
超快多维成像：同时测量坐标数破千

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22412.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！

超快多维成像：同时测量坐标数破千。 近日，来自韩国科学技术院的Jungwon Kim团队，通过利用频率梳的电光采样，展示了一种能够同时测量超过1000个空间坐标的飞时变化的相机。这一研究成果能够对三维设备中的复杂结构和动力学过程进行精确而快速的成像，具有极高的研究与应用价值。

该文章发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Massively parallel electro-optic sampling of space-encoded optical pulses for ultrafast multidimensional imaging，Yongjin Na为论文的第一作者。

光学成像和测量技术在现代科学技术中至关重要，其应用范围及其广泛，诸如振动模式测量，体内生物医学成像和自动驾驶技术等技术的发展，都离不开光学成像和测量技术的进步。尤其是快速准确地实现对微米和纳米级设备的表面轮廓的成像，对研究这类设备的静态和动态属性起着关键性作用。

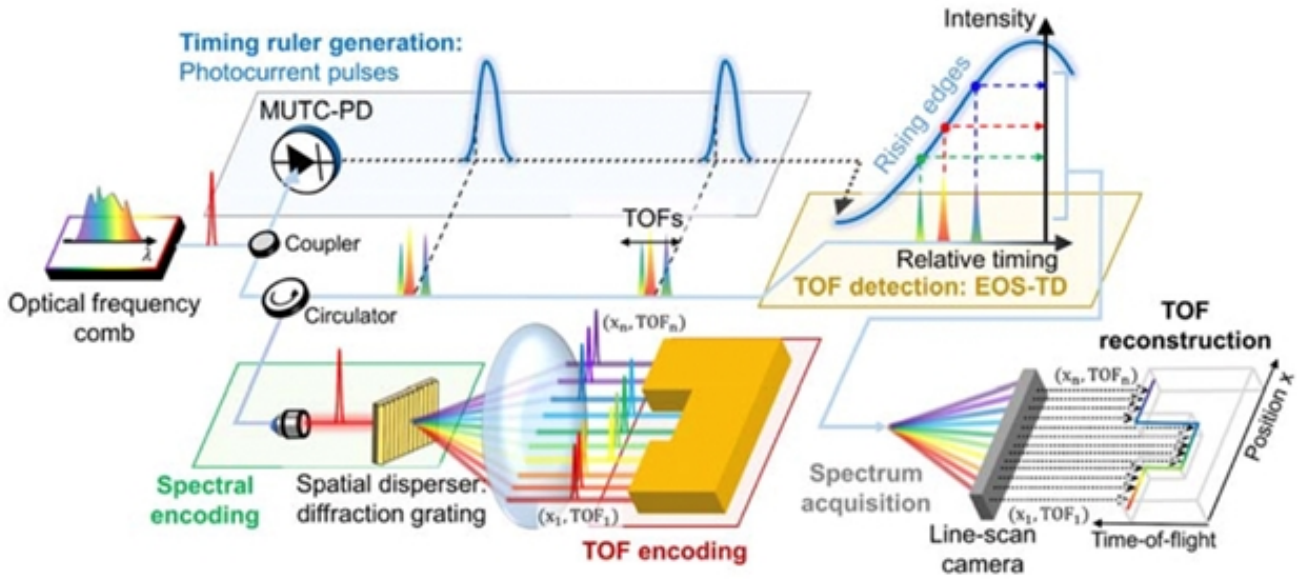
在静态属性方面，在越来越大的晶圆面积上进行更高动态范围和更高数据量的尺寸测量对半导体工业愈发重要。到目前为止，已经使用了使用干涉测量法和共聚焦显微镜来实现对表面的测量，但是，这些方法在测量范围(通常小于几微米)和速度(通常需要数百秒来完成成像)方面都仍然具有相当的局限性。

