表面等离激元共振全息显微镜：折射率与厚度测量的新突破

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41460.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！

导读

近期，西北工业大学赵建林教授团队在Light: Advanced Manufacturing发表了题为Refractive Index and Thickness Measurements with Ultrahigh Sensitivity via Versatile Surface Plasmon Resonance Holographic Microscope的研究论文。

该研究通过对表面等离激元共振全息显微术光学系统进行仪器化设计，研发了多功能表面等离激元共振全息显微镜。该显微镜具有简单紧凑的光机结构与优异的系统稳定性，并集成了电动化入射角度扫描功能，显著提升了操作便捷性。研究团队提出了膜厚优化的银-金双层金属膜表面等离激元共振激发结构，开发了基于入射角度扫描的二维材料厚度解调算法，使显微镜实现了两大性能突破：1.超高折射率测量灵敏度：可检测低至10-7 RIU的折射率微小变化；2.亚纳米厚度测量分辨率：可实现原子层材料厚度的精确表征。所研发的显微镜为原位纳米材料表征、细胞生物学研究与电化学分析等提供了高灵敏光学表征新平台，展现出广阔的应用前景。

在先进制造、生物医疗和新材料研发领域里，精确测量物质的折射率和厚度对于监控芯片生产良率、探索新型材料制备方法等至关重要。然而，现有测量工具各有短板。以原子力显微镜、透射电子显微镜为代表的传统纳米标尺，虽然精度极高，但逐点扫描的工作方式使得其速度慢、效率低，还存在对样品造成损伤的潜在风险。而基于表面等离激元共振的高灵敏测量技术，其测量精度在实际应用中往往止步于10-4 RIU，难以捕捉更细微的变化。为此，研究人员设计了精巧的激发结构，尽管这些结构在提升测量灵敏度、响应速度和微型化方面表现不俗，但又陷入了对精密制造工艺的依赖，导致高昂的制备成本，这也成为限制其广泛应用的一大瓶颈。

表面等离激元共振全息显微术作为一种新型的光学表征技术脱颖而出。它巧妙地将数字全息显微术与表面等离激元共振显微术相结合，通过特殊的解调算法，即可根据测量信号解调相关物性参量。表面等离激元共振全息显微术具有无标记、非侵入、全场、实时、高灵敏测量优势。然而现有系统的设计简易性和测量灵敏度极限，限制了该技术走向实际应用。设计一套既简易便捷，又具有更高测量灵敏度的表面等离激元共振全息显微镜，成为了当前的一个重要挑战。

