</sup>、曲致远<sup>1</sup>、郭萌萌<sup>1</sup>、杨永瑞<sup>1</sup>、赵丰贵<sup>4</sup>、尹晓东<sup>4</sup>、柯于斌<sup>5</sup>、魏钟鸣<sup>3</sup>、张贞<sup>1</sup>、闫学海<sup>2</sup>、刘鸣华<sup>1</sup>、乔雅丽\*<sup>1</sup>、宋延林<sup>1</sup>

1. 中国科学院化学研究所
2. 中国科学院过程研究所
3. 中国科学院半导体研究所
4. 北京理工大学化学与化工学院
5. 中国散裂中子源

由于其提供的丰富气/水界面, 海底的限域气泡群被认为是早期生命物质演化的重要限域环境。同样, 在这种特殊场景中限域效应的时空依赖特性也可能影响有机体组装的手性起源、传递和放大。在本文中, 我们利用基于微柱模板稳定的密集气泡阵列研究了手性两亲分子 Azo-Glu 的蒸发诱导的手性多级组装。为了研究限域维度和限域动力学对手性组装的影响, 我们设计了四种具有不同限域程度的场景。通过综合光学和结构表征观察到, 当限域程度增强时, 组装体的手性程度、排序和取向一致性显著提高。结合各种显微技术、分子动力学 (MD) 模拟和二次谐波技术, 上述手性增强归因于发泡过程中气/水界面快速形成所诱导的界面效应, 界面约束促进了分子间的对齐, 使在组装过程中手性从谷氨酸的氢键酰胺转移到  $\pi$ - $\pi$  堆叠的偶氮苯。重要的是, 限域形成的时间尺度决定了界面效应在促进手性组装中的具体程度。手性促进同样适用于对映体混合组装。在多数规则实验中, 只有气泡场景表现出手性放大。此外, 通过调节分子的两亲性、聚集体形貌和限域空间, 只有在气泡场景中才能实现多级结构的形貌调控, 这可以通过限域动力学与组装动力学之间的相对关系进行解释。最后, 通过磁导原子力显微镜, 探索了气泡组装体的光异构开关的手性诱导自旋选择性效应 (CISS), 这表明气泡模版在制造图案化手性材料光电器件中的潜力。

**D24-P19****利用维生素 C 提高 n 型有机半导体的性能和稳定性**

苑力倩、黄忆男、李立强、胡文平\*  
天津大学

N 型有机半导体因其质轻、柔性、结构可调、大面积制备以及可溶液加工等优势, 在可穿戴设备和生物医疗等领域具有巨大潜力。其中, N 型半导体是制备互补型半导体 (CMOS)、P-N 结等光电元器件的关键材料。然而, 由于负极化子 (即带负电的自由基阴离子) 本质上对空气中的氧气和水分子非常敏感, 大部分 N 型有机半导体的环境稳定性较差, 这导致其发展严重滞后于 P 型半导体。因此, 提高 N 型有机半导体的抗氧化能力是解决其长期存在不稳定性难题的关键要素。受天然抗氧化剂具有清除活性氧和延缓生物体衰老能力的启发, 我们开发了一种基于维生素 C (抗坏血酸) 来稳定 N 型有机半导体的有效策略,

同时显著提高例如有机场效应晶体管等器件的性能和稳定性。抗坏血酸在级联反应过程中通过非牺牲性氧化反应和非牺牲性三线态淬灭能力有效清除活性氧，抑制活性氧的生成，不仅可以持久地防止半导体分子结构化学降解，还可以钝化潜在的电子陷阱，稳定电子传输。

## D24-P20

### 三氟甲基化设计和合成高性能有机光伏材料

邱东升、何凤\*

南方科技大学

近年来，非富勒烯受体，尤其是 Y 系列受体的快速发展，极大地提升了有机太阳能电池的光电转换效率（PCE）。为了开发高性能的有机光伏材料，科研人员采用了多种分子设计策略，致力于聚合物给体和小分子受体材料的开发。本文中，我们设计并合成了三氟甲基取代的聚合物 PBQ-CF<sub>3</sub>。三氟甲基的强吸电子特性赋予了聚合物给体更深的 HOMO 能级，同时氟原子的非共价键作用有助于改善其聚集行为。基于 PBQ-CF<sub>3</sub> 构建的准平面异质结（Q-PHJ）器件，实现了高达 16% 的光电转换效率。此外，我们还合成了中心核三氟甲基化的受体材料 QxIC-CF<sub>3</sub>，其紧密的分子堆积特性显著提升了电荷传输能力，使得基于 QxIC-CF<sub>3</sub> 的 Q-PHJ 器件达到了 18.1% 的光电转换效率。本研究不仅为有机光伏材料的三氟甲基化提供了一种有效的合成途径，而且证实了三氟甲基化在提升材料光伏性能方面的重要作用。

