
Tsang成像法携手ISM，开辟成像新路径

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/34970.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！

Tsang成像法携手ISM，开辟成像新路径。 导读

在光学显微镜成像领域，突破衍射极限、提高成像分辨率一直是研究的关键焦点，对众多科学研究领域的微观观测需求意义重大。牛津大学物理系的研究团队致力于此，开展了深入且富有创新性的研究。

研究团队创新性地将Tsang的方法与图像扫描技术相结合。他们从理论上详细分析了两种技术单独使用和结合使用时对成像分辨率的影响机制；在实验过程中，精心搭建光学装置，利用数字微镜器件（DMD）展示样本，对比不同成像方式下的分辨率和图像质量。结果表明，这种结合方式在横向分辨率和图像质量方面均取得显著提升。

此研究成果为光学显微镜分辨率的提升开辟了新路径，有望推动光学成像技术的进一步发展，在生物医学、材料科学等依赖高分辨率成像的研究领域展现出广阔的应用前景。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Tsang 's resolution enhancement method for imaging with focused illumination。牛津大学的Alexander Duplinskiy为论文的第一兼通讯作者，研究团队成员均来自牛津大学。

研究背景

在光学显微镜成像技术的发展过程中，突破衍射极限获取更高分辨率的成像技术始终是科研人员关注的核心。从生物医学中对细胞内分子机制的探究，到材料科学里对新型材料微观结构的分析，高分辨率成像技术的需求愈发迫切。

当前，为突破衍射极限发展出的众多超分辨率技术，都存在各自的弊端。非线性超分辨率技术，如受激发射损耗（STED）显微镜，虽然能大幅提高分辨率，但它需要使用额外的激光来选择性抑制荧光，这不仅对样本的荧光特性有特殊要求，且操作复杂、成本高昂，限制了其在普通实验室的广泛应用。光激活定位显微镜（PALM）和随机光学重建显微镜（STORM）依赖于单个荧光分子的精确激活和定位，成像速度较慢，且对样本的光稳定性要求较高，在实际应用中受到诸多限制。

线性超分辨率技术同样面临着挑战。共聚焦显微镜通过聚焦照明和针孔滤波来提高分辨率，然而，针孔的存在会导致大量光损失，降低成像的信号强度，影响成像效率。图像扫描显微镜（ISM）虽改进了检测方式，减少了光损失，但它的分辨率提升程度有限，在面对对分辨率要求极高的

研究场景时，难以满足需求。而Tsang提出的基于空间模式解复用的方法（HGI），虽然理论上能实现高分辨率，但在实验中，其测量过程较为复杂，且受噪声影响较大，实际应用时图像质量可能受到影响，并且该方法对实验设备和技术要求较高，增加了推广难度。

创新研究

研究团队突破传统成像技术的固有模式，创新性地将Tsang的基于空间模式解复用的成像方法（HGI）与图像扫描显微镜技术（ISM）有机融合，开创了一种全新的光学成像策略。这一创新举措旨在充分发挥两种技术的协同效应，克服各自在分辨率和成像质量方面的限制，为光学成像领域带来新的突破点。

研究团队搭建了先进的光学实验装置（见图1），利用数字微镜器件（DMD）展示各类样本，进行了全面且细致的成像实验。在对具有不同特征的样本成像过程中，对比了多种成像技术的效果。以线对样本（见图2）为例，扫描HGI展现出了极高的分辨率优势，能够清晰分辨间距极小的线对，分辨率达到 44 ± 1 DMD像素 ($0.31 \lambda / NA$)，相比传统的宽场直接成像（DI）有显著提升。在对牛津大学标志这类复杂样本成像时（见图3），扫描HGI所呈现的图像质量明显更优，图像细节丰富，能够清晰呈现复杂图案的精细结构，有效提升了成像的清晰度和准确性。

