

光热催化用于塑料高值化循环利用：从材料设计到反应机制

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41302.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

光热催化用于塑料高值化循环利用：从材料设计到反应机制。 文章导读

难降解废旧塑料持续堆积带来严峻的环境问题，亟需开发节能且可持续的资源化回收技术。传统热催化工艺能耗高、产物选择性差，光催化技术则受限于量子效率偏低的短板。光热催化作为一种协同策略，利用宽波段太阳辐照产生局部热梯度与活性载流子，可在温和条件下实现聚合物基质的高效化学升级回收。

东华大学杨建平研究员团队在ENG. Chem. Eng.发表综述，系统总结了光热催化塑料资源化利用的最新研究进展，重点阐述了光热催化的作用机制、光热材料分类及结构设计原则。从光热转换效率与催化功能角度，分析了等离子体金属（如Au、Ag、Ru）、缺陷半导体（如氧缺陷TiO₂、掺杂g-C₃N₄）和碳基纳米结构（如石墨烯、碳纳米管）三类核心材料；总结了缺陷调控、异质结构构建等提升光子利用率与反应动力学的工程策略；从反应器设计到工业化规模评估了关键环节，指出了稳定性与可行性方面的核心挑战，并提出了机器学习辅助催化剂发现等未来研究方向。

综述亮点

光热耦合作用机制：三类催化路径与协同增效本质

依据光热耦合模式将催化机理分为三类，光驱动热催化以光能产热依托经典热催化路径实现塑料转化，热辅助光催化由光生载流子主导反应、热能辅助优化动力学性能，光热协同共催化可同步生成活性载流子与局域热源，光热相互调控产生非线性协同效应，整体催化性能远超光、热单独作用的效果之和。

四类光热催化材料体系：构效特征与应用利弊剖析

按照光热转化机理将催化剂分为等离子贵金属、半导体、碳基、复合催化材料四类。贵金属凭借局域等离子共振效应实现优异光热转化，催化活性突出，但原料稀缺、成本昂贵，在含氯废塑料裂解环境中易溶出失活；半导体依靠非辐射载流子复合产热，通过引入氧空位、杂原子掺杂拓宽光吸收范围、构筑活性位点，是性价比突出的催化材料；碳基材料可全光谱捕获太阳光，光热转化稳定、原料易得，能实现混合塑料选择性降解；多元复合材料整合多种材料优势，通过异质协同优化吸光、电荷分离与催化性能，有效规避单相材料缺陷，但多组分精准合成难度大，规模化

制备仍面临技术瓶颈。

结构精准调控：赋能光热催化性能跃升

围绕形貌、缺陷、异质结、多级孔道四大结构工程策略展开论述：通过形貌设计构建特殊光捕获结构，强化光能利用与界面接触；借助缺陷和应变工程精准调控电子结构，构筑高活性位点；依托异质结与界面设计加速载流子分离，释放协同催化效应；利用多级多孔框架优化传质效率，延缓催化剂失活。一系列的精细化结构改性手段，从光子吸收、热量管控、界面反应、物质输运全维度突破单一组分材料的固有短板，为推动光热催化技术从实验室基础研究走向实际应用筑牢结构设计理论基础。

反应机理深度解析：明晰塑料定向转化规律

结合多种表征与理论计算手段，剖析了光热催化体系中塑料转化的核心反应路径：界面局部高温引发碳-碳键均裂，启动自由基链式降解；金属活性位点主导选择性加氢裂解，活性氧物种则推动含氧塑料断键；光与热形成显著的协同效应，进一步降低反应能垒。证实了碳-氢键断裂为反应控速步骤，催化剂在反应过程中呈现动态结构变化，完整阐明了不同塑料底物的转化机制，为实现反应选择性调控与催化剂定向优化提供了机理支撑。

