Thrane孟超Bozhevolnyi等 LAM 超表面偏振仪：让数字病理“看见”偏振

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/42975.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！

Thrane孟超Bozhevolnyi等 LAM 超表面偏振仪：让数字病理“看见”偏振。 导读

如果没有颜色，病理医生还能诊断癌症吗？

一百多年来，组织病理学始终围绕染色展开。组织样本经过固定、切片和染色后，病理医生依据不同颜色所呈现出的细胞和组织形态完成诊断。这种方法至今仍是临床病理的金标准，但整个流程耗时、依赖经验，也成为数字病理进一步发展的瓶颈。

事实上，组织不仅会改变光的颜色和强度，还会改变光的偏振状态。相比颜色信息，偏振信息能够更加直接地反映组织内部微观结构及散射特性的变化，为无染色病理诊断提供新的可能。然而，这一技术长期受限于传统偏振仪体积庞大、测量速度慢和系统难以集成等问题。

近日，南丹麦大学联合SINTEF数字研究院、奥卢大学、阿斯顿大学组成的国际研究团队在《Light: Advanced Manufacturing》发表研究成果，提出一种面向数字病理的反射式超表面偏振仪，实现完整Stokes参数的单次曝光测量，并成功应用于数字病理验证，为未来无染色病理诊断和7D Pathology的发展提供了关键光学器件。

传统病理学通过染色把组织结构翻译为颜色，而偏振病理则希望直接读取组织本身携带的光学信息。当偏振光照射组织时，不同细胞排列、胶原纤维及病变区域会改变光的偏振状态。这些变化不仅能够揭示传统显微镜难以观察到的微观结构，而且无需染色即可获得丰富的信息，并天然适合与人工智能结合，实现更加客观、自动化的数字病理分析。过去十余年，偏振病理不断证明其在癌症筛查和组织表征中的巨大潜力，但真正制约其走向临床的，并不是分析算法，而是获取偏振信息的核心器件。

现有偏振仪通常依赖旋转载波片、多次曝光以及复杂光路完成完整偏振测量。这类设备虽然精度高，却难以满足数字病理高速扫描、小型化以及临床集成的需求。对于需要逐点扫描组织样本的偏振病理系统而言，偏振仪不仅需要准确，还必须足够快、足够小，并具备良好的动态范围。如何重新设计偏振测量方式，成为推动数字病理发展的关键问题。