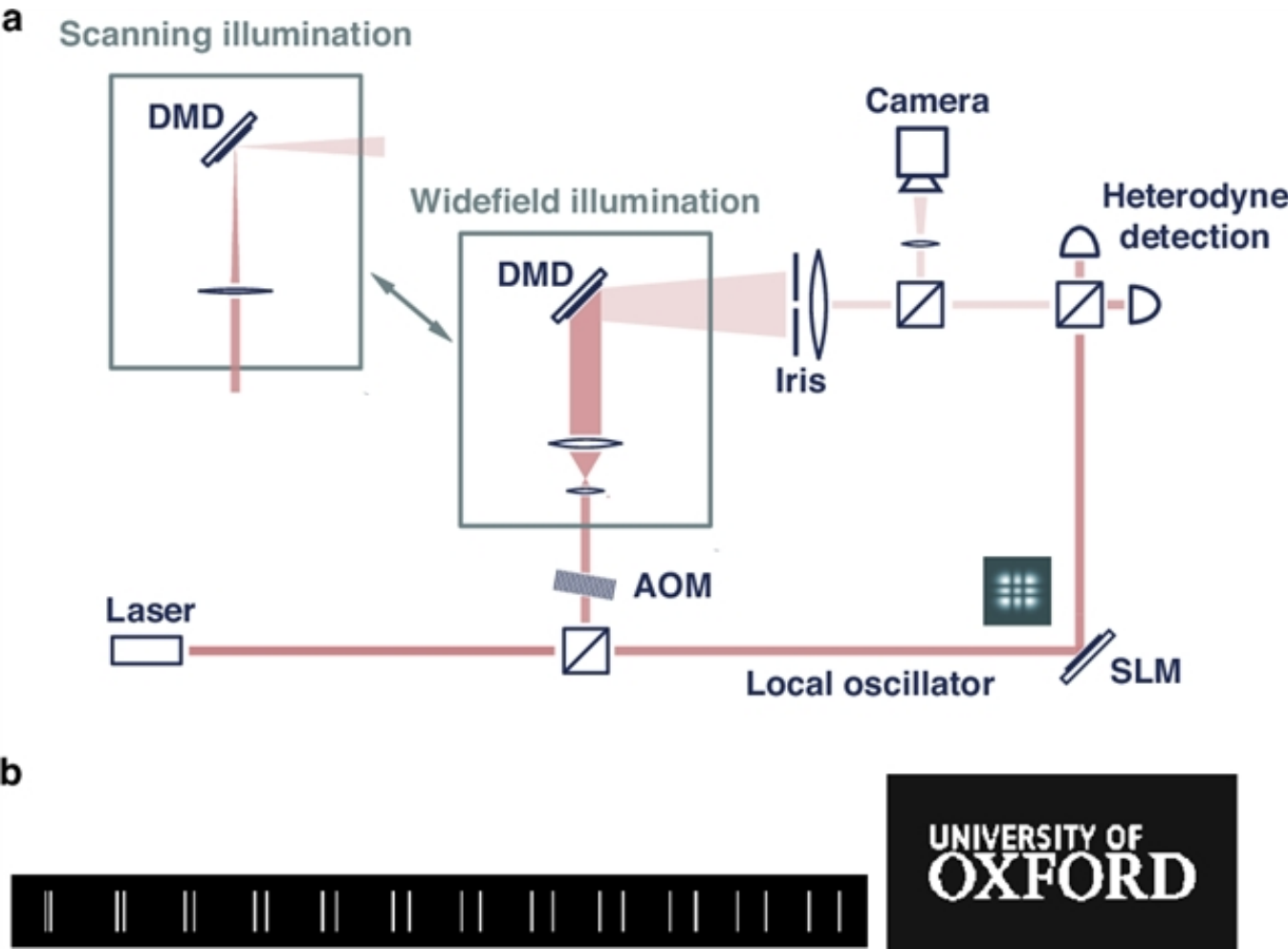


图1. (a) 用于在宽场和聚焦扫描照明下比较直接成像（DI）和厄米-高斯成像（HGI）的光学装置。(b)