瓶颈与展望

从工程放大、催化剂稳定性、经济环保、原料适配、表征与智能化五大维度梳理现存难题：现有装置多为实验室间歇反应器，受塑料不透光和黏度大制约，光能利用率低，连续化反应器构型亟待优化；催化剂易高温烧结、结焦、被杂原子塑料副产物腐蚀失活，自清洁改性是重要突破口；多数研究基于高纯塑料原料，实际混杂废料含杂质易毒化催化剂，需配套低成本预处理工艺；全生命周期核算发现部分催化剂制备能耗偏高，制约净减排效益。后续可依托原位表征、机器学习加速催化剂筛选，结合模块化分布式反应器就近处理固废。最后，需要联动政策完善循环产业链，推动该技术从实验室走向产业化应用。

亮图解读

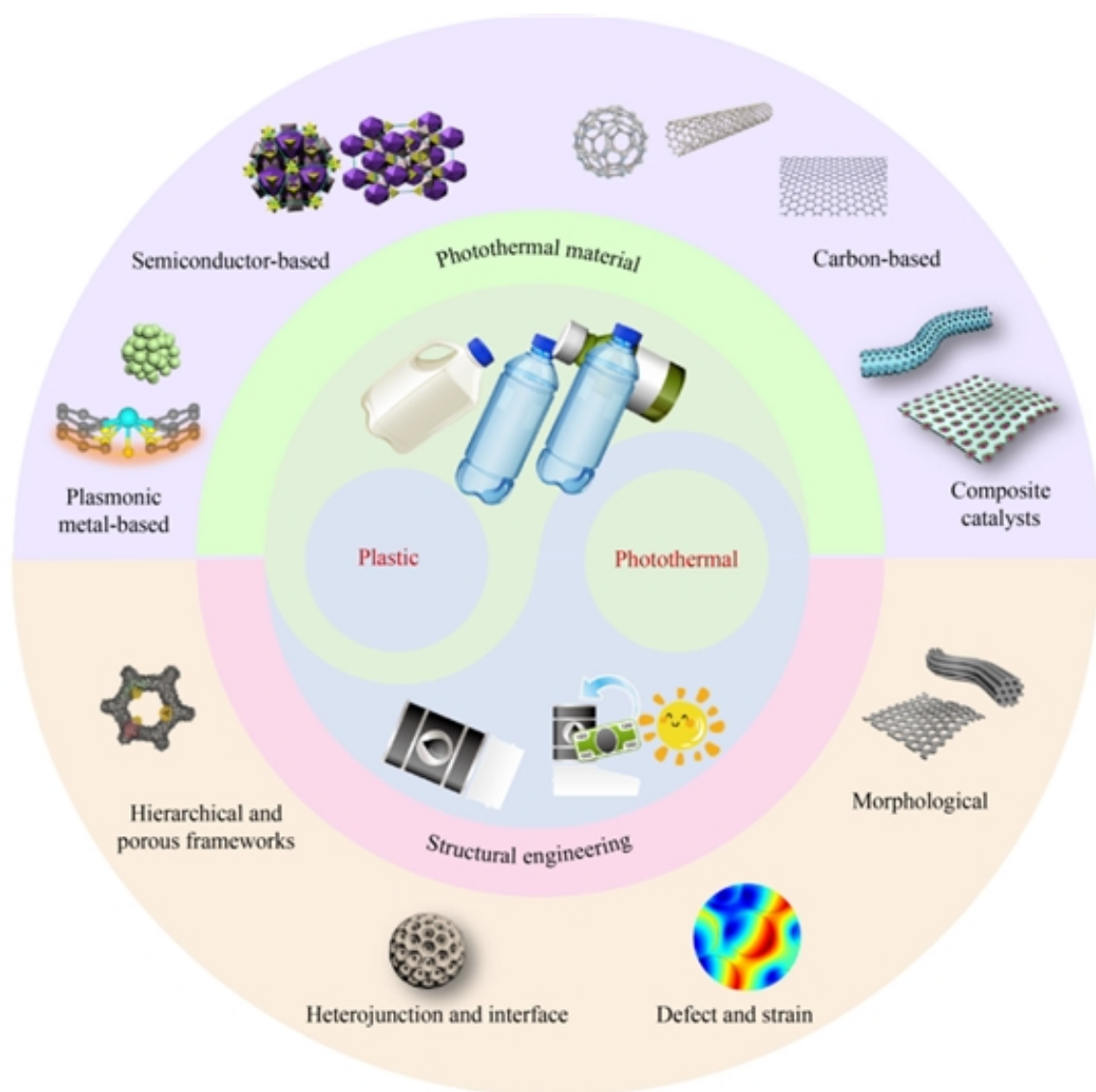


