
柔性、可拉伸片上光镊

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40822.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！

柔性、可拉伸片上光镊。 导读

在光学微操控领域，传统光镊虽然能实现非接触、低损伤的精准颗粒操控，但其单光束聚焦特性限制了操控通量；而全息光镊虽可扩展捕获势阱数量，却受限于光学衍射极限，难以稳定捕获百纳米以下的颗粒。

近年来，基于微纳加工技术的片上光镊（如集成波导、纳米等离子激元与超表面微结构）在提升通量与纳米尺度捕获方面取得显著进展，可实现高通量及突破衍射极限的纳米颗粒捕获，但其依赖的刚性衬底限制了在真实生物环境的应用前景——无法贴合组织曲面，也难以在动态、弯曲的生理微环境中实现稳定操控。

针对光学微操控领域长期面临的低通量、尺度局限与刚性束缚挑战，暨南大学辛洪宝/李宝军团队创新性地提出了柔性集成的解决路径，成功开发了一套柔性可拉伸片上光镊（FSOT），实现了在组织表面等弯曲曲面进行跨尺度、高通量的精准生物光学操控。

相关成果以Flexible, stretchable, on-chip optical tweezers for high-throughput bioparticle manipulation为题发表在Light: Science Applications。暨南大学纳米光子学研究院博士生何梓毅为本文第一作者，辛洪宝教授和李宝军教授为论文共同通讯作者。

基于光热张力调控机理，研究团队在柔性肥皂膜上组装了大规模有序的二氧化钛微透镜阵列，并将其转移至可弯曲、可拉伸的柔性PDMS衬底上（图1a）和组织表面（图1b）。微透镜的光子纳米喷流效应使其实现突破光学衍射极限的光学捕获，从而构建出一个可在曲面甚至生物组织表面工作的柔性片上光镊，并以此实现了在复杂生物环境的高通量、跨尺度精准生物光学操控。FSOT通过将高通量光学操控与柔性可拉伸光子平台、生物集成界面的理念相结合，打破了传统光镊的刚性束缚，为未来开发面向生命实境、可植入式传感或可穿戴设备的下一代智能生物操控平台提供了可能。

FSOT的核心优势体现在以下三个方面：

1. 高通量、跨尺度捕获能力

与传统单光束光镊不同，FSOT的大规模微透镜阵列可同时产生上千个光学捕获点，成功实现了一次性捕获数百个尺寸跨越2个数量级的介质颗粒和生物微粒（尺寸从亚百纳米到10微米，图1c），包括外泌体、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、小球藻及巨噬细胞等，为复杂生物环境中生物微

