

有机光热共晶材料的研究进展

黄 婷

浙江师范大学化学与材料科学学院, 浙江 金华

收稿日期: 2026年3月2日; 录用日期: 2026年3月26日; 发布日期: 2026年4月7日

摘 要

光热转换材料是能源、生物学及智能传感领域的核心材料, 在“双碳”战略下备受关注。传统无机材料存在可设计性差、生物相容性不足等短板, 纯有机共价材料则合成复杂、调控受限, 均制约规模化应用。近年来, 基于非共价组装的有机电荷转移共晶策略, 凭借无需复杂合成、结构精准可控、成本低廉等优势, 成为研究热点。目前, 该类材料在分子设计、性能优化与应用拓展方面进展显著, 光热转换效率持续突破, 应用从基础成像拓展至能源转化、肿瘤诊疗及柔性光电器件等领域。本文系统梳理了该领域发展历程, 重点阐述四硫富瓦烯、联苯胺衍生物及多环芳烃三大给体体系的研究进展, 并展望未来发展方向。

关键词

光热转换材料, 有机电荷转移共晶, 非辐射跃迁, 分子设计

Research Progress on Organic Photothermal Cocrystal Materials

Ting Huang

College of Chemistry and Materials Science, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Received: March 2, 2026; accepted: March 26, 2026; published: April 7, 2026

Abstract

Photothermal conversion materials, core for energy, biomedicine and smart sensing, have attracted wide attention under the “dual-carbon” strategy. Traditional inorganic materials have poor designability and biocompatibility, while pure organic covalent ones require complex synthesis with limited tunability, restricting their scale-up. Recently, organic charge-transfer (CT) cocrystals via non-covalent assembly have emerged as a hotspot for their facile preparation, precise structure control and low cost. Great progress has been achieved in their molecular design, performance optimization

and application expansion, with breakthroughs in photothermal efficiency and applications from imaging to energy conversion, tumor theranostics and flexible optoelectronics. This review summarizes the field's development, highlights progress of three key donor systems, and outlooks future directions.

Keywords

Photothermal Conversion Materials, Organic Charge-Transfer Cocrystals, Non-Radiative Transition, Molecular Design

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

光热转换是指激发态分子通过非辐射跃迁过程, 将吸收的光能直接转化为热能的物理过程, 是当前光能利用领域的核心研究方向之一, 基于该效应构建的光热材料, 突破了传统光能利用方式的限制, 在太阳能界面蒸发[1]、智能光热传感[2]、无创肿瘤治疗[3]等领域得到了学术界与产业界的广泛关注。目前, 光热材料的研究主要集中于无机/金属基体系, 其中贵金属纳米材料[4]、金属硫族化合物[5]、碳基纳米材料[6]是三类最具代表性的体系, 相关工作已围绕其制备工艺与性能优化开展了大量研究。例如, 有研究者构建了可生物降解的金纳米囊泡, 利用相邻金纳米颗粒的局域表面等离子体共振耦合效应, 实现了 37% 的光热转换效率[7]。但无机体系固有的分子可设计性不足、生物相容性差、制备成本高等问题, 始终是其多场景应用的核心限制。

与无机材料相比, 有机光热材料凭借分子结构的可设计性、理化性能的可调性、制备工艺的低成本优势, 成为光热材料领域的新兴研究热点, 在光热成像[8]、光热驱动形状记忆器件[9]、光热抗菌[10]等方向展现出巨大的应用潜力。当前, 有机光热材料的性能提升, 主要依赖于: 一通过在分子骨架中引入给体(D)-受体(A)结构、延长共轭链长度, 拓宽材料的光吸收范围、增强近红外吸收强度, 从而提升共轭聚合物、有机小分子染料的光热转换效率[11][12]; 另一方面, 通过调控分子激发态行为, 增强非辐射跃迁、抑制荧光等辐射衰变过程, 该策略在卟啉衍生物[13]、有机自由基[14]等体系中实现了光热性能的突破。

但这类有机光热材料, 均需经过复杂的分子设计对合成操作有极高的要求, 难以实现规模化制备与应用。因此, 开发一种无需复杂有机合成、普适性强、性能易调控的有机光热材料构筑策略, 是当前该领域亟待解决的核心问题。