图1.展示了光热催化塑料高值化利用的总体框架：太阳光经催化材料吸收后转化为局域热和活性载流子，进一步驱动塑料解聚、重整及高值化转化。

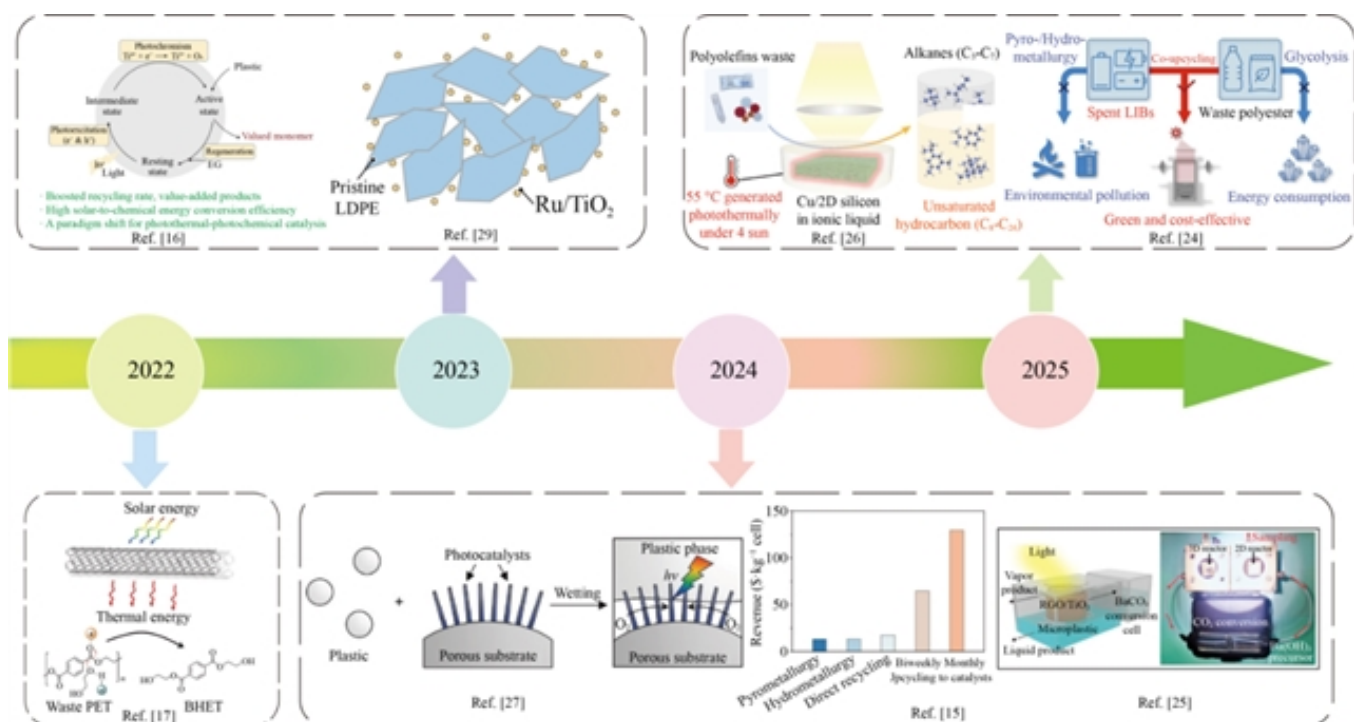


图2.梳理了近五年来光热催化塑料回收的重要研究进展，反映出该领域正从早期概念验证逐步走向体系化和应用导向研究。

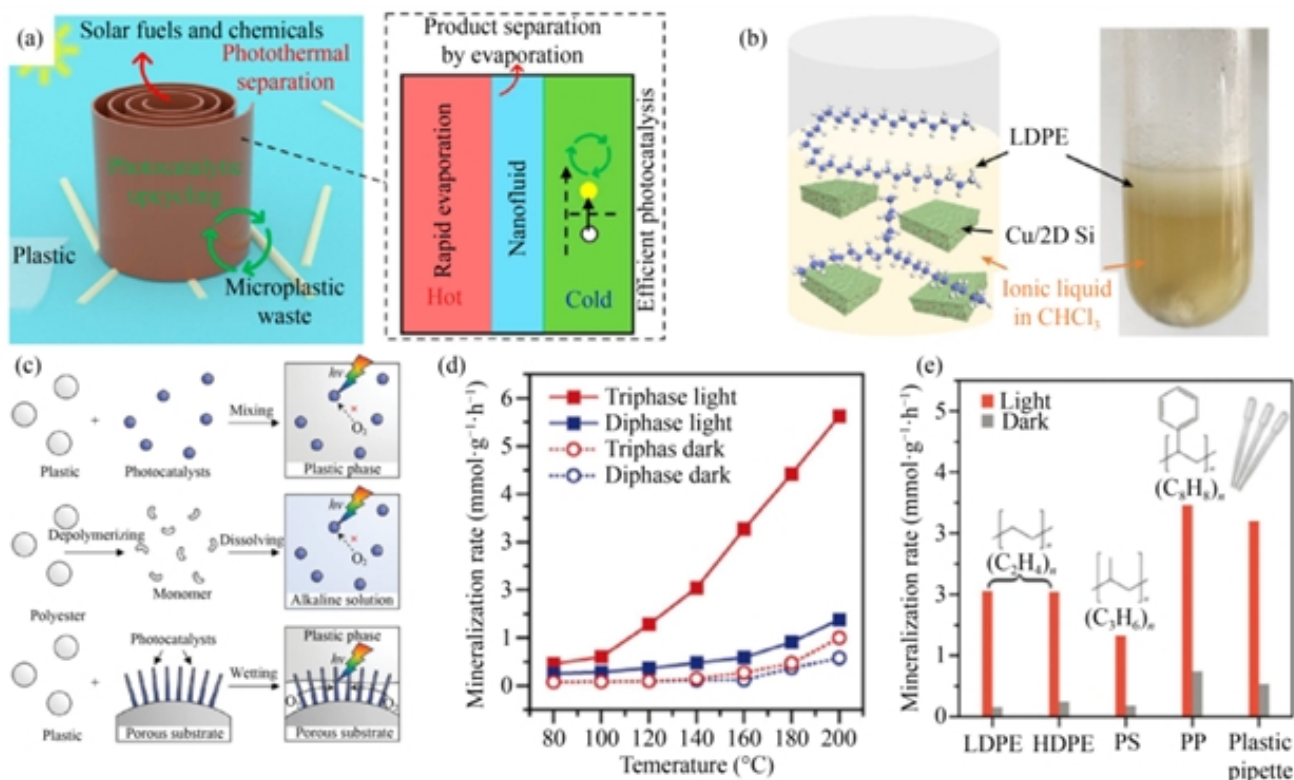


图3.围绕微塑料与聚乙烯光热催化升级回收及降解矿化展开，其中 (a) 为 RGO/TiO₂反应器示意图，可实现微塑料光催化高值转化与光热蒸发产物分离，(b) 展示了低密度聚乙烯光热回收体系的原理图与实物图，(c) 划分出塑料-固相、液-固相、气-塑料-固相三类微塑料降解反应体系，(d)

对比了有无光照时三相、两相体系内低密度聚乙烯矿化效果随温度的变化趋势，(e) 对比了光照与避光条件下聚丙烯、高密度聚乙烯等多种聚烯烃的矿化降解速率。本图完整呈现了塑料光热转化的反应装置、多相反应构型，以及光照、温度、反应相对聚烯烃降解矿化性能的影响规律。

（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://journal.hep.com.cn/fcse/EN/10.1007/s11705-026-2661-7>

作者：杨建平等 来源：《工程·化学工程》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发