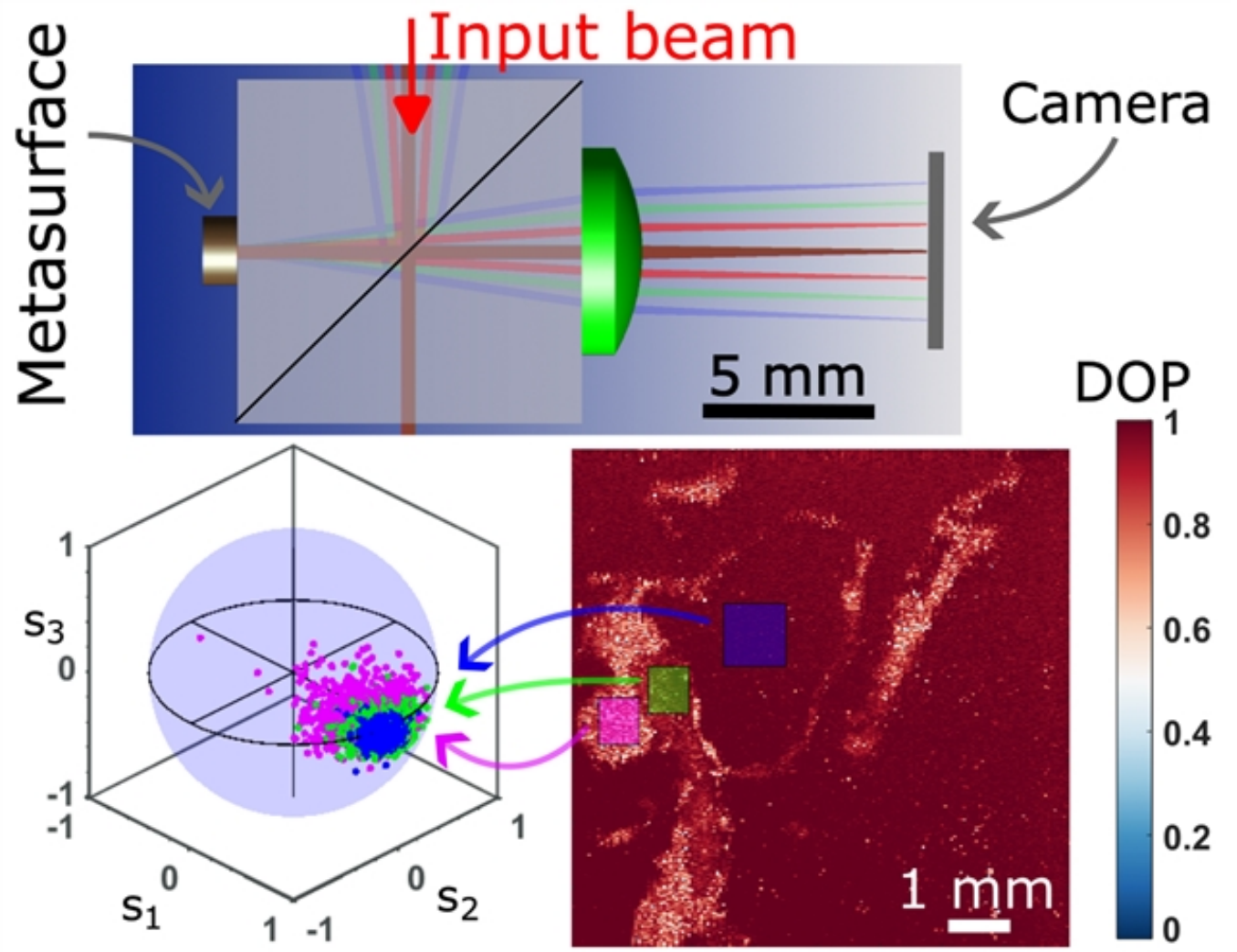


图1：超表面偏振仪及针对组织仿体的偏振度成像

一、把偏振仪搬进一块超表面芯片

为了解决这一难题，研究团队提出了一种基于反射式超表面的偏振仪。整个器件的核心是一块由金纳米砖构成的超表面光栅，通过巧妙交错集成三组偏振分束光栅，将入射光同步分离为六个衍射光斑，对应四个线偏振和左右圆偏振分析通道。

传统系统需要依次完成多次测量，而新的超表面偏振仪仅需一次曝光即可同步获取六路偏振信息，并重建完整Stokes参数和偏振度，实现真正意义上的快照式测量。原型系统光路仅约2 cm，未来有望进一步缩小至约5 mm，为便携式病理设备和偏振内窥镜提供新的技术路线。

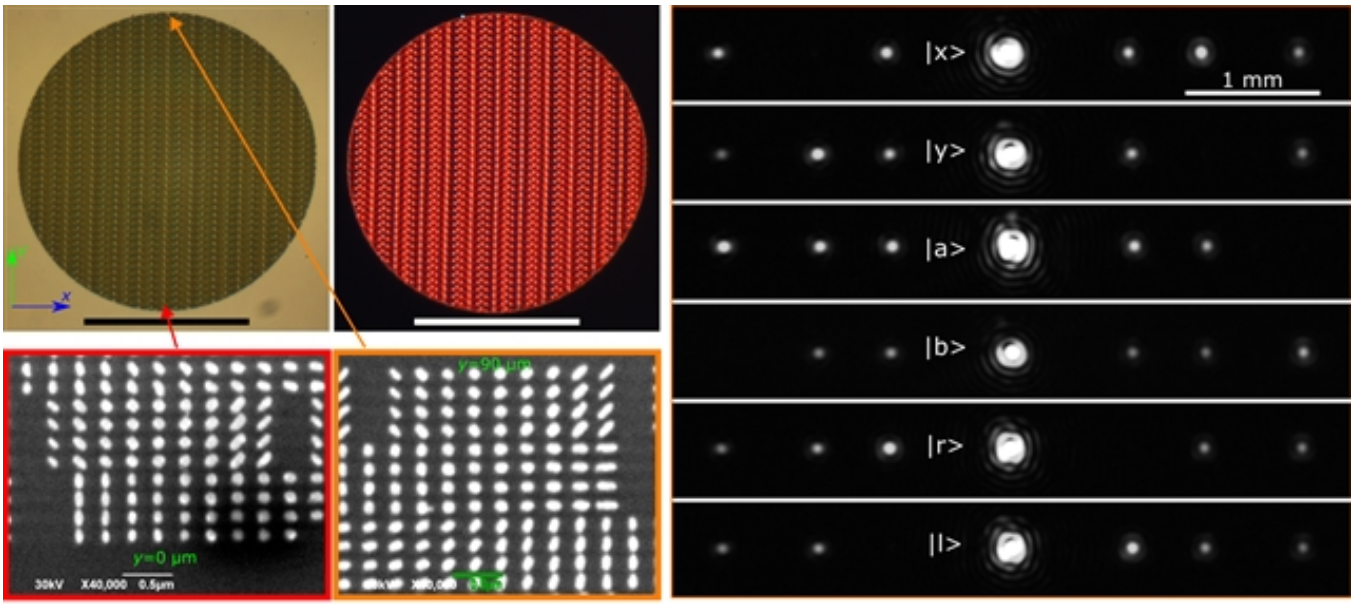


图2：超表面偏振仪及偏振相关衍射图样

二、让器件真正走进数字病理

真正检验一项器件技术价值的，不是实验室中的性能指标，而是能否解决实际应用问题。研究团队将超表面偏振仪集成到数字病理平台，并与商用Thorlabs
PAX1000偏振仪进行系统比较。经过标定后，器件实现了±2%的Stokes参数测量精度。