近年来, 基于非共价键作用的有机共晶工程, 凭借其制备简便、分子堆积与光电性能可调性强的优势, 为高性能有机光热材料的构建提供了全新的路径。

在有机共晶的各类非共价相互作用中, 分子间电荷转移(CT)相互作用因可精准调控分子能级与激发态行为, 成为构筑高性能有机光热材料最核心、最主流的策略。有机电荷转移(CT)共晶是通过电荷转移相互作用, 将给体与受体组装到同一晶体结构中形成的共晶体系, 相比单组分材料, 其具备可调控、甚至可实现单组分不具备的全新光物理性能的独特优势。例如, 经典的四硫富瓦烯-7,7,8,8-四氰基对苯二醌二甲烷(TTF-TCNQ) CT 共晶体系, 即可通过分子间强电荷转移作用, 实现单组分不具备的宽范围近红外吸收与优异光热转换性能[15]。电子从 D 向 A 的离域作用, 可实现对电荷转移共晶能级结构的精准调控——共晶的最高占据分子轨道(HOMO)与最低未占据分子轨道(LUMO)分别由给体的 HOMO 与受体的

LUMO 主导[16]。受这种轨道杂化特性的启发，共晶策略可通过可控窄化带隙，实现材料吸收光谱的显著红移，为理性设计与合成目标性能的光热材料提供了一条切实可行的路径。

基于此，本文将系统梳理有机电荷转移光热共晶发展历程、光热共晶体系的设计，同时指出该领域当前面临的核心挑战与未来发展方向，为相关研究提供参考。

2. 有机光热共晶的发展历程

有机共晶是指两种或两种以上分子通过非共价键相互作用，按化学计量比有序组装形成的单一晶相材料[17]，其制备过程简单、条件温和、成本低廉，为功能材料构筑提供了全新的“超分子合成”路径[18][19]。

有机 CT 共晶的研究最早可追溯至 1973 年，Coleman 等人首次报道了四硫富瓦烯-7,7,8,8-四氰基对苯二醌二甲烷(TTF-TCNQ)共晶的金属导电特性[15]，开启了有机 CT 共晶在光电领域的研究序幕。此后数十年，有机 CT 共晶的研究主要集中在导电、铁电、发光、光电探测等领域，其光热转换性能长期未被关注。

直到 2018 年，Wang 等人首次报道了二苯并四硫富瓦烯-1,2,4,5-四氰基苯(DBTTF-TCNB)共晶的近红外光热转换性能[20](见图 1)，该共晶通过强 CT 相互作用实现了近红外宽光谱吸收，在 808 nm 激光照射下光热转换效率达 18.8%，首次证明了有机 CT 共晶在光热领域的应用潜力，成为该领域的里程碑式工作。