显示在数字微镜器件（DMD）上用于分辨率估计的位图：牛津大学校徽以及间距从 20 到 130 个 DMD 像素不等的线对。

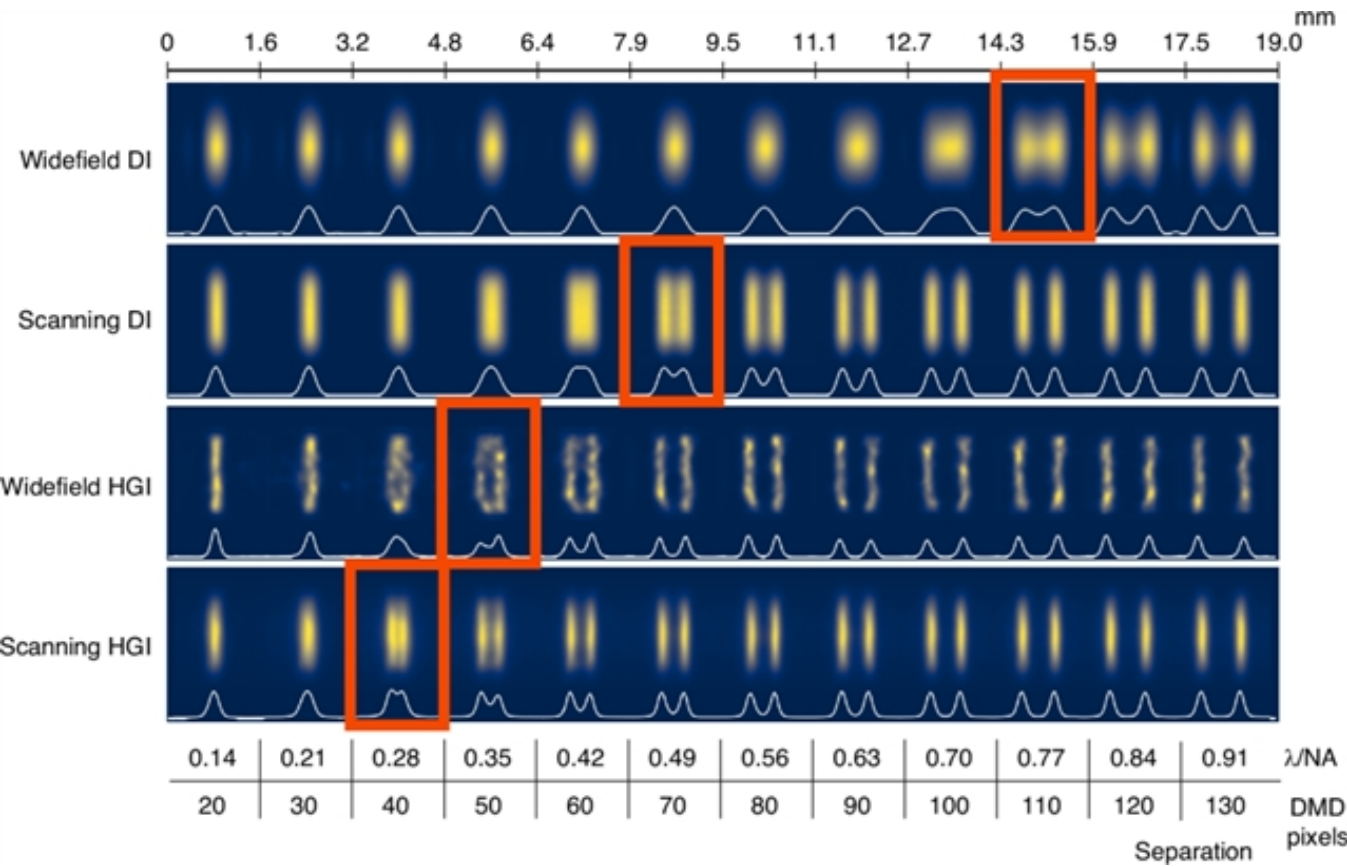


图2. 在宽场和聚焦扫描照明下，使用直接成像（DI）和厄米 - 高斯成像（HGI）对间距逐渐变化的线对进行成像。白线表示线对在任意强度单位下的一维轮廓。

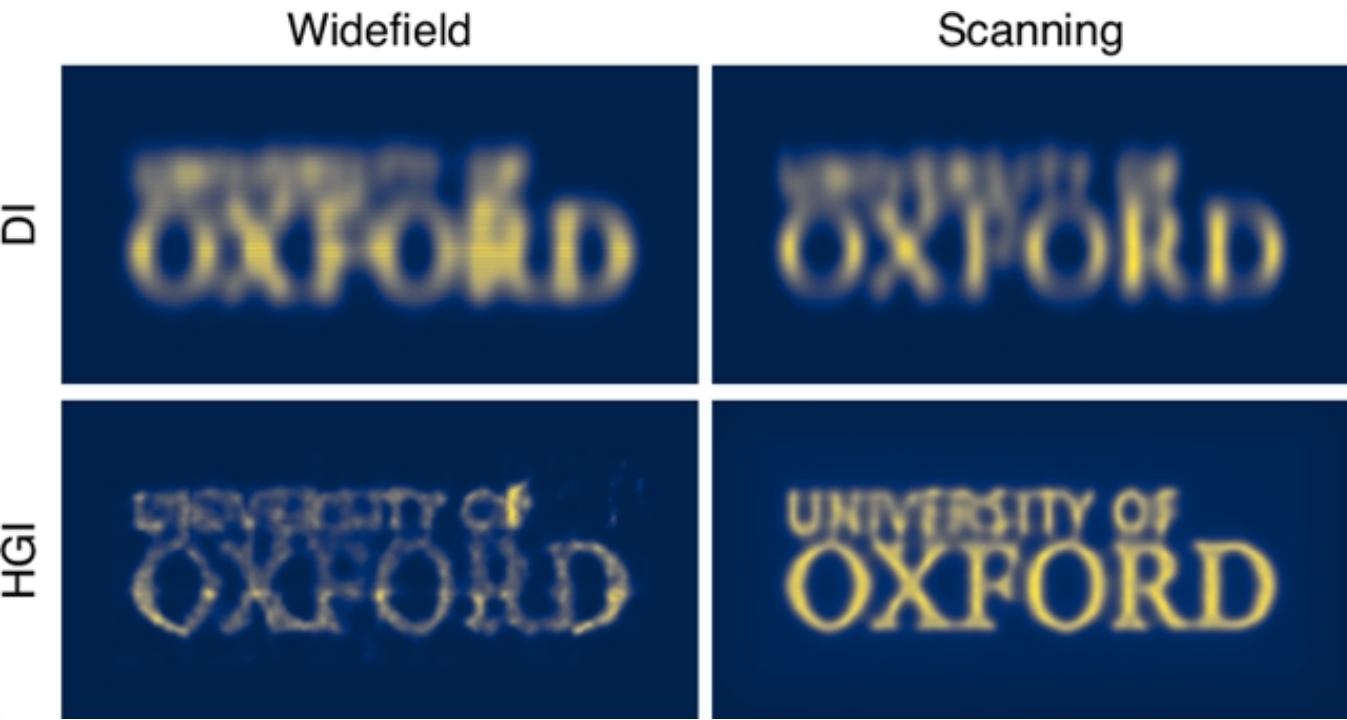


图3. 在宽场和聚焦扫描照明下，使用直接成像（DI）和厄米 - 高斯成像（HGI）对牛津大学校徽进行成像。

研究团队进一步探索了结合技术在图像后处理方面的表现。通过对成像结果应用Richardson - Lucy（R - L）去卷积算法（见图4、图5），发现扫描HGI在经过处理后，分辨率进一步提升至 28 ± 1 DMD像素（ $0.20 \lambda/\text{NA}$ ），相较于宽场DI几乎实现了四倍的提升。这一结果表明，HGI与ISM的结合不仅在原始成像阶段能够提高分辨率和图像质量，而且为后续的图像后处理提供了更优质的基础，有助于挖掘更多图像细节，为光学成像技术的发展提供了新的方向和可能性。

