

冰刻技术赋能2.5维超表面实现超灵敏中红外传感

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39266.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！

冰刻技术赋能2.5维超表面实现超灵敏中红外传感。 导读

近期，西湖大学仇旻教授和西湖大学光电研究院赵鼎研究员团队在 Light: Advanced Manufacturing 发表了题为 Refractive Index Sensing in the Mid-Infrared Regime with Ice-Lithography Enabled 2.5-Dimensional Metasurfaces 的研究论文。

该团队利用独特的冰刻技术（Ice Lithography），成功制备了具有垂直不对称的2.5维（2.5D）金属等离激元超表面。得益于冰刻技术无溶剂污染、高对准精度的特性，该团队不仅实现了多层金属-介质结构的精确堆叠，还通过垂直维度的结构调控显著增强了光与物质的相互作用。实验表明，该2.5D超表面的折射率传感灵敏度高达2266 nm/RIU，较传统平面结构提升了3.1倍。这项作为高性能生化传感器的绿色制造开辟了新路径。

中红外（MIR）波段包含了大量化学键的特征振动频率，被誉为分子的指纹区，对于化学检测、环境监测和生物医疗诊断具有重要意义。基于表面等离激元共振（SPR）的超表面传感器因其能显著增强中红外波段局域光场而备受关注。

然而，传统的中红外超表面制造主要依赖电子束曝光（EBL）或聚焦离子束（FIB）刻蚀。这些工艺通常需要使用聚合物光刻胶（如PMMA），不仅涉及复杂的涂胶-显影-去胶湿法流程，还容易在器件表面残留有机污染物，严重影响传感器的光学品质因数（Q值）和表面化学性质。另一方面，虽然双光子聚合（TPP）技术擅长构建3D结构，但其在制造离散金属结构方面存在局限性，难以灵活调控等离激元共振。因此，开发一种既能实现复杂3D结构、又能保持表面洁净的微纳加工技术，是突破当前传感性能瓶颈的关键。

1. 绿色冰刻：无溶剂、原位对准的3D加工新范式

该研究采用了团队自主研发的冰刻技术（Ice-assisted Electron Beam Lithography），直接使用水蒸气凝结成的无定形冰层作为电子束光刻胶。与传统工艺相比，冰刻技术具有三大核心优势：