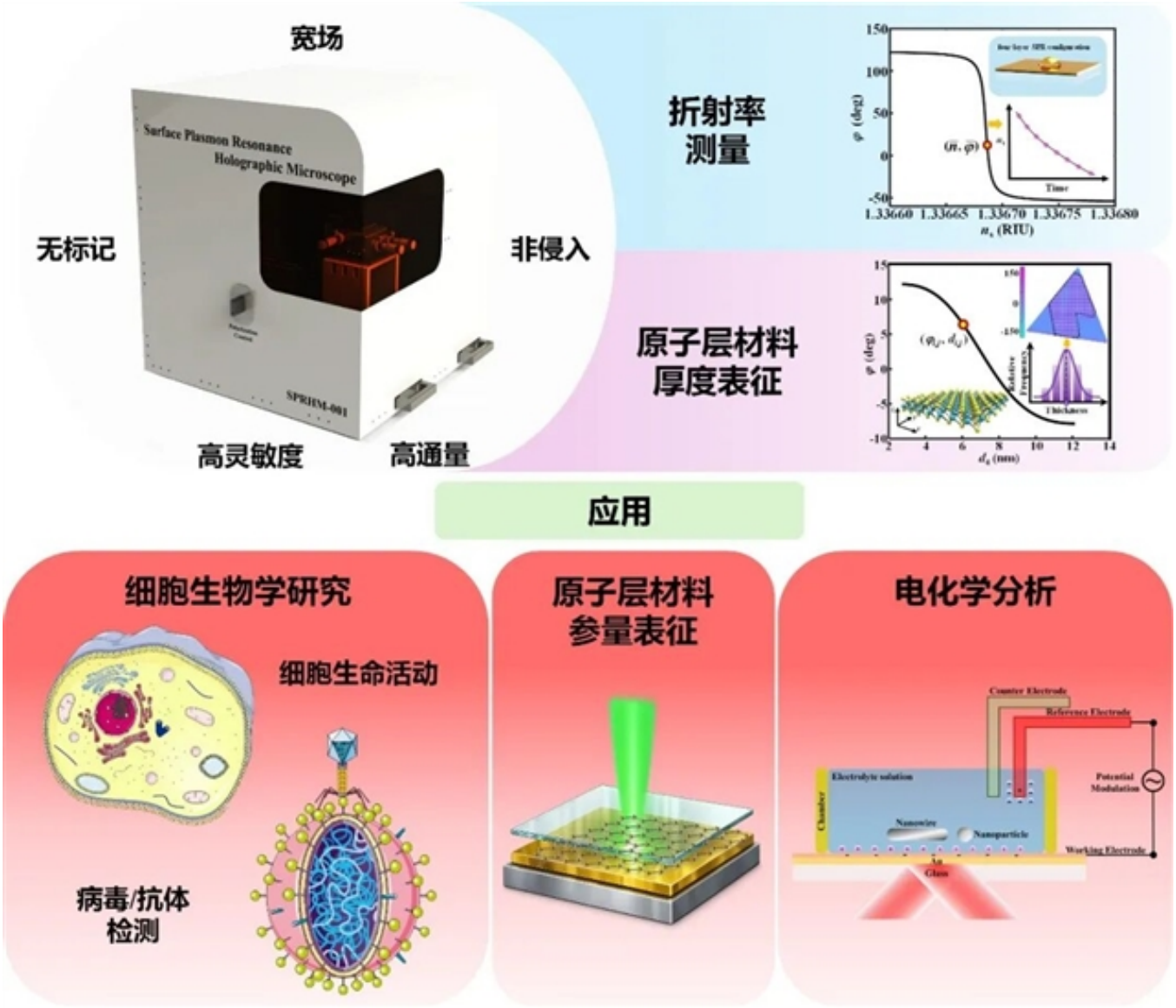


图1：表面等离激元共振全息显微镜功能及其应用

该研究团队基于共光路表面等离激元共振全息显微术，研发了一台多功能表面等离激元共振全息显微镜。该显微镜采用模块化设计理念，将光束整形、表面等离激元激发、成像及全息记录等功能单元进行集成，并配备电动化入射角度扫描模块，不仅实现了光机结构的高度集成化，还极大便利了组件的更换与系统升级。为抑制环境噪声扰动，通过将标准化笼式部件与精密隔振支撑柱进行刚性配合，并结合全封闭外壳，确保了长期测量过程的信号稳定性。该显微镜具备在非实验室环境下进行实际应用的优点，为多样化应用场景提供了有力的工具支持。所设计的表面等离激元共振全息显微镜光机结构及实物如图2所示。

