
L2-CPI：具有任意视场的高分辨率计算相位成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41440.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！

L2-CPI：具有任意视场的高分辨率计算相位成像。 导读

近期，华中科技大学机械科学与工程学院朱金龙教授团队在Light: Advanced Manufacturing发表了题为L2-CPI: High-Resolution Computational Phase Imaging with an Arbitrary Field of View的研究论文。

该研究提出了一种名为横向线扫描计算相位成像（L2-CPI）的新型计算成像架构，攻克了光学相位成像中高分辨率与大视场不可兼得的长期矛盾。研究团队融合了创新的像素化数据采集策略、水平相移技术以及稳健的相位重建算法，实现了在不牺牲光学分辨率的前提下，获取理论上任意大的等效视场。该项工作不仅为动态环境下的超大视场相位成像建立了新范式，更在半导体检测、生物成像及微纳制造等领域展现出巨大的应用潜力。

光学相位成像能够捕捉光场中比强度更丰富的多维信息，是生物成像、晶圆检测和材料测量等领域的强力工具。然而，传统基于显微镜的定量相位成像（QPI）技术始终受困于物镜的物理极限：若要追求高分辨率，视场（FOV）必然狭窄；若要扩大视场，则不得不牺牲分辨率。

目前工业界常用的解决方案是步进扫描与图像拼接，即分块拍摄多张高分辨率照片再通过软件合成。但这种方法不仅耗时，还极易产生拼接错位和相位参考失调（即近端误差）。为了提升成像速度和精度，科学界一直在寻找一种能够在动态扫描过程中直接实现连续、无

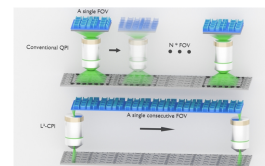


图1：横向线扫描计算相位成像与传统QPI技术对比图

图源：华中科技大学

研究团队研发的L2-CPI系统，核心在于将样品的侧向扫描运动与相位提取过程巧妙结合。

一、打破视场极限的成像架构

通过特殊的Linnik干涉配置，L2-CPI使参考光束相对于光轴倾斜微小角度，从而在扫描方向上引入连续变化的相移。这意味着样品的平移运动本身就在制造相位信息。实验证明，该系统的等效视场长度仅取决于扫描台的行程，理论上可实现任意大的连续成像区域，同时保持衍射极限级别的光学分辨率。

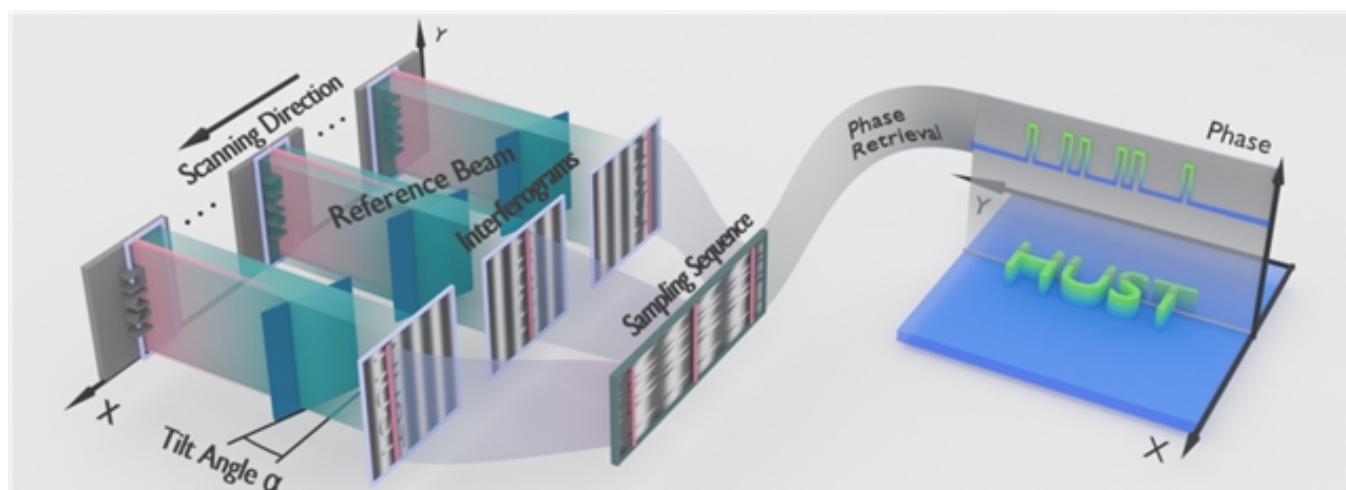


图2：横向线扫描计算相位成像原理图

图源：华中科技大学

二、稳健的算法与动态补偿系统

针对扫描过程中不可避免的机械振动（如倾斜和偏航误差），团队开发了一套动态补偿系统（DCS）。该系统利用高速线阵相机实时捕捉干涉条纹的偏移，并通过压电致动器进行毫秒级的反馈补偿。此外，团队引入了快速三参数余弦拟合算法，利用大量数据点进行相位检索，其抗噪能力远超传统的7步相移法的同时，也具有极快的求解速度。稳健的相位恢复算法确保了在运动状态下依然能获得极高的测量精度。