零污染： 全过程无需有机溶剂，冰胶在升温后自然升华，能够获得极致洁净的器件表面，这对于高灵敏度生物传感至关重要。

原位对准： 利用冰层在电子束下的低敏感性，可以在加工过程中进行原位成像，直接完成多层结构的纳米级对准。

多层堆叠效率：通过制冰-曝光-镀膜的多重循环，极大简化了2.5D/3D结构的制备流程。

2. 2.5维架构设计：垂直维度上的场增强

研究团队提出了一种2.5维金属十字柱阵列结构（图1）。与平面结构（2D）不同，这种设计在金属十字叉的末端引入了垂直方向的纳米柱（Pillars）。

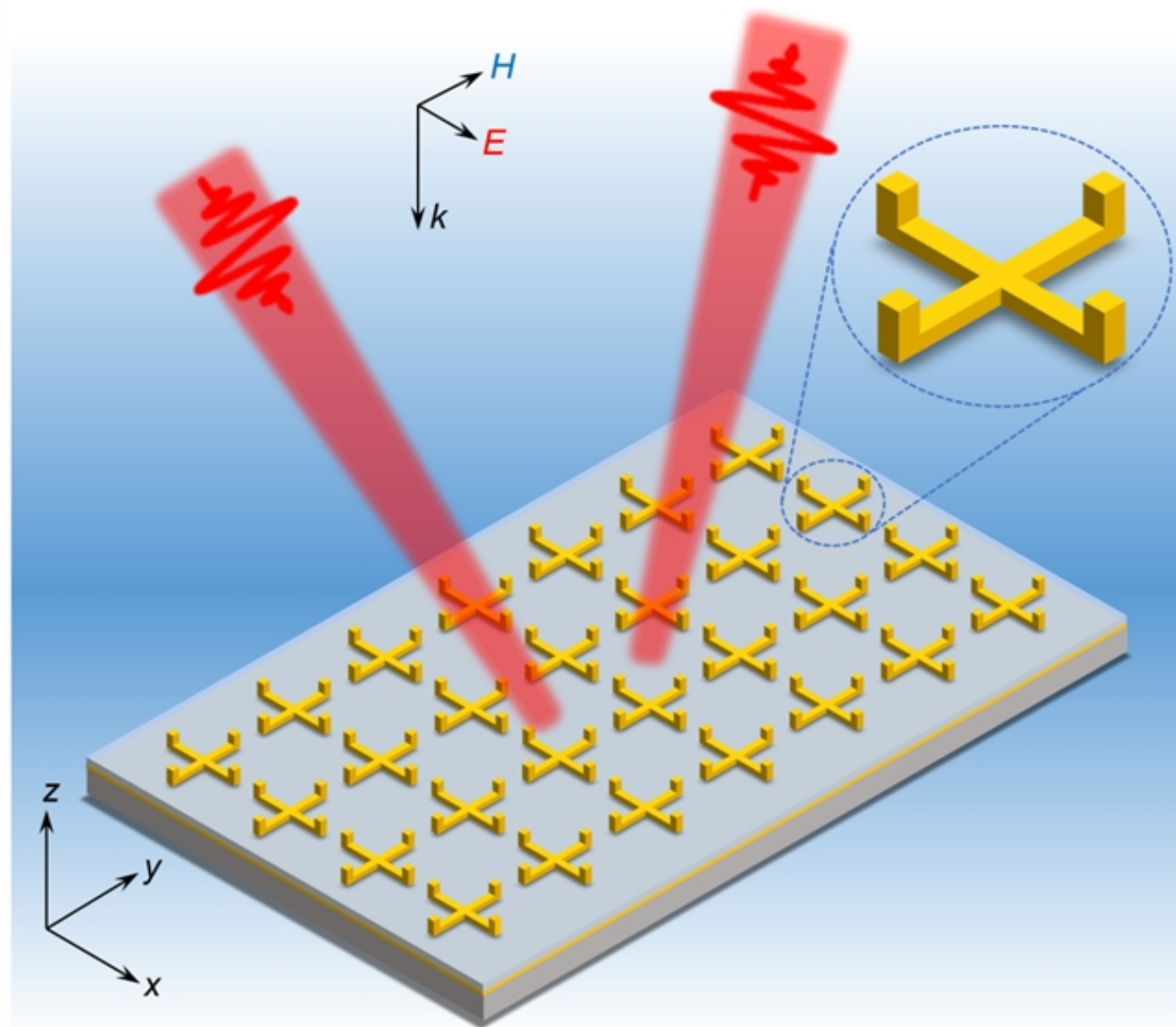


图1：2.5D超表面结构示意图

仿真与实验发现，随着纳米柱高度（ h ）的增加，等离激元共振波长不仅发生红移，更重要的是，电场能量被抬升并集中在纳米柱周围（图2）。这种垂直方向的场分布调控，使得强电场区域能够更充分地与环境介质（待测物）接触，克服了传统平面结构电场主要集中在基底界面的不足，从而显著提升了折射率传感的灵敏度。

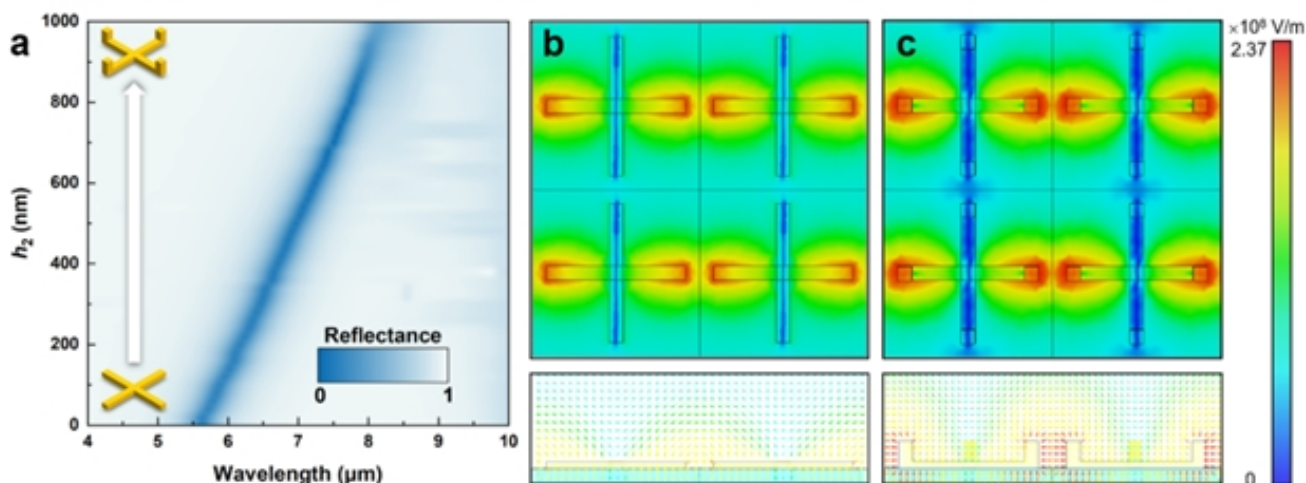


图2：通过纳米柱高度调节超表面光谱和表面电场分布

3. 性能表现：灵敏度大幅提升

实验结果显示，在保持较高Q值（ ~ 20 ）的同时，制备的2.5D超表面（柱高300 nm）在中红外波段表现出了卓越的传感性能。当环境折射率变化时，其实验测得的灵敏度达到2266 nm/RIU，相比于同参数的平面结构（735 nm/RIU）提升了3.1倍。仿真结果更显示，通过进一步优化柱高，灵敏度理论上可达4208 nm/RIU。

总结与展望

该研究成功将冰刻技术应用于中红外超表面传感器的制备，证明了通过垂直结构工程可以有效操控光与物质的相互作用。这种没有光刻胶残留、支持复杂形貌构建的加工方法，不仅可以实现高灵敏度分子指纹检测器件，也为未来在柔性基底、甚至生物活体表面制造光电子器件提供了无限可能。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2026.029>

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：仇旻等 来源：《光：先进制造》

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