

苏州纳米所等利用界面聚合过程调控制备具有亚埃级超高分离精度纳滤膜

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/9403.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！

随着现代工业的高速发展，发展高能效的精准分离材料和技术，实现离子、分子尺度的精准分离对能源、水、化工、制药等领域将产生变革性的影响。膜分离具有能耗低、分离条件温和、易于操作等优点，已广泛应用于工业化大生产和日常生活的各个领域。然而，制备具有高度均一孔径的纳孔膜材料，实现离子或小分子化合物的精准分离仍面临巨大挑战。为实现这一目标，近年来发展了一系列基于一维纳米材料（如碳纳米管等）、二维纳米材料（如石墨烯等）、水通道蛋白等为代表的新型膜材料，但这些新型膜材料在实际应用中仍面临着难以大规模制备、长效稳定性差以及成本高等问题。

近期，中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所研究员靳健课题组与美国范德堡大学教授林士弘课题组合作，设计开发了一种利用表面活性剂自组装有序单分子膜调控界面聚合过程（即surfactant-assembly regulated interfacial polymerization, or SARIP）制备具有超窄孔径分布的薄膜复合纳滤膜（TFC-NF）的策略，实现了亚埃级的分子/离子的高精度分离。该研究成果近日发表在《自然-通讯》（Nature Communications）杂志上。

界面聚合法是目前最有效的大规模制备TFC-NF的方法，同时也是工业化纳滤膜生产的主要方法。在传统界面聚合反应中，溶于水相中的二胺（PIP）单体扩散进入含有酰氯（TMC）的油相中，在水油界面处发生聚合反应生成聚酰胺分离层（图1a）。由于这两个单体的反应是高反应活性的超快过程，且PIP在水/油界面的扩散是不可控的随意过程，导致生成的聚酰胺分离层结构不均

⁺（Stokes半径：2.4埃）和Ba²⁺

（Stokes半径：2.9埃）为例，膜对它们的截留率分别为19%和17%，几乎无法实现分离。在本工作中，他们在油水界面处引入由阴离子表面活性剂—十二烷基磺酸钠（SDS）形成的自组装有序单分子膜，该有序排列的单分子膜极大地改变和调控了PIP单体的跨界面扩散行为。具体表现在：1、SDS中带负电的磺酸基与弱正电的PIP分子之间形成一定的静电吸引相互作用，使PIP单体在SDS的磺酸基一侧先预富集再扩散到油相，这使得PIP在界面处的分布变得更均匀，同时加大的PIP单体在水/油两相中的浓度梯度进一步提高了其扩散速率，有利于生成更高交联度的聚酰胺分离层；2、SDS有序单分子膜的存在能有效地规整PIP单体在水/油界面处的无序扩散，同时分子动力学（图2a-c）和第一性原理（图2d）计算均表明，PIP单体沿SDS有序单分子膜的跨界面传输所需克服的能垒更低。也就是说有序单分子膜促进了界面聚合反应快速均匀的发生，进而生成的聚酰胺分离层具有更窄分布的均匀孔径。所获得

的膜对 Li^+ 和 Ba^{2+}

的截留率分别为30%和93%，展现出明显的筛分分离性能，其分离精度达到埃级（图1e）。SARIP被证明是一种调控单体扩单行为进而调控界面聚合反应、获得具有超窄孔径分布和超高精度分离性能的薄膜复合纳滤膜的有效策略，其基于现有工业化纳滤膜的制备过程工艺使其大规模制备成为可能，具有潜在的实际应用价值和前景。

该论文第一作者为美国范德堡大学与中科院苏州纳米所联合培养博士研究生梁元喆。朱玉长、靳健和林士弘为论文的共同通讯作者。该工作得到苏州大学教授李有勇、台湾中原大学教授李魁然、台湾科技大学教授洪伟松以及美国耶鲁大学教授Menachem Elimelech的通力合作，同时得到国家自然科学基金杰出青年科学基金（51625306）、国家自然科学基金基础科学中心（21988102）和青年科学基金（51603229）等的支持。