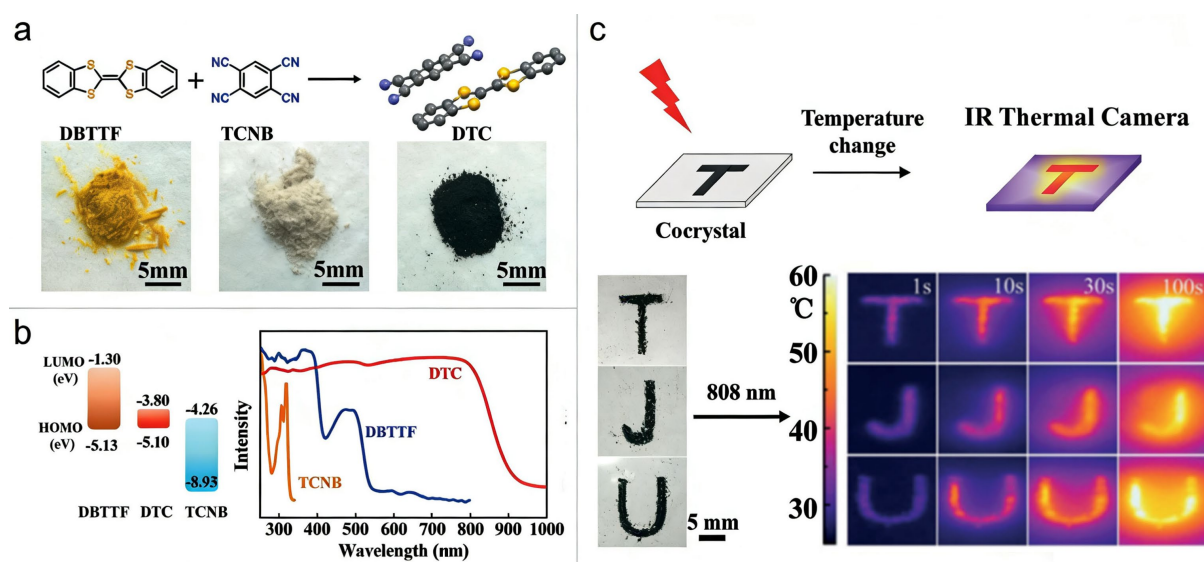


Figure 1. The first photothermal cocrystal material: (a) Molecular structures of DBTTF and TCNB, cocrystal formation process, and corresponding powder photographs; (b) Theoretically calculated molecular energy level diagram and absorption spectrum; (c) Schematic illustration of the photothermal imaging process [20]

图 1. 首个光热共晶材料: (a) DBTTF 与 TCNB 的分子结构、共晶形成过程及对应粉末实物图; (b) 理论计算得到的分子能级图与吸收光谱; (c) 光热成像过程示意图[20]

自此，有机光热共晶的研究进入快速发展期。2020 年，Tian 等人将 TTF-TCNQ 共晶用于太阳能界面海水淡化，实现了 90.3% 的太阳能-蒸汽转换效率[21]；2021 年，Ou 等人开发了可生物降解的联苯胺衍生物基共晶纳米颗粒，实现了近红外二区光声成像引导的肿瘤协同光热治疗[22]；2022 年，Chen 等人报道了 N,N,N',N'-四甲基对苯二胺-均苯四甲酸二酐(TMPD-PMDA)共晶，其光热转换效率高达 87.2%，刷新了有机光热共晶的性能纪录[23]；2024 年，Wen 等人通过“双转子策略”将分子运动维度引入空间构

型调控框架,证实了动态分子运动对非辐射弛豫的增强作用[24]。2025年,张小涛课题组设计了一例具有扭曲蝴蝶状构象的非平面NMTQ共晶。该材料实现了220~2000 nm的宽带吸收,在1个太阳光照下蒸发速率达 $2.158 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,太阳能-蒸汽转换效率高达94.96%,将空间构型策略成功拓展至太阳能界面蒸发领域[25]。

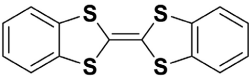
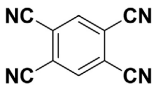
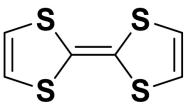
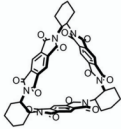
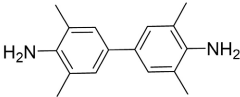
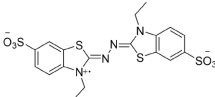
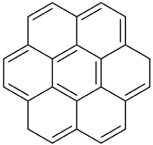
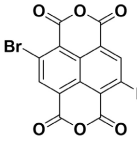
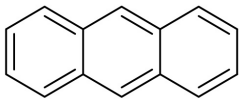
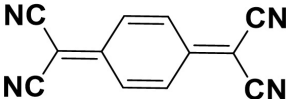
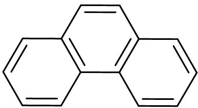
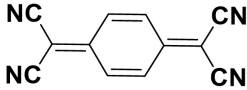
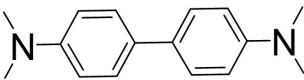
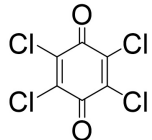
短短数年间,有机光热共晶的材料体系不断丰富,光热转换效率大幅提升,应用场景从基础的光热成像拓展至能源、环境、生物医用等多个领域,成为有机光热材料领域最具发展潜力的研究方向之一。