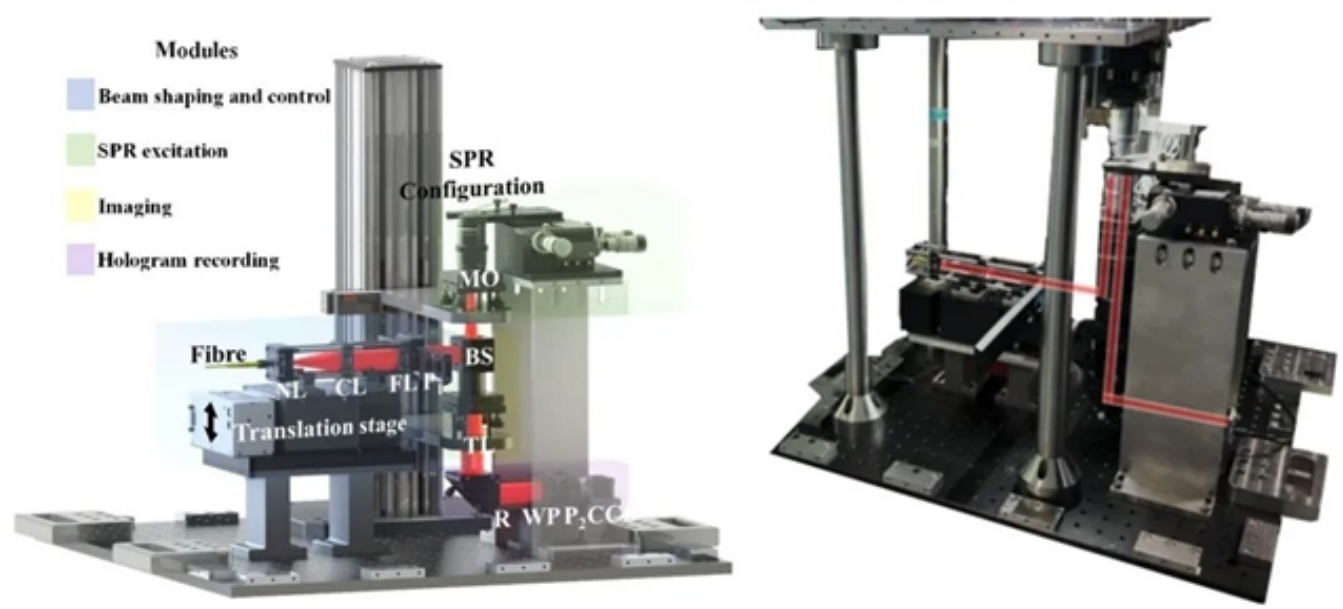


图2：表面等离激元共振全息显微镜光机结构及实物图

在此基础上，团队提出一种银-金双层金属膜表面等离激元共振激发结构。该结构巧妙地结合了银的高激发效率与金的优异化学稳定性，既保证了探测灵敏度，又确保了器件的长期稳定性。团队根据这一结构开发了膜厚优化算法，精确计算了针对特定样品的最优双层膜厚度。利用研发的显微镜平台和设计的激发结构，对不同配比的乙醇-水混合溶液挥发过程进行了监测，实现了折射率动态变化的高灵敏追踪。实验结果表明折射率测量分辨率可达2.58×10-7 RIU。表面等离激元激发结构及折射率动态监测实验结果如图3所示。