随后，研究人员利用模拟癌症活检组织的组织仿体开展验证实验。结果显示，超表面偏振仪获得的偏振度分布与商用系统高度一致，能够清晰区分正常组织区域和模拟癌变区域，证明其已经具备数字病理应用所需的性能基础。

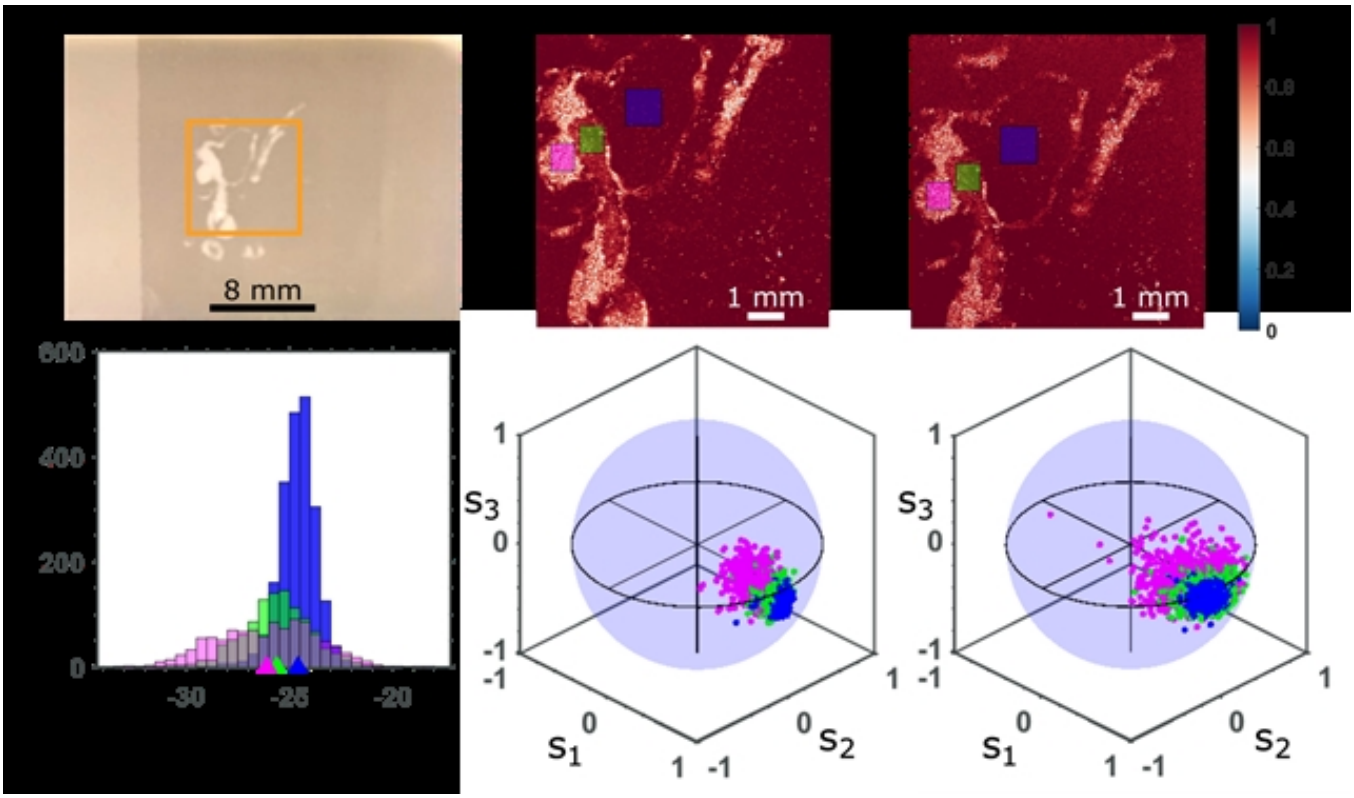


图3：面向组织仿体的数字病理验证结果及偏振度分布。

三、从一台偏振仪到7D Pathology

这项工作的意义并不仅仅在于研制了一台更加紧凑、高效的偏振仪，更重要的是为未来数字病理增加了新的信息维度。未来病理诊断将不再局限于二维图像，而是融合空间、光谱、偏振、强度等多维信息，对组织进行更加全面的表征。偏振信息正是其中不可或缺的重要组成部分。未来结合高速探测器、宽场偏振成像和人工智能分析，偏振病理有望实现更快、更智能的组织诊断。超表面偏振仪所提供的不仅是一种新的测量方式，更是实现7D Pathology愿景的重要基础器件。

四、总结与展望

一百多年来，病理学依赖颜色认识组织；今天，偏振光正在提供一种新的语言。研究团队提出的超表面偏振仪，将传统偏振测量系统压缩到厘米甚至毫米尺度，实现了高速、单次曝光的完整偏振测量，并成功完成数字病理验证。

从看颜色到读偏振，从传统显微镜到数字病理，再到面向未来的7D Pathology，这项工作展示了超表面光学在生物医学成像中的巨大潜力，也为下一代智能病理诊断提供了新的技术基础。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2026.030

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：孟超等 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