3. 代表性有机光热共晶体系的设计与性能研究

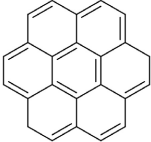
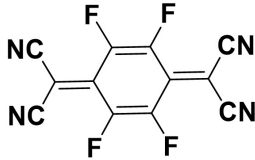
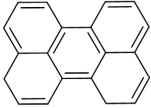
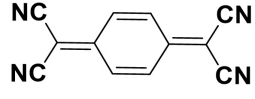
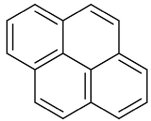
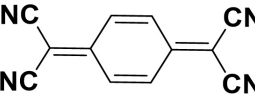
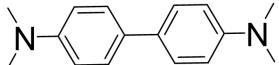
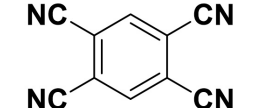
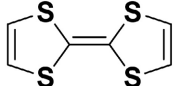
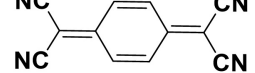
经过数年的发展,有机光热共晶已形成了多个成熟的给体-受体体系,本章节按给体分子的结构类型,梳理了典型高性能光热共晶体系的设计思路与性能表现,相关核心性能参数汇总于表1。

Table 1. Core performance parameters of typical organic photothermal eutectic systems

表 1. 典型有机光热共晶体系的核心性能参数

分子结构		带隙 (eV)	激光波长 (nm)	光热转换效率 (%)	参考文献
给体	受体				
		1.30	808	18.8	[20]
		2.08	808	15.0	[26]
		0.31	1064	97	[27]
		2.06	808	67.2	[28]
		1.32	808	60.5	[29]
		1.49	808	35.8	[29]
		1.50	808	78	[30]

续表

		0.33	808	77	[31]
		1.22	1064	42	[32]
		1.10	808	83.3	[33]
		1.03	808	59.46	[34]
		0.44	808	79.4	[35]

3.1. 四硫富瓦烯(TTF)衍生物给体体系

TTF 及其衍生物是经典的强电子给体，具有富电子的平面共轭结构、优异的热稳定性与可逆的氧化还原特性，是最早用于有机 CT 共晶研究的给体体系，也是光热共晶领域的核心体系之一。

2018 年, Wang 等人首次采用 DBTTF 作为给体、TCNB 作为受体, 通过缓慢溶剂挥发法制备了 DBTTF-TCNB 共晶, 这是首个被报道的有机光热共晶[20]。该共晶为 1:1 混合堆积结构, 强 CT 相互作用使其带隙窄至 1.30 eV, 吸收光谱延伸至 1000 nm 的近红外一区, 在 808 nm 激光照射下, 粉末样品的温度可从室温升至 71.3°C, 光热转换效率达 18.8%, 同时具有优异的循环稳定性, 首次证明了有机 CT 共晶的光热转换能力与应用潜力。

2020 年, Huang 等人以强给体 TTF 与强受体 TCNQ 为原料, 制备了 TTF-TCNQ 共晶[35]。该共晶为分离堆积结构, DCT 值高达 0.59, 强 CT 作用使其带隙仅为 0.44 eV, 吸收光谱覆盖 200~2500 nm 的全太阳光谱范围, 在 808 nm 激光照射下, 光热转换效率高达 79.4%, 是目前性能最优异的光热共晶体系之一。将其负载于多孔 PDMS 支架中, 在 1 个太阳光照射下, 水蒸发速率达 $1.67 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, 太阳能-蒸汽转换效率达 90.3%, 展现出极强的太阳能利用能力。

3.2. 联苯胺衍生物给体体系

联苯胺衍生物包括 TMPD、TMB 等, 具有强给电子能力、易氧化形成自由基、与受体形成强 CT 相互作用的特点, 是当前光热转换效率最高的共晶体系。

2021 年, Chen 等人以 TMPD 为给体、PMDA 为受体, 制备了 TMPD-PMDA 共晶[23]。该共晶具有强 CT 相互作用, 激发态通过超快的内转换过程弛豫, 激发态寿命仅为 0.12 ps, 在 808 nm 激光照射下,