粒的高通量精准分析提供了新方法。

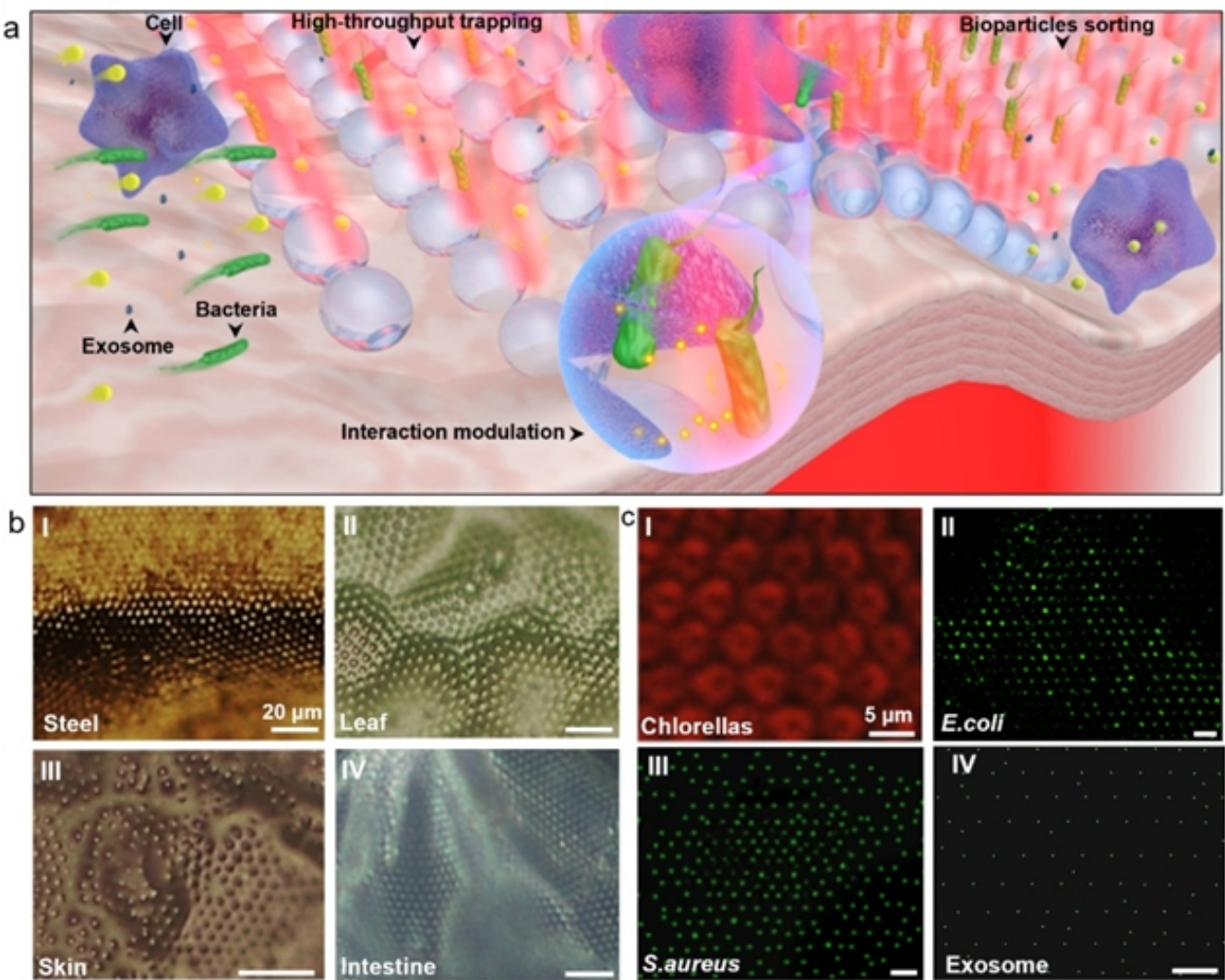


图1：FSOT的构建及其在不同基底上工作。(a) FSOT实现跨尺度、高通量、多功能操控的示意图。(b) 在 (I) 钢管，(II) 叶片，(III) 皮肤，(IV) 肠道上构建的FSOT。(c) FSOT对不同生物微粒高通量捕获的实验图片

2. 可弯曲与曲面操控能力

得益于柔性的纳米肥皂膜组装平台，FSOT可在多种不规则曲面衬底上构建，具有良好的可弯曲性能和曲面操控能力（图2a）。利用该FSOT，成功实现了其在植物叶片、动物皮肤乃至肠道组织表面高通量捕获外泌体等生物微粒（图2b-d）。计算发现，通过弯曲，不同尺寸和形状颗粒受到的光学捕获力不同，从而可以通过弯曲实现高效颗粒分离与筛选。通过弯曲，实现了对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的高效分离（图2e）。这一特性使得在复杂曲面环境中，对生物粒子进行高通量原位操控与分选成为了可能，突破了传统技术只能在平整衬底上操作的局限。