而在动态特性方面，准确表征微和纳米机械设备中的振动和动态行为对于理解基础物理学和推进其应用至关重要。尤其是新近被发现的各种非线性、瞬态和复杂的机械动力学，例如微米和纳米机械谐振器中的非谐振动、脉冲光机械等等，都需要具有更精细的轴向和横向分辨率、更高速度和更高动态范围的实时表面变形成像。在这一问题上，相干干涉仪和白光干涉仪因其纳米级的轴向分辨率和可靠性而被广泛使用。但是，这些技术也存在亚微米的模糊范围和低动态成像的速率等局限性。

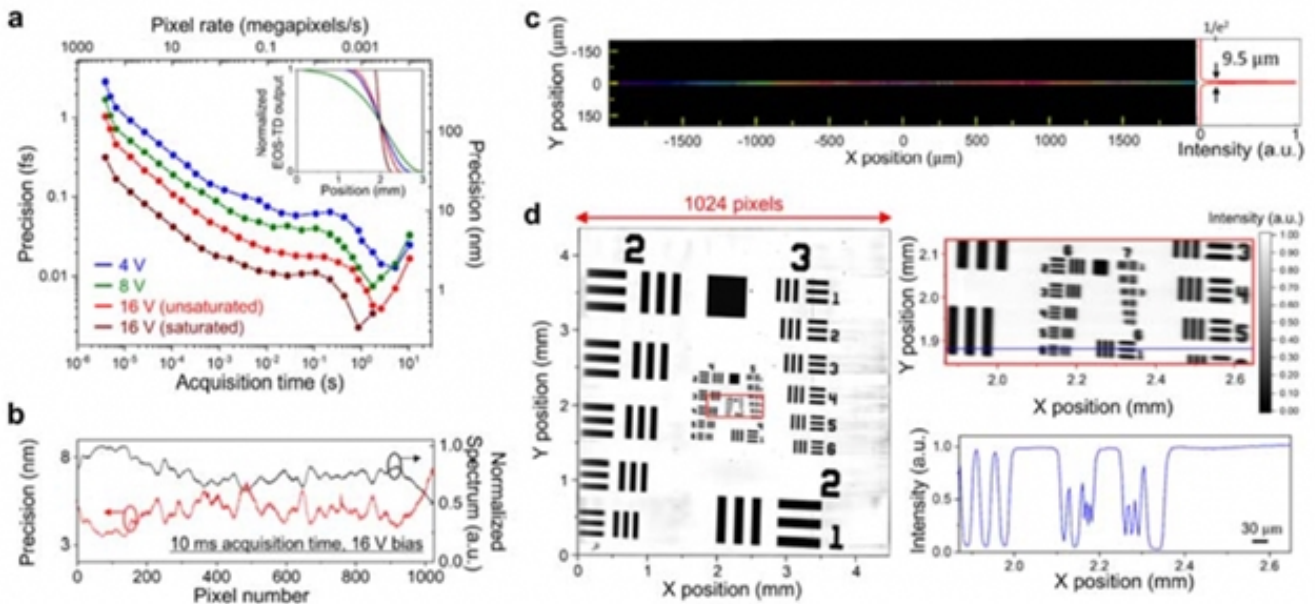
因此，无论是静态还是动态的微观表面成像，都存在着成像质量和速率上的缺陷，如果能解决这个问题，无疑能让光学测量技术以及微机械技术向前迈进可观的一步。

在本研究中，研究人员搭建了一种基于电光采样的新型线扫描飞行时间 (TOF) 成像技术，能够捕捉具有高动态范围的微型设备的静态和动态特性(图一)。该方法能够实现高像素率(高达 260 兆像素/秒)、高轴向分辨率(低至 330 pm)(图二，图三)和高动态范围(高达126dB)(图四)，并且能够同时检测数毫米视场(FOV)上超过1000 个空间坐标的TOF变化范围。这种前所未有的性能优势不仅可以在不需要太多先验知识的情况下对复杂结构进行快速和精确的成像，还可以实时观察微