光热转换效率高达 87.2%，是目前已报道的有机光热共晶中的最高值。超快的非辐射跃迁使其在激光照射下可快速升温，展现出优异的光热性能。

2022 年，Chen 等人进一步开发了 TMPD-TCBQ/TBBQ 共晶体系[30]，该类共晶在 808 nm 低功率激光照射下，可快速升温至 293.5℃以上，同时伴随剧烈的热聚合放热反应，可被 4 米外的 808 nm 激光远程触发，甚至穿透三层聚丙烯管仍可实现点火，与 KNO₃ 混合后可发生剧烈爆燃，成为新型的低功率近红外激光起爆剂，在军工、航天领域展现出潜在应用。

2021 年，Ou 等人以 TMB 为给体，TCNQ、F4TCNQ 为受体，制备了 TMB-TCNQ 与 TMB-F4TCNQ 共晶[22]。强 CT 作用使其带隙分别低至 0.30 eV 与 0.84 eV，吸收光谱覆盖近红外二区，在 1060 nm 激光照射下，光热转换效率分别达 48.0%与 42.4%。通过纳米沉淀法制备的共晶纳米颗粒具有良好的生物可降解性与肿瘤靶向性，可实现光声成像引导的肿瘤铁死亡协同光热治疗，是生物医用光热共晶的典型代表。

3.3. 多环芳烃(PAHs)给体体系

多环芳烃包括芘(PY)、茚(PER)、蒽(AT)、菲(PT)、蔻(COR)等，具有平面大 π 共轭结构、易形成面对面 π - π 堆积、化学稳定性好的特点，是有机光热共晶中研究最广泛的给体体系。

2021 年，Chen 等人以 PY 为给体、TCNQ 为受体，制备了 PY-TCNQ 共晶[33]。该共晶的带隙为 1.09 eV，在 808 nm 激光下光热转换效率达 83.3%。通过理论计算与超快光谱研究发现，受体 TCNQ 中-C(C \equiv N)₂ 基团的自由旋转是高效非辐射跃迁的核心，为光热共晶的分子设计提供了全新思路。随后，该团队进一步以 AT、PT 为给体，TCNQ 为受体，制备了 AT-TCNQ 与 PT-TCNQ 共晶，通过分子间 π - π 与 p- π 作用调控-C(C \equiv N)₂ 的旋转自由度，实现了光热转换效率的精准调控(AT-TCNQ 为 60.53%，PT-TCNQ 为 35.85%)，揭示了分子旋转与非辐射跃迁的定量构效关系。

2021 年，Tian 等人以 PER 为给体、TCNQ 为受体，制备了 PER-TCNQ 共晶[32]。该共晶的带隙为 1.22 eV，在 1064 nm 的近红外二区具有强吸收，光热转换效率达 42%。通过纳米沉淀法制备的共晶纳米颗粒，在 1064 nm 激光照射下，对大肠杆菌与金黄色葡萄球菌的抑菌效率分别达 100%与 99%，实现了高效的近红外二区光热抗菌。

2022 年，Zhao 等人以 COR 为给体、F4TCNQ 为受体，制备了 COR-F4TCNQ 共晶[31]。强 CT 作用使其带隙窄至 0.33 eV，吸收光谱覆盖 250~1800 nm，在 808 nm 激光下光热转换效率达 62.2%。通过静电纺丝技术，将该共晶复合到聚氨酯纳米纤维膜中，制备了大面积柔性光热薄膜，实现了高对比度的可穿戴光热成像，为柔性光热器件的制备提供了新方案。

4. 总结与展望

本文系统梳理了有机电荷转移型光热共晶的发展脉络，重点阐述了当前该领域以四硫富瓦烯衍生物、联苯胺衍生物、多环芳烃为核心构建的三大给体分子开发框架。三类给体体系凭借各自独特的分子结构特征与电子学特性，不仅推动了有机光热共晶光热转换性能的持续突破与多元化应用场景的拓展，也为该类功能材料的分子设计与性能调控提供了重要的理论与实验参考。