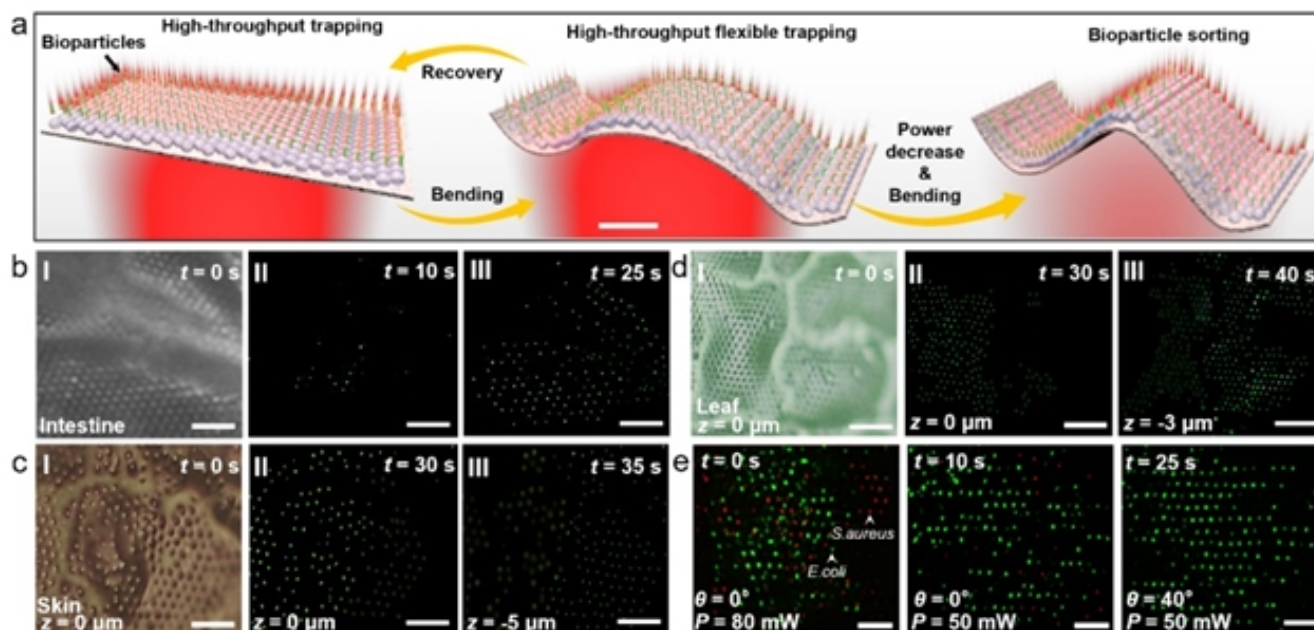


图2：FSOT在曲面基底上实现颗粒捕获与分选。(a) 在弯曲表面上灵活捕获与分选生物颗粒的示意图。(b-d) FSOT在不同生物组织 (b) 肠道、(c) 皮肤、(d) 叶片上捕获外泌体。(e) 在曲面上实现大肠杆菌与金黄色葡萄球菌分选。比例尺：5 μm

3. 可拉伸性能实现细胞间相互作用精准调控

FSOT不仅可弯曲，还具备良好的可拉伸性。通过拉伸基底，可精确调节相邻光学势阱的距离，从而精准调控被捕获颗粒的间隔。利用这一功能，成功实现了对细菌与巨噬细胞相互作用（免疫过程）的精准调控，并实现了对免疫过程的实时观测。通过改变两者间距，揭示了距离因素对免疫识别与吞噬过程的影响，为细胞互作及通讯研究提供了的可控实验平台。