## D24-P21

### 基于硒取代的二聚受体在准平面异质结有机太阳能电池中的性能提升研究

欧美红\*

南方科技大学理学院化学系

含硒材料被人们认为可以拓宽吸光范围，且更大、更易极化的硒原子使得分子间具有较强的 Se-Se 相互作用，因此结晶性以及电子传输能力都能得以提高。通过端基进行连接的二聚受体材料由于端基的牺牲而使得结晶性有所下降。因此，为了提高二聚受体材料的结晶性，我们通过对 Y 系列受体分子的中心核进行硒取代，并用硒吩作为连接单元合成了硒化的二聚受体材料。硒原子的引入，使得吸光系数显著提高，Urbach 能量显著降低，结晶性得以提高。分别将三个二聚受体材料与 PBQx-H-TF 制备为 Q-PHJ 太阳能电池器件，发现 dBSeIC2Cl-Se-OD 的能量转换效率最高，为 17.03%，明显高于中心核未硒化的 dBTIC-Se-HD，其主要得益于短路电流与填充因子的明显提高。这些结果表明，中心核进行硒取代的策略应用于二聚受体可以有效改善分子的性质，进而影响太阳能电池器件性能。

## D24-P22

### 基于齐聚物受体的高效可拉伸有机光伏电池

丁亚飞、何凤\*

南方科技大学

本征可拉伸有机太阳能电池（IS-OSCs）被认为是可穿戴电子器件的可行电源，因而近年来受到研究者的广泛关注。当前，可拉伸活性层的开发是实现高性能 IS-OSCs 的最大挑战之一。虽然可拉伸聚合物给体的研究已经取得显著进展，但是高效可拉伸受体材料的发展却远远落后。本研究采用“中心-中心”构象，同时使用柔性连接  $\pi$  桥取代刚性连接  $\pi$  桥，制备了四种非共轭连接的齐聚物受体。通过调控连接位点和卤素取代有效改善了分子堆积和薄膜形貌，进而促进激子解离和电荷传输，以及抑制电荷复合，最终实现了光电转化效率超过 18% 的刚性器件。重要的是，基于齐聚物受体（FDY-m-TAT）的 IS-OSCs 在器件效率（PCE =14.29%）和可拉伸性（COS =18.23%）方面都显著优于小分子（Y6）对照组（PCE =12.80%和 COS =8.50%）。这一发现为实现高效率可拉伸有机光伏电池提供了一种新的设计思路和有效策略。

**D24-P23****高效有机太阳能电池的活性层形貌优化：通过高沸点液体添加剂的策略研究**

熊世龙、何凤\*

南方科技大学

当前，太阳能光伏技术的发展日益凸显其重要性，尤其在这一领域中，有机太阳能电池正展现出举足轻重的影响。本研究聚焦于优化有机太阳能电池性能的关键挑战之一：活性层纳米形貌的精准调控。我们创新性地引入高沸点液体添加剂 1, 2, 4-三氯苯，以此作为策略来同时增强受体分子的有序排列及给体-受体间的混溶性。实验结果显示，这一添加剂的应用显著改善了基于 D18:Y6 体系的光伏器件性能，将能量转换效率(PCE)从 17.56% 提升至 18.45%，标志着效率的显著增进。采用紫外可见吸收光谱和掠入射广角 X 射线衍射技术进行表征，证实了 1, 2, 4-三氯苯添加剂能够有效提升活性层的整体有序性，特别是增强了受体分子的排列。此外，接触角测试数据揭示，与传统溶剂 1, 8-二碘辛烷相比，新添加剂促进了 D18 与 Y6 更佳的混溶性，有助于形成理想的微观相分离结构，这对促进激子有效分离和电荷收集、减少内部复合损失至关重要。综上所述，本研究提出了一种通过选用特定高沸点添加剂来调控活性层形貌的新方法，不仅为有机太阳能电池的效率提升开辟了新路径，也为相关领域研究者提供了重要的理论与实践指导，此策略有望推动有机光伏技术迈向更高的效率与商业化应用前景。

**D24-P24****Stability of Two-dimensional Crystals from Tessellation**Haojie Huang<sup>1</sup>, Ting Zhang<sup>2</sup>, Zebin Ren<sup>1</sup>, Yandong Ma<sup>2</sup>, Yunlong Guo<sup>1</sup>, Jichen Dong<sup>\*1</sup>, Yunqi Liu<sup>1</sup>

1. Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences

2. School of Physics, Shandong University

Reticular chemistry has been a cornerstone in the design of novel two-dimensional (2D) materials. Despite numerous possibilities for topological arrangements, only a few with high symmetry can form stable networks. Here, starting from 2D carbons, four types of highly stable tessellations are discovered, which consist of chains of non-hexagonal rings separated by hexagonal ribbons. A modified Read-Shockley model is established to perfectly describe the stability of these highly stable frameworks, which is based on the interaction between non-hexagonal rings. Moreover, these four types of tessellations and the modified Read-Shockley model are found to be of general validity in designing highly stable 2D materials, which is verified by our calculations on polymorphs of boron nitride and molybdenum disulfide. Besides, among our studied 2D carbon allotropes, two semi-metallic structures with highly anisotropic Dirac cones and one semimetal with a Dirac nodal line at the Fermi level are discovered, as protected by their  $D_{2h}$  symmetry. Spin-orbital coupling is further found to open small band gaps for these three Dirac structures, making them nontrivial topological insulators. The in-depth understanding on the stability of 2D crystals in this study provides a new way for rational design of 2D crystals that may show peculiar electronic structures.

**D24-P25****硝基官能化非富勒烯受体材料助力高性能有机光伏器件制备**

李明朋、何凤\*

南方科技大学

作为颇具潜力的新一代光伏技术，有机太阳能电池的 PCE 已逾 19%，其稳定性研究成为领域内下一阶段研究热点。结合器件工艺，从活性层材料结构出发，设计和合成兼具高效率 and 优异稳定性的非富勒烯受体成为最有效途径之一。经文献调研，我们采用“硝化”策略开发了一系列 A-D-A 型非富勒烯受体材料，并探究了硝化作用对材料能级、光谱吸收、聚集行为以及光伏性能的影响。结果表明，硝基键合位点对材

料性质和器件性能影响巨大。首先，硝化可显著提升 NFAs 摩尔吸光系数；其次，硝化可显著增强 NFAs 的结晶性；再者，合适的硝化作用可提升器件效率，末端硝化的 HQ-NO<sub>2</sub> 虽吸收光谱大幅红移但 PCE 不足 12.5%，明显滞后于未硝化的 HQ-2F(14.7%)和中心硝化的 *α*-NO<sub>2</sub>Q-2F(17.2%)以及 NO<sub>2</sub>Q-2F(18.7%)；更重要的是，基于 D18:NO<sub>2</sub>Q-2F 的准平面异质结(Q-PHJ)器件具有最佳的稳定性，持续光照下  $T_{80}$  高达 800 小时。通过 DFT 及 ESP 理论计算、形貌分析和瞬态吸收等技术表征，分子构型和结晶性以及混溶性的适当提升对光伏器件的综合性能的提升奠定基础。该研究打破了硝化策略不利于有机光伏性能的传统认知，从理论和实验证实了“硝化”策略的可行性，并为构筑更高效、稳定的有机光伏器件提供参考。

## D24-P26

### Dimerization Extends $\pi$ -Conjugation of Electron Donor-Acceptor Structures Leading to Phototheranostic Properties Beyond the Sum of Two Monomers

Heng Li, Feng He\*

Southern University of Science and Technology

Near-infrared (NIR)-II fluorescence imaging-guided photothermal therapy (PTT) has attracted great research interest, and constructing donor-acceptor (D-A) electronic configurations has become an established approach to lower bandgap and realize NIR-II emission. However, very few  $\pi$ -conjugated phototheranostic agents can realize efficient NIR-II guided PTT using a clinically safe laser power density, implying that sufficient photothermal performance is still desired. In addition to the continuously refreshed photothermal efficiency (PCE) levels, the strategies that focus on enhancing light absorptivity have been rarely discussed and endow a new direction for enhancing PTT. Herein, a dimerization  $\pi$ -extension strategy is raised to synthesize  $\pi$ -conjugated dimers with A-D-A monomers. We observe that the light absorptivity ( $\epsilon$ ) of the dimers is strengthened three times owing to the enhanced electronic coupling effect as a result of the  $\pi$ -conjugation extension, thereby surpassing the two-fold increase in chromophore numbers from the monomer to dimers. Thanks to the enhancement in light absorption, the dimers could generate much more photothermal heat than the monomer in *in vivo* PTT treatments. Therefore, an efficient anti-tumor outcome has been fulfilled by using dimers under a low laser power (0.3 W/cm<sup>2</sup>). Moreover, the dimers with extended  $\pi$ -conjugation structures become more favorable to the radiative excited state decay, thus exhibiting a distinguishing improvement in NIR-II imaging compared with monomer. Collectively, due to the improved light absorptivity, the dimers can gain superior NIR-II fluorescence brightness and photothermal performance over the recently reported material, which goes beyond the monomer in double doses for *in vivo* applications. All these results prove that dimerization is an effective strategy for designing high-performance phototheranostic materials.