但当前领域仍存在明显局限：高性能材料体系仍高度集中于少数经典给体-受体组合，新型功能化分子体系开发不足；分子结构与光热性能的定量构效关系尚未明确，材料开发仍以经验筛选为主；现有体系难以同时兼顾高光热效率、生物安全性与环境稳定性，限制了其规模化应用与临床转化。未来，结合理论计算开发新型分子骨架、建立定向设计规则、实现材料性能与应用场景的精准适配，将是该领域的核心发展方向。

参考文献

- [1] Zhao, F., Zhou, X., Shi, Y., Qian, X., Alexander, M., Zhao, X., *et al.* (2018) Highly Efficient Solar Vapour Generation via Hierarchically Nanostructured Gels. *Nature Nanotechnology*, **13**, 489-495. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0097-z>
- [2] Kim, B., Shin, H., Park, T., Lim, H. and Kim, E. (2013) Nir-Sensitive Poly(3,4-Ethylenedioxy-selenophene) Derivatives for Transparent Photo-Thermo-Electric Converters. *Advanced Materials*, **25**, 5483-5489. <https://doi.org/10.1002/adma.201301834>
- [3] Chen, Q., Liu, X., Fan, J., Peng, S., Wang, J., Wang, X., *et al.* (2020) Self-Mineralized Photothermal Bacteria Hybridizing with Mitochondria-Targeted Metal-Organic Frameworks for Augmenting Photothermal Tumor Therapy. *Advanced Functional Materials*, **30**, Article 1909806. <https://doi.org/10.1002/adfm.201909806>
- [4] Cheng, X., Sun, R., Yin, L., Chai, Z., Shi, H. and Gao, M. (2017) Light-Triggered Assembly of Gold Nanoparticles for Photothermal Therapy and Photoacoustic Imaging of Tumors *in Vivo*. *Advanced Materials*, **29**, Article 1604894. <https://doi.org/10.1002/adma.201604894>
- [5] Zhou, Z., Li, B., Shen, C., Wu, D., Fan, H., Zhao, J., *et al.* (2020) Metallic 1T Phase Enabling MoS₂ Nanodots as an Efficient Agent for Photoacoustic Imaging Guided Photothermal Therapy in the Near-Infrared-II Window. *Small*, **16**, Article 2004173. <https://doi.org/10.1002/smll.202004173>
- [6] Yang, K., Zhang, S., Zhang, G., Sun, X., Lee, S. and Liu, Z. (2010) Graphene in Mice: Ultrahigh *in Vivo* Tumor Uptake and Efficient Photothermal Therapy. *Nano Letters*, **10**, 3318-3323. <https://doi.org/10.1021/nl100996u>
- [7] Huang, P., Lin, J., Li, W., Rong, P., Wang, Z., Wang, S., *et al.* (2013) Biodegradable Gold Nanovesicles with an Ultrastrong Plasmonic Coupling Effect for Photoacoustic Imaging and Photothermal Therapy. *Angewandte Chemie International Edition*, **52**, 13958-13964. <https://doi.org/10.1002/anie.201308986>
- [8] Lou, H., Ji, A., Qu, C., Liu, H., Jiang, L., Chen, H., *et al.* (2022) A Small-Molecule Based Organic Nanoparticle for Photothermal Therapy and Near-Infrared-II B Imaging. *ACS Applied Materials & Interfaces*, **14**, 35454-35465. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c11706>
- [9] Liu, Y., Shaw, B., Dickey, M.D. and Genzer, J. (2017) Sequential Self-Folding of Polymer Sheets. *Science Advances*, **3**, e1602417. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602417>