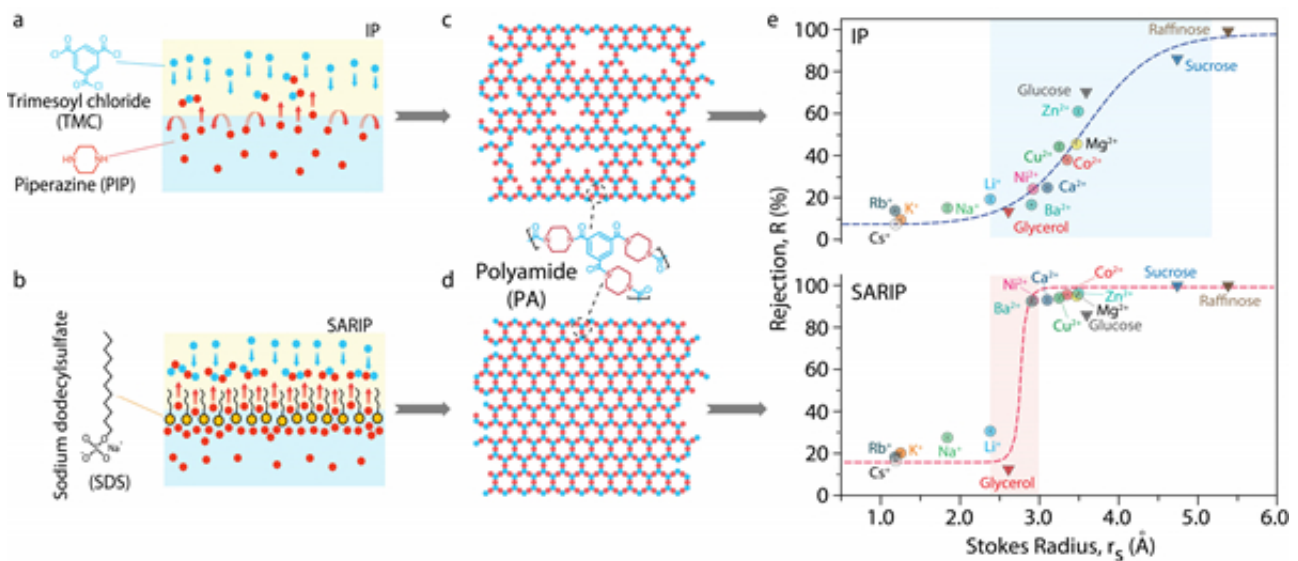


图1 (a) 传统界面聚合过程 (IP) vs (b) 表面活性剂有序单分子膜调控的界面聚合过程 (SARIP)；(c) 和 (d) IP和SARIP制备得到的聚酰胺分离层结构示意图；(e) IP和SARIP过程制备得到的膜的实际分离性能对比图。

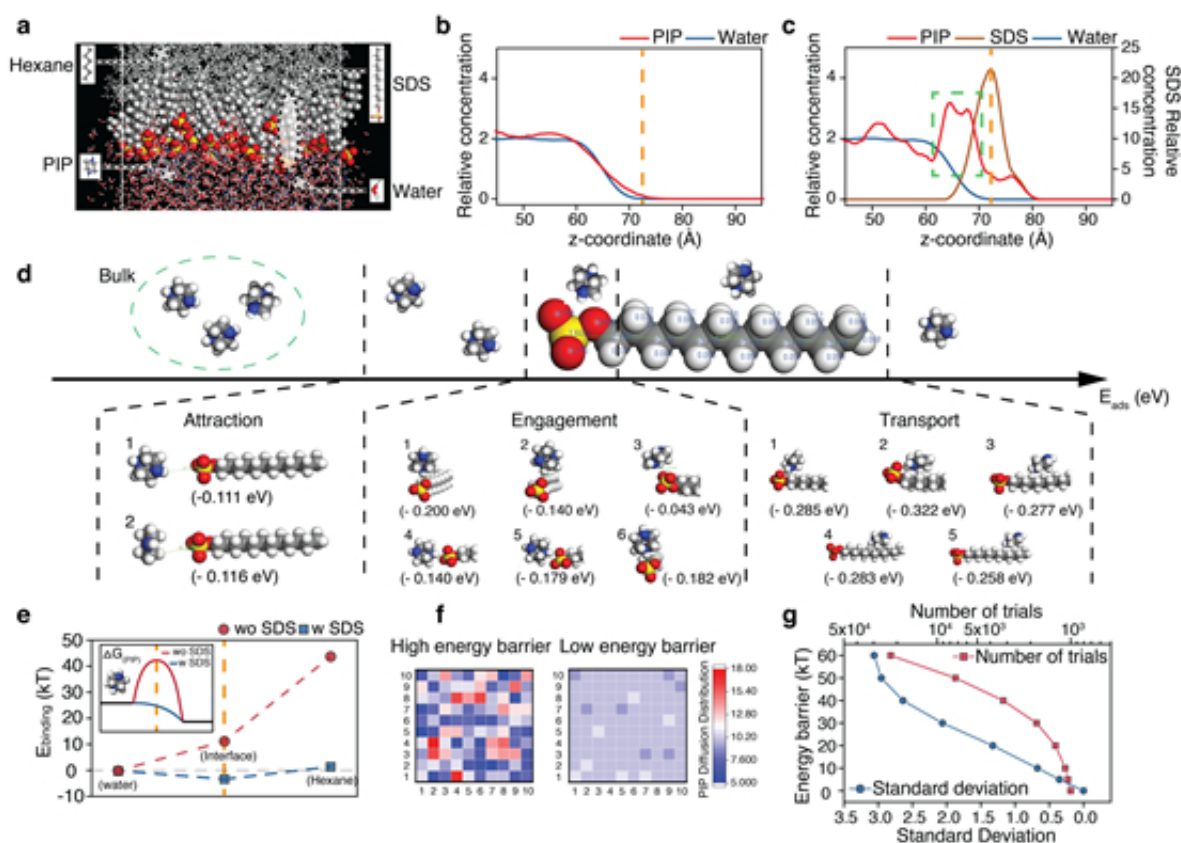


图2 SARIP过程反应机理研究。(a-c) 分子动力学 (MD) 模拟 SDS 有序单分子膜对 PIP 分子在水/油两相界面处的分布的影响；(d) 第一性原理 (DFT) 模拟 SDS 分子与 PIP 分子之间的相互作用；(e-g) 蒙特卡洛 (Montecarlo) 模拟计算 SDS 有序单分子膜对于界面聚合过程中单体扩散的影响规律。

研究团队单位：苏州纳米技术与纳米仿生研究所

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](http://www.iikx.com)转发