## D24-P27

### 有化学发光性质的水溶性聚合物刷的制备及应用

粟福清、何凤\*

南方科技大学

化学发光由于不需要外部光源的激发，最大程度地减弱了自发荧光的干扰，因此具有高灵敏度、高信噪比和高分辨率的特点，被广泛运用在生物传感和生物成像领域。但传统的化学发光探针具有高度疏水的分子结构，不能在以水为主要成分的生理环境中直接使用，若通过与两亲聚合物共沉淀的方式制备成纳米粒子又会面临有效成分在血循环中泄露和化学响应位点被包埋灵敏度降低的问题。我们将化学发光分子引入到瓶刷型聚合物聚降冰片烯的外沿聚乙二醇亲水侧链上，避免了化学发光分子被包埋的问题，使其更容易被生理环境中的生物标志物所激发。这种瓶刷型聚合物在水溶液中可以形成 32 nm 的纳米粒子，并能够对环境中的硫化氢分子进行特异性响应，产生 515 nm 的荧光发射，半衰期为 80 s，纳米粒子在 2 周以上的时间里保持稳定。实验结果表明将疏水化学发光分子引入到亲水瓶刷型聚合物上的设计有利于生物体内

的检测和成像。

#### D24-P28

##### **Crystal-like Polymer Nanowires Arisen from Solution State Aggregation for High Performance Field-effect transistors**

Zeng Wu, Longfei Yang, Yan Zhao\*  
Fudan University

This study explores the evolution of polymer chain aggregation, progressing from solution to solid states, to realize the crystal-like polymer semiconductor nanowires of poly[2,5-(2-octyldodecyl)-3,6-diketopyrrolopyrrole-alt-5,5-(2,5-di(thien-2-yl)thieno[3,2-*b*]thiophene)] (DPP-TT). These nanowires significantly enhance the charge carrier mobility of organic field-effect transistors (OFETs) and the highest mobility value can reach up to  $11.06 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , which is a notable improvement over the DPP-TT film-based devices. The broad applicability of this approach has been demonstrated in other common polymer semiconductors, yielding similar improved results. This research highlights a novel method for producing high-performance semiconducting polymer crystalline nanowires, thereby advancing the control over aggregation states in these materials.

#### D24-P29

##### **Synergistic impact of multifunctional additives on device architecture for high performance organic solar cells**

Waqar Ali Memon, Feng HE\*  
Southern University of Science & Technology

Controlling the morphology of the active layer is vital for achieving high efficiency and stability in organic solar cells (OSCs). In this study, we utilize a high-volatility, low-cost solid additive, 3,5-dichlorobromobenzene (DCBB), to manipulate the morphology of both bulk-heterojunction (BHJ) and quasi-planar heterojunction (Q-PHJ) structures, thereby enhancing the operability and stability of OSCs. Compared to the BHJ devices based on the D18:BTP-eC9 system, incorporating DCBB into the acceptor solution combined with thermal annealing for Q-PHJ significantly adjusts the vertical phase separation and molecular packing in OSCs based on D18/BTP-eC9. The devices processed with DCBB exhibited increased exciton generation rates, improved charge carrier mobility, and reduced bimolecular charge recombination compared to those processed with the liquid additive DIO. Consequently, DCBB-processed devices in the Q-PHJ configuration achieved a high power conversion efficiency (PCE) of 18.15%, surpassing the 17.5% efficiency of devices processed with DIO. Moreover, the synergistic effect of DIO and DCBB as dual additives optimizes the morphology, resulting in a champion PCE of 18.6%, one of the highest efficiencies recorded in binary organic solar cells. This study attributes the enhanced device performance to the gradient-distributed donor-acceptor concentration in the vertical direction. The findings provide valuable guidelines for optimizing the morphology of sequentially deposited top layers in Q-PHJ configurations to achieve high-performance OSCs.