三、高通量、无盲区的晶圆缺陷检测

针对半导体工业对纳米级精度与大尺寸覆盖的严苛需求，该研究展现了L2-CPI技术在晶圆检测领域的巨大应用潜力。通过将高分辨率相位成像与连续扫描架构结合，该系统在检测关键尺寸远小于衍射极限的典型逻辑电路图案时，不仅能准确获取超大行程的连续三维形貌，更彻底消除了传统分块拼接成像中的边缘错位和漏检风险。实验证明，L2-CPI对桥连（bridge）与断路（cutting）等亚波长尺度缺陷具有极高的捕获灵敏度，能够精准探测出强度成像难以识别的微小形貌异常。事实上，无论是高反射的金属层还是半透明的结构，该技术均能提供无损、高通量的全景式检测，为半导体生产线提供了一种兼顾效率与精度的质量控制新利器。

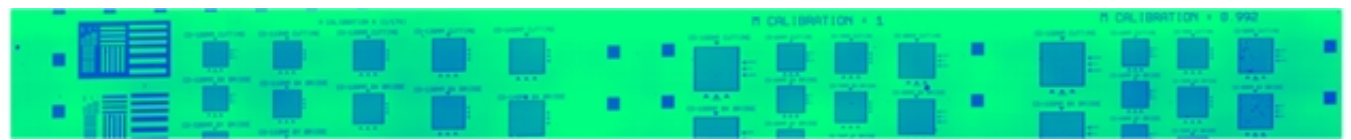


图3：L2-CPI 对含缺陷晶圆的全场相位成像

图源：华中科技大学

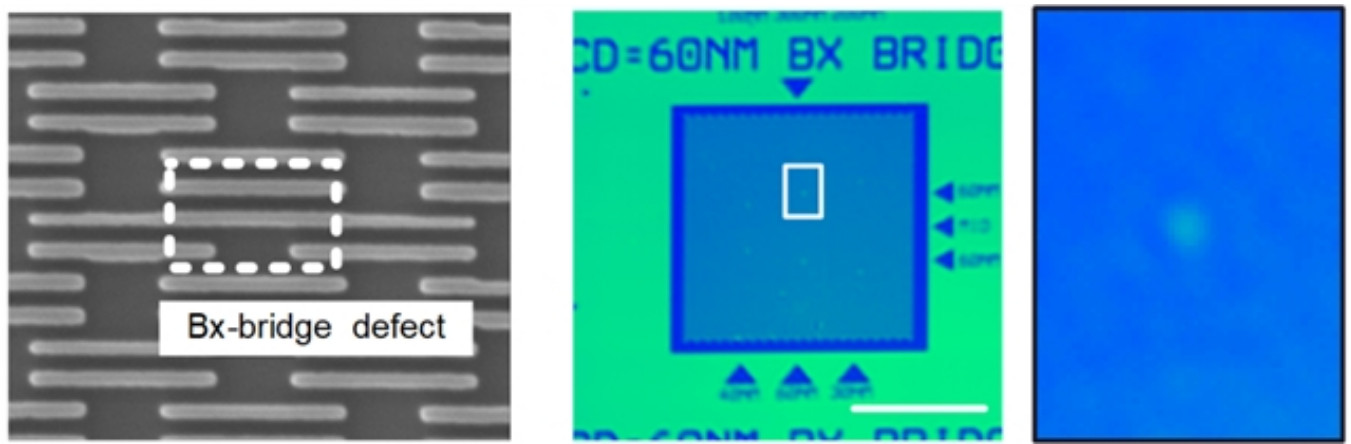


图5：L2-CPI 对桥接缺陷的检测效果

图源：华中科技大学

四、总结与展望

该研究从底层的光学成像原理出发，将传统的静态相位成像推向了动态连续扫描的新高度。L2-CPI不仅解决了分辨率与视场的冲突，更通过近无误差的成像方式提升了大规模测量的可靠性。未来，随着高速相机和超精密扫描台的进一步升级，该技术的检测速度有望再提升数个数量级。正如显微镜为人类打开了微观世界的大门，L2-CPI则为这扇大门装上了全景镜头，让高精度的微纳检测从局部的特写变为全局的透视，为半导体精密检测和生命科学研究提供强大的技术支撑。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2026.020>

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：朱金龙等 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