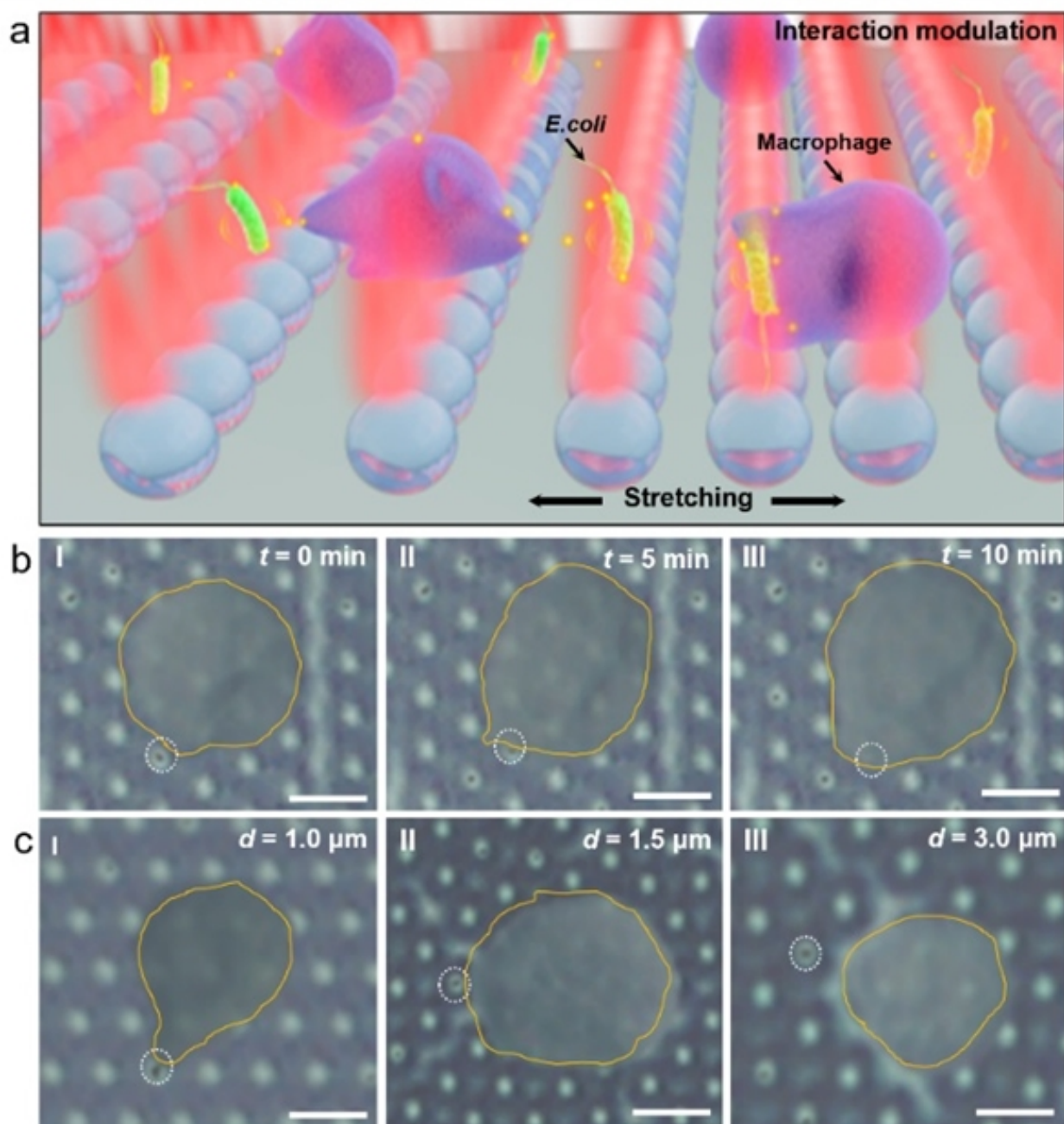


图3：基于FSOT拉伸性的细胞间相互作用调控。(a) 通过拉伸FSOT调控细菌与巨噬细胞间相互作用的示意图。(b) 巨噬细胞吞噬大肠杆菌的过程。(c) 巨噬细胞在不同初始距离下与大肠杆菌发生相互作用。比例尺：5 μm

(来源：中国光学微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-026-02199-4>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。

作者：辛洪宝等 来源：《光：科学与应用》

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