- [10] Zhu, K., Qian, S., Guo, H., Wang, Q., Chu, X., Wang, X., *et al.* (2022) Ph-Activatable Organic Nanoparticles for Efficient Low-Temperature Photothermal Therapy of Ocular Bacterial Infection. *ACS Nano*, **16**, 11136-11151. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c03971>
- [11] Anderson, C.L., Dai, N., Teat, S.J., He, B., Wang, S. and Liu, Y. (2019) Electronic Tuning of Mixed Quinoidal-Aromatic Conjugated Polyelectrolytes: Direct Ionic Substitution on Polymer Main-Chains. *Angewandte Chemie International Edition*, **58**, 17978-17985. <https://doi.org/10.1002/anie.201908609>
- [12] Zheng, M., Yue, C., Ma, Y., Gong, P., Zhao, P., Zheng, C., *et al.* (2013) Single-Step Assembly of DOX/ICG Loaded Lipid-Polymer Nanoparticles for Highly Effective Chemo-Photothermal Combination Therapy. *ACS Nano*, **7**, 2056-2067. <https://doi.org/10.1021/nn400334y>
- [13] Zhuo, M., Yuan, Y., Su, Y., Chen, S., Chen, Y., Feng, Z., *et al.* (2022) Segregated Array Tailoring Charge-Transfer Degree of Organic Cocrystal for the Efficient Near-Infrared Emission Beyond 760 Nm. *Advanced Materials*, **34**, e2107169. <https://doi.org/10.1002/adma.202107169>
- [14] Zou, Q., Abbas, M., Zhao, L., Li, S., Shen, G. and Yan, X. (2017) Biological Photothermal Nanodots Based on Self-Assembly of Peptide-Porphyrin Conjugates for Antitumor Therapy. *Journal of the American Chemical Society*, **139**, 1921-1927. <https://doi.org/10.1021/jacs.6b11382>
- [15] Yang, Y., He, P., Wang, Y., Bai, H., Wang, S., Xu, J., *et al.* (2017) Supramolecular Radical Anions Triggered by Bacteria *in Situ* for Selective Photothermal Therapy. *Angewandte Chemie International Edition*, **56**, 16239-16242. <https://doi.org/10.1002/anie.201708971>
- [16] Coleman, L.B., Cohen, M.J., Sandman, D.J., Yamagishi, F.G., Garito, A.F. and Heeger, A.J. (1973) Superconducting Fluctuations and the Peierls Instability in an Organic Solid. *Solid State Communications*, **12**, 1125-1132. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(73\)90127-0](https://doi.org/10.1016/0038-1098(73)90127-0)
- [17] Aitipamula, S., Banerjee, R., *et al.* (2012) Polymorphs, Salts, and Cocrystals: What's in a Name? *Crystal Growth & Design*, **12**, 2147-2152.
- [18] Collini, E. (2012) Cooperative Effects to Enhance Two-Photon Absorption Efficiency: *Intra- versus Inter-Molecular* Approach. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **14**, Article 3725. <https://doi.org/10.1039/c2cp24030k>
- [19] Zhu, W., Dong, H., Zhen, Y. and Hu, W. (2015) Challenges of Organic "Cocrystals". *Science China Materials*, **58**, 854-859. <https://doi.org/10.1007/s40843-015-0099-1>
- [20] Wang, Y., Zhu, W., Du, W., Liu, X., Zhang, X., Dong, H., *et al.* (2018) Cocrystals Strategy Towards Materials for Near-