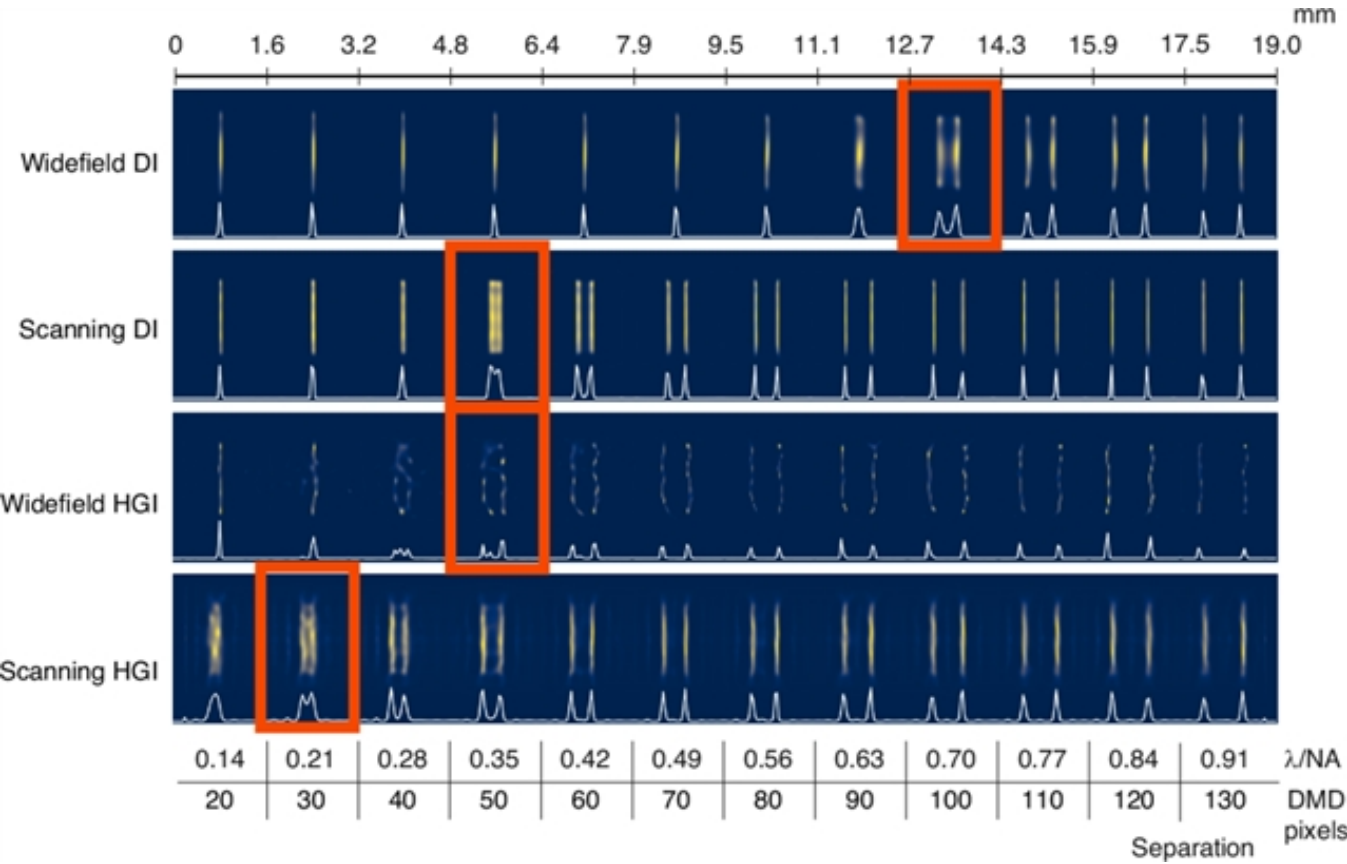


图4. 对在宽场和聚焦扫描照明下通过直接成像（DI）和厄米 - 高斯成像（HGI）获得的间距逐渐变化的线对图像应用 Richardson - Lucy（R - L）去卷积。白线表示线对在任意强度单位下的一维轮廓。



图5. 对在宽场和聚焦扫描照明下通过直接成像（DI）和厄米-高斯成像（HGI）获得的牛津大学校徽图像应用 Richardson-Lucy（R-L）去卷积。

总结与展望

团队研究成功将Tsang的成像方法与图像扫描显微镜技术相结合，通过理论分析和实验验证，展示了这种结合方法在提升成像分辨率和图像质量方面的显著优势。实验结果表明，相较于单独使用HGI或ISM，二者结合后的扫描HGI在横向分辨率上有明显提升，对不同样本成像时均能获得更清晰的图像。同时，研究还发现扫描HGI在图像后处理（如应用Richardson - Lucy去卷积算法）后，分辨率可进一步提高，这为光学成像技术提供了新的发展思路和方法，深化了人们对光学成像分辨率提升机制的理解，在基础研究和实际应用方面都具有重要意义。

展望未来，该研究成果在多个方向上具有广阔的探索空间。在技术优化方面，需进一步改进HGI中测量光学场的方式，当前研究采用的外差检测效率较低，未来可借助数字全息技术或开发更高效的被动模式分选器来提高测量效率，降低噪声影响。在应用拓展上，可尝试将该方法应用于微观样本成像，通过高数值孔径物镜对生物样本等进行成像研究，但在此过程中，训练用于HGI快照重建的神经网络是一大挑战，需要获取高质量的训练集以提升重建精度。此外，结合其他分辨率增强方法与HGI和ISM，有望进一步突破光学分辨率极限，为多领域的微观研究提供更强大的成像技术支持，推动相关领域的发展。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01791-4>

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事宜，请与我们联系。

作者：Alexander Duplinskiy 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