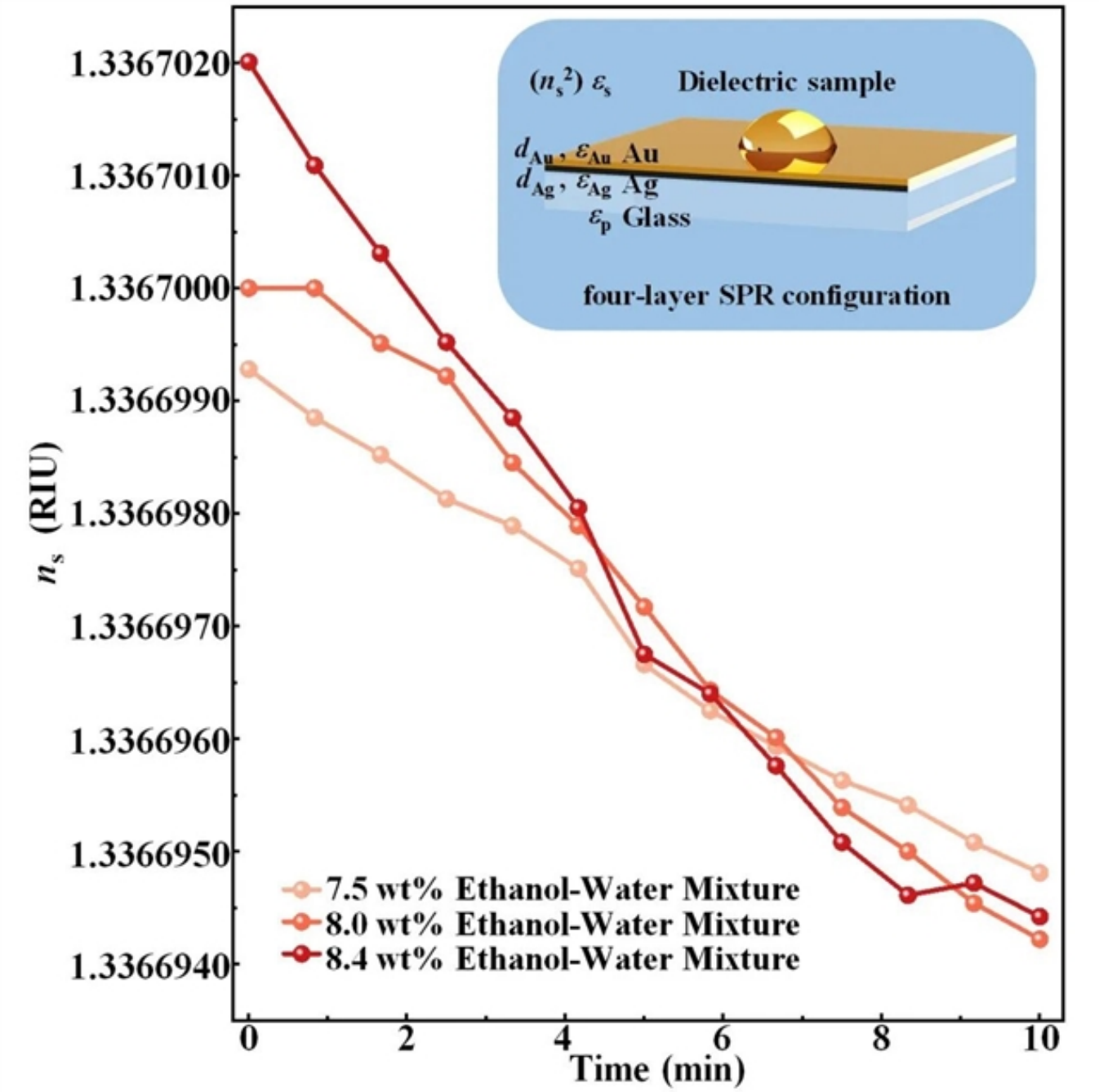
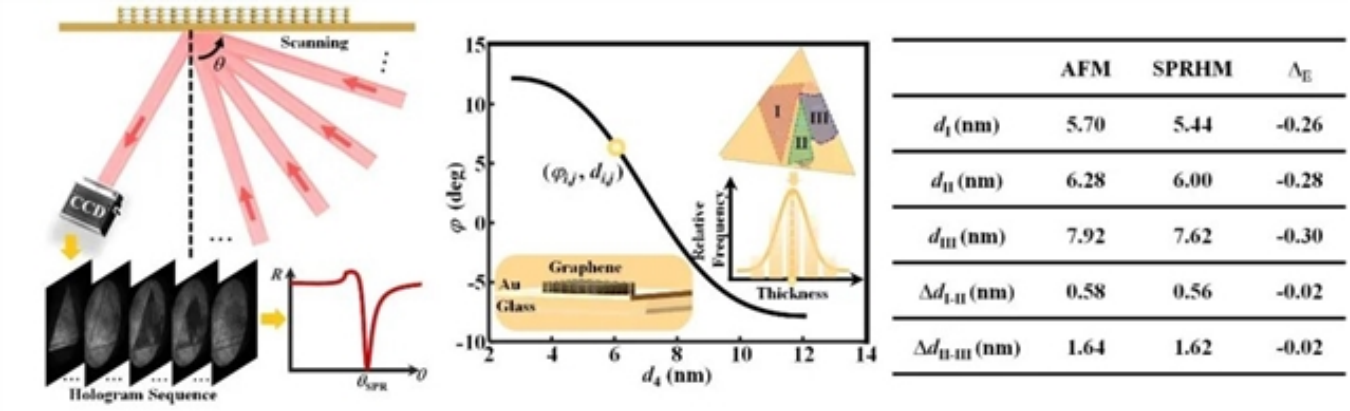


图3：银-金双层金属膜表面等离激元激发结构及折射率动态监测实验结果

研究团队还开发了一种原子层材料厚度解调算法，借助入射角扫描获取表面等离激元共振角，并结合全息重建的相位信息，对厚度阶跃变化的片状石墨烯不同区域厚度进行了逐像素解调。结果显示，所研发显微镜的测量结果与原子力显微镜测量结果高度一致，测量厚度的分辨率可达0.6 nm，为原子层材料的厚度表征提供了一种精准、可靠的新手段。算法示意图及实验结果如图4所示。



	AFM	SPRHM	Δ_E
d_I (nm)	5.70	5.44	-0.26
d_{II} (nm)	6.28	6.00	-0.28
d_{III} (nm)	7.92	7.62	-0.30
$\Delta d_{I\text{-}II}$ (nm)	0.58	0.56	-0.02
$\Delta d_{II\text{-}III}$ (nm)	1.64	1.62	-0.02

图4：基于入射角度扫描的原子层材料厚度解调算法示意图及石墨烯厚度测量实验结果

总结与展望

研究团队发展了一种表面等离激元共振全息显微测量技术，并研发了相应的表面等离激元共振全息显微镜，获得了10-7 RIU折射率测量灵敏度和亚纳米量级的材料厚度测量分辨率。这台多功能表面等离激元共振全息显微镜可为原位纳米材料表征、细胞生物学研究与电化学分析等领域提供高灵敏光学表征新平台。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2026.056

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：赵建林等 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转发