#### D24-P30

##### **An intrinsically crosslinked organic semiconductor for array fabrication compatible with photolithography technology**

Xiaochan Zuo, Yan Zhao\*  
Fudan University

Traditional photolithography technology, characterized by its high resolution, precision, and suitability for wafer-level production, is integral to the large-scale manufacturing of electronic devices. However, a significant challenge in the field of organic electronics is the inherent chemical nature of organic semiconductors, which results in low UV stability, limited solvent resistance, and a lack of chemical orthogonality with photoresists. These limitations impede their compatibility with photolithography processes. In this study, we synthesized a polymer organic semiconductor featuring an intrinsically rigid crosslinked network. The resultant solution-processed films exhibit inherent tolerance and compatibility with photolithography processes, enabling submicron lithographic precision on organic films. The mobility of organic field-effect transistors (OFETs) fabricated via photolithography is comparable to that of devices produced by conventional methods, exhibiting excellent uniformity. Our work demonstrates the substantial potential of spin-coating-assisted photolithography for applications in organic electronics and optoelectronics, paving the way for the development of low-cost, highly integrated organic circuits. The mobility of organic field-effect transistors (OFETs) fabricated through the photolithography process is comparable to that of those produced by conventional methods, and excellent uniformity is achieved. Our work demonstrates the significant potential of spin-coating-assisted photolithography for applications in organic electronics and optoelectronics, paving the way for the fabrication of low-cost, highly integrated organic circuits.

#### D24-P31

##### 基于类脑视觉仿生晶体管的储备池计算研究

王静雯\*

中南大学

本研究基于三端光电突触晶体管，多端突触晶体管相较于二端器件而言鲁棒性高，可设计性高。且通过不同的材料选择和结构组合，可以实现对不同外界刺激的直接响应，如光、压力、温度等。从而实现一种对外界环境直接响应的人工突触。在静态条件下，栅极电场来回扫描测试转移曲线，或栅级电压固定的情况下，通过光脉冲刺激测试转移曲线，半导体层电荷捕获层中的电荷捕获/释放过程直接导致晶体管具有显著的回滞特性以及栅极可调的氧化物沟道阻变特性。因此可以利用器件该可调的突触特性，将储备池网络的原理与人眼视觉系统仿生性能相结合构造一个基于类脑视觉晶体管的储备池，设计对颜色进行感知识别的储备池网络架构，通过软件编程仿真训练该硬件神经网络并实现颜色识别、运动感知功能，在类脑视觉神经形态计算方面具有巨大的应用价值，也将在人工智能计算领域拥有广泛的应用前景。

#### D24-P32

##### 基于双向光响应的有机异质结光电晶体管的类脑视觉仿生研究

石晓芳、孙佳\*

中南大学

随着人工智能的发展，外部环境数据的处理和存储已成为研究人员的主要关注点，而视觉由于其信息覆盖率高、信息冗余度低等优点，在信息获取中发挥着重要作用。本研究报道了一种具有 PTCDI-C8/C8-BTBT/PTCDI-C8 三明治结构的有机异质结双极晶体管。该晶体管可实现空穴和电子的高效传输，通过构建空穴电子载流子传输机制，有效调节栅极电压 ( $V_g=30\text{ V}$  时为正光响应， $V_g=-30\text{ V}$  时为负光响应)，实现了相同光照条件下双向光响应的可控调节。同时在光照下模拟基本突触行为，每个突触事件的器件功耗为  $18.51\text{ fJ}$ ，与生物突触所需的能量相当。最后，利用有机异质结光电晶体管阵列的双向光响应效应完成了人体视觉自适应的模拟，为神经形态视觉模拟提供了新的思路。

#### D24-P33

##### 基于有机 C8-BTBT 光电晶体管的仿生痛觉感受器研究

石晓芳、孙佳\*

中南大学

受皮肤启发的痛觉感受器对于未来的神经机器人技术尤为重要。在这项工作中，报道了一种基于紫外选择性 C8-BTBT 光电晶体管的人工皮肤痛觉感受器。通过使用 PMMA 作为界面改性层，C8-BTBT 薄膜中出现了大量站立晶体，器件的光暗电流比超过了 10 个数量级。深入研究了器件在紫外光刺激下的主要生物学突触行为，每个突触事件的最小功耗（2.45 fJ）与生物突触所需的能量相当。同时进一步模拟了皮肤痛觉感受器的生物学行为，如痛觉异常、痛觉过敏以及紫外光刺激下的自我保护行为。最后，作为概念验证，将皮肤启发的痛觉感受器与紫外透射调制器进行系统集成，以防止人体遭受过度的紫外线刺激，充分展示了其在仿生电子技术中的潜在应用。