
量子传感驱动的化学反应自由基原位成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/38487.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！

近日，浙江大学冯建东团队提出量子化学成像方法，自主研制了量子化学工况显微镜（Quantum-Sensing-enabled Chemical Operando Microscopy, QCOM），首次实现了对光催化过程中自由基的原位、定量、动态成像。这一成果将量子传感与化学测量深度交叉，为在分子水平上理解催化机制提供了新工具。

2026年2月27日，相关研究成果以Quantum-sensing-enabled in situ imaging of free radicals in chemical reactions（量子传感驱动的化学反应自由基原位成像）为题，在线发表于Nature Catalysis期刊。

化学反应过程中自由基等中间体的原位探测，是揭示催化机制与反应动力学的核心难题。自由基通常寿命极短、浓度极低且反应活性极高，难以捕捉。传统的电子顺磁共振虽可提供自由基的定性定量信息，却缺乏空间分辨能力；而光学成像方法，如经典的单分子荧光显微镜以及团队前期所建立的单分子电化学发光显微镜，虽然灵敏度及空间分辨率较高，但要求反应本身发光。然而，绝大多数的化学反应，如典型的光催化自由基反应，并不直接伴随发光现象，这使得高灵敏度的光学成像手段在普适性的化学反应成像中面临巨大挑战。

针对这一难题，研究团队自2018年起开始发展基于氮-空位（NV）色心量子传感的量子工况化学显微镜。金刚石NV色心是一种原子尺度的自旋缺陷，作为一种量子传感探针，其电子自旋态对周围环境的多种物理场变化极为敏感，目前已经在精密测量、凝聚态物理、生物物理等多个领域取得应用。但是，化学过程复杂、动态且要求原位工况表征，对发展时空分辨的量子传感技术提出了新要求。

冯建东团队提出单分子多物理场显微术，其通过量子传感探测化学反应局域产生的物理量变化，发展并行读出的时空分辨成像方法，实现化学反应的成像。据此方法，融合化学反应操控、量子传感技术与高分辨成像方法，团队研制了具备自主知识产权的量子化学工况显微镜。当化学反应进行时，自由基的未成对电子靠近金刚石表面时会改变NV色心的自旋状态，通过弛豫测量转化为可观测的成像对比度。该显微镜可实现空间分辨率约312纳米、灵敏度为4个每像素的自由基原位成像。

这一方法突破了传统光学成像依赖化学反应发光的局限，实现了对非发光反应体系的成像。基于该技术，研究团队在TiO₂光催化水解反应中，直接捕获了自由基生成过程的时空演化动力学，该过程呈现一种此前未被揭示的顺序激活现象，即催化剂表面的活性位点并非同时或随机产生，而是按一定的时间和空间顺序依次进行激活。结合NV色心双电子-电子共振谱技术，团队进一步对该现象中的自由基活化物种进行了原位谱学识别，为理解催化活性中心的演化机制及表面反应过程打开了全新窗口。

这项研究实现了光催化反应过程中自由基生成时空动力学的直接可视化。未来基于量子传感的多物理场探测能力，量子化学成像有望推动多个领域的突破。随着灵敏度的进一步提升，该技术有望实现单分子水平的化学反应原位成像，揭示能源催化和生命过程微观尺度的原位反应信息。（来源：科学网）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41929-026-01499-7>

作者：冯建东等 来源：《自然-催化》

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