型设备和机械谐振器中快速和非重复的机械运动，对微测量领域的发展具有极其重要的意义。

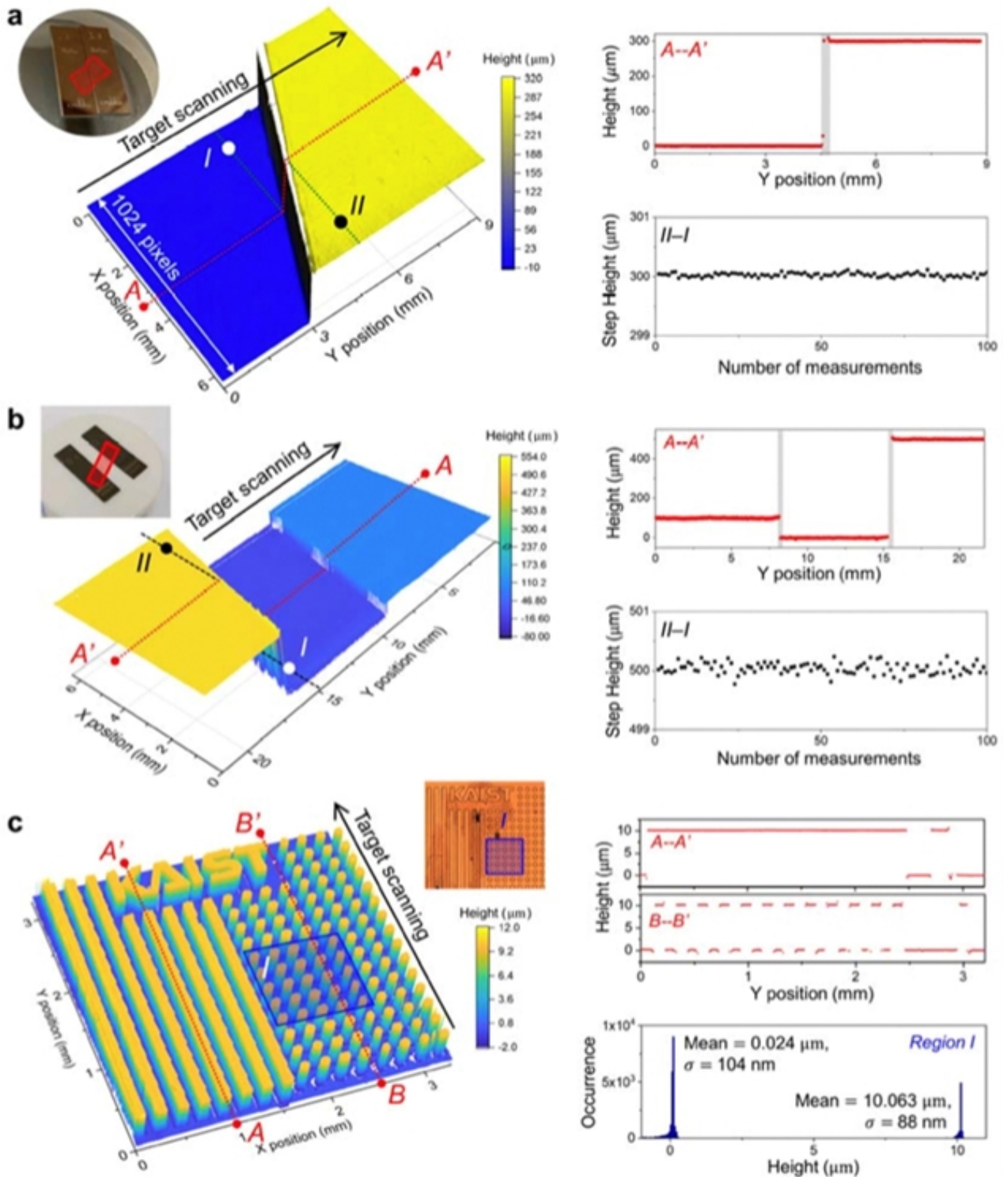


图一：基于电光采样的线扫描TOF相机的工作原理。将锁模Er-光纤振荡器作为光学频率梳的源。使用MUTC光电二极管生成的超低抖动光电流脉冲，来生成时间尺。在目标成像过程中，光脉冲被扩展，并进行谱色散以实现空间-波长编码。从目标物体反射后，TOF编码的子脉冲被收集并在EOS-TD中进行TOF到强度的转换。