- infrared Photothermal Conversion and Imaging. *Angewandte Chemie International Edition*, **57**, 3963-3967. <https://doi.org/10.1002/anie.201712949>
- [21] Tian, S., Huang, Z., Tan, J., Cui, X., Xiao, Y., Wan, Y., *et al.* (2020) Manipulating Interfacial Charge-Transfer Absorption of Cocrystal Absorber for Efficient Solar Seawater Desalination and Water Purification. *ACS Energy Letters*, **5**, 2698-2705. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.0c01466>
- [22] Ou, C., Na, W., Ge, W., Huang, H., Gao, F., Zhong, L., *et al.* (2021) Biodegradable Charge-Transfer Complexes for Glutathione Depletion Induced Ferroptosis and NIR-II Photoacoustic Imaging Guided Cancer Photothermal Therapy. *Angewandte Chemie International Edition*, **60**, 8157-8163. <https://doi.org/10.1002/anie.202014852>
- [23] Chen, W., Sun, S., Huang, G., Ni, S., Xu, L., Dang, L., *et al.* (2021) Unprecedented Improvement of Near-Infrared Photothermal Conversion Efficiency to 87.2% by Ultrafast Non-Radiative Decay of Excited States of Self-Assembly Cocrystal. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, **12**, 5796-5801. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.1c01021>
- [24] Wen, X., Shao, Y., Chen, Y., He, J., Chen, S., Dang, L., *et al.* (2024) Dual-Rotor Strategy for Organic Cocrystals with Enhanced Near-Infrared Photothermal Conversion. *RSC Advances*, **14**, 4503-4508. <https://doi.org/10.1039/d4ra00002a>
- [25] Su, Y., Zheng, Z., Sun, L., Sun, W., Zhang, Y., Liu, H., *et al.* (2025) Broadband-Absorbing Structurally Distorted Cocrystal with Enhanced Nonradiative Decay for Solar Interfacial Water Evaporation. *Science China Materials*, **68**, 3203-3211. <https://doi.org/10.1007/s40843-025-3563-0>
- [26] Wang, D., Kan, X., Wu, C., Gong, Y., Guo, G., Liang, T., *et al.* (2020) Charge Transfer Co-Crystals Based on Donor-Acceptor Interactions for Near-Infrared Photothermal Conversion. *Chemical Communications*, **56**, 5223-5226. <https://doi.org/10.1039/d0cc01834a>
- [27] Xu, J., Chen, Q., Li, S., Shen, J., Keoingthong, P., Zhang, L., *et al.* (2022) Charge-Transfer Cocrystal via a Persistent Radical Cation Acceptor for Efficient Solar-Thermal Conversion. *Angewandte Chemie International Edition*, **61**, e202202571. <https://doi.org/10.1002/anie.202202571>
- [28] Zhuo, S., Zhao, Y.D., Liu, Y., Rong, Y., Ju, Y., Gu, L., *et al.* (2025) Radical-Activable Charge-Transfer Cocrystals for Solar Thermoelectric Generator toward Information Conversion. *National Science Review*, **12**, nwaf121. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf121>
- [29] Chen, Y., Wen, X., He, J., Li, Z., Zhu, S., Chen, W., *et al.* (2022) Boosting Near-Infrared Photothermal Conversion by Intermolecular Interactions in Isomeric Cocrystals. *ACS Applied Materials & Interfaces*, **14**, 28781-28791. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c03940>
- [30] Zhao, Y.D., Jiang, W., Zhuo, S., Wu, B., Luo, P., Chen, W., *et al.* (2023) Stretchable Photothermal Membrane of NIR-II Charge-Transfer Cocrystal for Wearable Solar Thermoelectric Power Generation. *Science Advances*, **9**, eadh8917. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh8917>
- [31] Zhao, Y.D., Han, J., Chen, Y., Su, Y., Cao, Y.M., Wu, B., *et al.* (2022) Organic Charge-Transfer Cocrystals toward Large-Area Nanofiber Membrane for Photothermal Conversion and Imaging. *ACS Nano*, **16**, 15000-15007. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c06064>
- [32] Tian, S., Bai, H., Li, S., Xiao, Y., Cui, X., Li, X., *et al.* (2021) Water-Soluble Organic Nanoparticles with Programmable Intermolecular Charge Transfer for NIR-II Photothermal Anti-Bacterial Therapy. *Angewandte Chemie International Edition*, **60**, 11758-11762. <https://doi.org/10.1002/anie.202101406>
- [33] Xia, X., Lv, Q., Xu, C., Yu, Y., Wang, L., Wang, X., *et al.* (2024) Crafting Near-Infrared Photonics via the Programmable Assembly of Organic Heterostructures at Multiscale Level. *Advanced Functional Materials*, **34**, Article 2312478. <https://doi.org/10.1002/adfm.202312478>
- [34] Jiang, M., Su, Y., Li, S., Fu, S., Wang, L., Khan, D., *et al.* (2023) Organic Photothermal Cocrystal with High Stability for Efficient Solar-Driven Water Evaporation. *Journal of Materials Chemistry C*, **11**, 13274-13280. <https://doi.org/10.1039/d3tc02277c>
- [35] Huang, Q., Ye, X., Chen, W., Song, X., Chen, Y., Wen, X., *et al.* (2023) Boosting Photo-Thermo-Electric Conversion via a Donor-Acceptor Organic Cocrystal Strategy. *ACS Energy Letters*, **8**, 4179-4185. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.3c01758>