最后使用线扫描相机分析EOS-TD输出光谱，以同时重建超过1000个空间点的TOF信息。



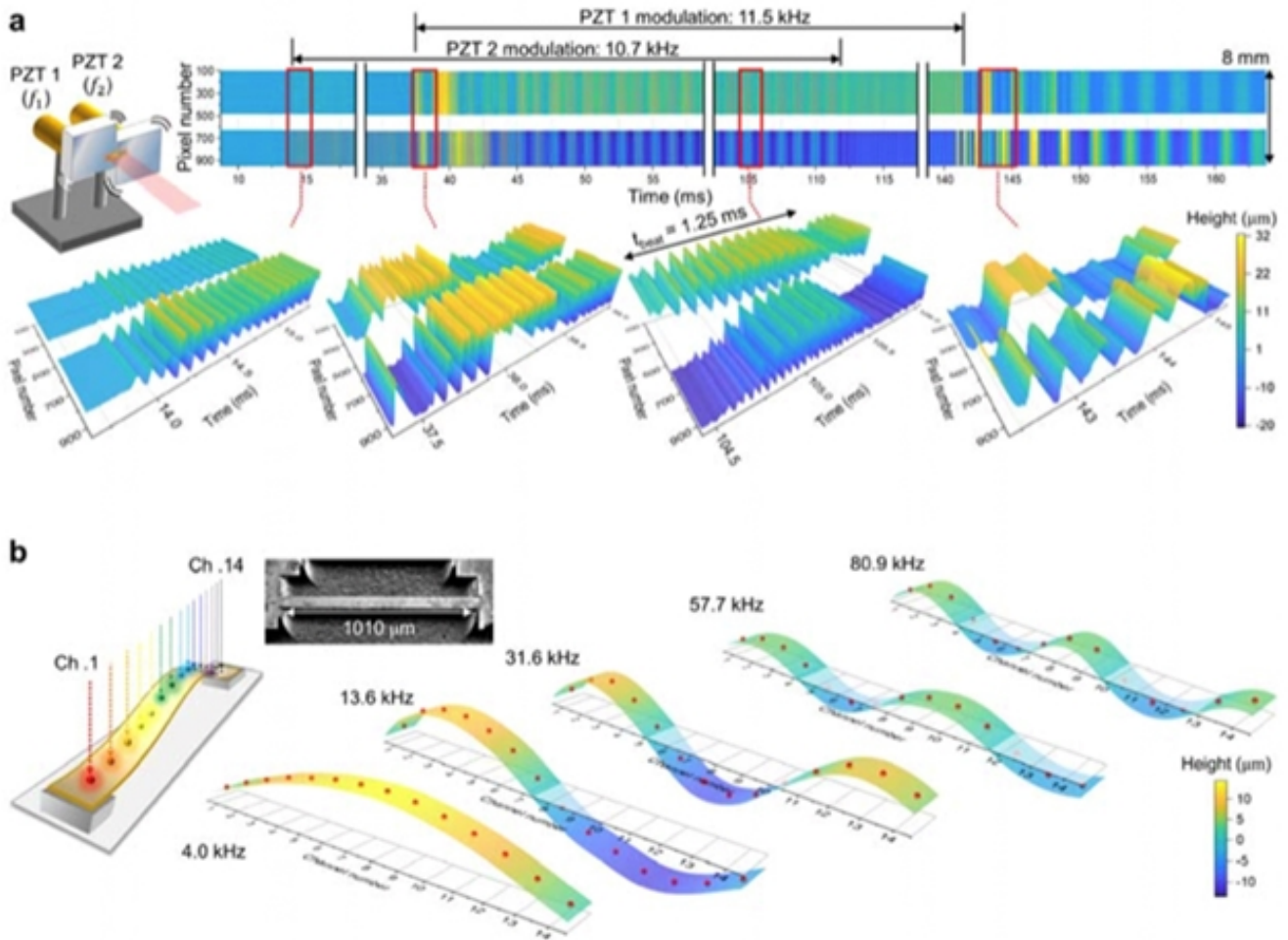
图二：线扫描TOF方法的轴向和横向分辨率的分析。(a) 对TOF精度的测量，重叠艾伦偏差(overlapping Allan deviation)关于采集时间的函数。图中展示了4 V、8 V和16 V(不饱和和饱和相机条件)的三个MUTC光电二极管偏置电压。插图：相对于光脉冲和光电流脉冲上升沿之间的相对时间的归一化EOS-

TD 输出，展示了4 V、8 V 和 16 V(不饱和)和 16 V(饱和)偏置电压的可测量范围分别为 3 毫米、1.6 毫米、1.2 毫米和 0.4 毫米。(b) 在10 ms采集时间(16 V 偏压，不饱和相机)每个像素位置的TOF 精度测量。(c)以30毫米焦距聚焦时测得的光束轮廓。(d) 分辨率目标的显微成像。右上图中显示了第6组和第7组的放大图像(左侧图中的红色框)。如单线扫描轨迹所示，第6组中元素 6 的三个条具有约23%的对比度，从而产生约 114 lp/mm($4.38 \mu\text{m}$)的横向分辨率。



图三：3D表面轮廓成像结果。(a) 相同材料(碳化铬)的两个量块的表面轮廓成像。如从点A到A'的横截面图所示，可以清楚地测量到300 μm的台阶高度。灰色区域表示量块的边缘，由于来自两个表面的反射，TOF在此处具有模糊性。台阶高度(点I和II之间)确定为 300.029 μm，重复误差(在100 μs采集时间下100次连续测量的标准偏差值)为 31 nm，与校准干涉仪结果的误差为 +31 nm。(b)

不同材料组装成像结果;附在陶瓷光学平面上的两个钢量块。测得的500 μm 阶高 (II - I) 具有93 nm 的重复误差(100 μs 采集时间)和校准干涉仪结果的-22 nm 误差。(c) 复杂周期结构的表面轮廓成像(涂有100 纳米厚的银的硅样品)。一对 $f = 60\text{ mm}$ 镜头用于得到更好的空间分辨率。区域 I 中TOF点的直方图展示了10.039 μm 平均高度差, 与共聚焦显微镜结果相比有-14 nm 误差。插图: 样品的显微图像 (2.5X)。



图四：动态成像结果。(a) 两个附有PZT的镜子之间的相互作用。 $f = 75\text{ mm}$ 镜头用于约10 mm的水平FOV。两个PZT的驱动持续时间约为100毫秒，延迟约为25毫秒。下方的图依次显示了调制开始、相互作用瞬态、稳态和调制结束时重建的TOF迹线。(b) 对MEMS 桥弯曲模态形状的实时观察。14 束光束尺寸约为 $8\ \mu\text{m}$ ，FOV约为 $880\ \mu\text{m}$ 的光束沿桥的长边入射。测量了前五个弯曲模式(从4.0 kHz 到80.9 kHz)的共振运动。14 个局部位置的TOF用红点表示，点之间的TOF曲线是用样条法插值的。插图中展示扫描电子显微镜的成像结果。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Efficient dispersion modeling in optical multimode fiber，Szu-Yu Lee为论文的第一作者，Martin Villiger教授为论文的通讯作者。(来源：LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01077-7>

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：Martin Villiger 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](http://www.iikx.com)转发