

MS23

CCTAM2009-003386

## 显微干涉法在微结构三维形貌测试中的应用

孙伟\*, 何小元†

\* 南京航空航天大学航空宇航学院, 南京 210016

nancysun@nuaa.edu.cn

† 南京东南大学土木工程学院, 南京 210016

鉴于三维形貌在微结构测试领域的重要地位及显微干涉法在光学计量领域的高精度性能, 开展了显微干涉法在微结构三维形貌测试中的应用研究。基于小波变换极高的去噪性能及处理无载波条纹的优点, 包裹相位采用连续小波变换的方法提取。基于展开相位拐点与符号歧义点的单应性, 开展了通过检测展开相位拐点并对展开相位进行校正的方法恢复非单调条纹图的真实相位的研究。采用上述方法, 成功测试了微梁的静、动态三维形貌及手机芯片的翘曲变形。该项研究为 MEMS 结构的三维形貌测试提供了高精度且简单快速的测量手段。由于在采用 CWT 提取包裹相位的过程中, 小波变换只是在正尺度方向展开, 即未考虑条纹的负频谱, 故展开相位呈单调分布。而非单调条纹图的理论相位分布应呈波峰(谷)状。由文献可知, 非单调条纹图的包裹相位中存在一反演点, 由此造成相位符号歧义。通过识别这一反演点, 保持反演点左边的相位符号不变, 右边的符号全部取反, 并对校正过符号后的包裹相位图展开, 即可得到真实的相位。因此反演点的识别成为非单调条纹图相位恢复的关键。通过理论推导, 我们可以证明符号校正前的展开相位图中的拐点即为该反演点。拐点可通过求解展开相位二阶导数的过零点或一阶导数的局部最大值来识别。检测到拐点之后, 将连续相位在拐点右半部分的数值全部对折, 即可恢复真实的相位分布。由于通过离散的相位值求导, 尤其是高阶导数, 将引入较大的误差, 因此本文采用判别连续相位一阶导数局部最大值的方法来识别拐点。显微干涉仪是显微镜和干涉系统相结合的产物, 与其它光学干涉技术相比, 它具有表面信息直观、测量精度高和全视场三维测量等优点。在本文构建的基于显微干涉法的 MEMS 结构三维静、动态测试系统中, 选用了 Nikon 公司的 Mirau 显微干涉仪, 放大倍数  $10\times$ , 数值孔径 0.3, 工作距离  $7.4\text{m}$ , 视场范围  $640\mu\text{m}\times 480\mu\text{m}$ 。本实验测试的微梁结构长、宽、厚分别为  $300\mu\text{m}$ ,  $12\mu\text{m}$  和  $2\mu\text{m}$ 。试件放置于三维精密移动台上。白光光源通过光纤照明整个测试系统, 采用滤光片获取波长为  $632.8\text{nm}$  的单色相干光源, 建立 Mirau 干涉系统。本文采用静电驱动的方式对微梁做动态测试实验, 所用电压峰峰值为  $10\text{V}$ , 驱动频率为  $2\text{Hz}$ 。采用高速摄像机实时采集干涉条纹图, 采样频率为  $1000\text{f/s}$ 。采用本文算法对均值滤波后的条纹图进行运算, 并对得到的粗糙尺度作平滑处理, 即可恢复条纹图的真实相位。将相位值转换成相应的高度数值, 即可得到梁轴线中轴面的动态三维形貌如图所示。国家自然科学基金(10772086, 10727201)资助项目。

关键词: 显微干涉法, 微结构, 三维形貌, 微梁, 手机芯片

MS23

CCTAM2009-003387

## 一种新型压电作动器的研究

张治君, 徐明龙, 冯勃

西安交通大学航天航空学院强度与振动教育部重点实验室, 西安 710049

基于蠕动式运动原理研制了一种新型双向变步长的大位移压电作动器, 并设计了含有高电压驱动装置的实验系统。建立了作动器的动力学模型, 通过实验确定了相关动力学参数。采用 MATLAB Simulink 软件对作动器的动力学特性进行了仿真计算, 仿真分析结果和实验测试结果吻合良好。国防科工委民用航天预研资助项目(C4120061315)。

关键词: 蠕动, 变步长, 大位移, 压电作动器

MS23

CCTAM2009-003388

## 仪器化纳米压入测试技术的应用及其标准化

张泰华

中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190, zhangth@lnm.imech.ac.cn

第 1 部分, 介绍纳米压入仪的工作原理、力学测试参量、影响测试的若干因素及其典型应用的情况。此类仪器采用压入深度测量原理, 不同于传统的硬度测试, 可以进行弹性模量和硬度的测试。通过分析影响测试的若干因素, 介绍该类仪器在微/纳米力学测试中所涉及的科学问题。最后, 简要介绍该技术在先进材料、表面工程、微机电系统、生物等领域中微/纳米力学检测的典型应用。

第 2 部分, 介绍组织国内外纳米压入循环比对试验的结果。为了解国内仪器的使用情况, 2007 年至 2008 年组织了较大规模的纳米压入定值和比对试验。根据弹性模量的大小, 选择了 4 种比对样品, 进口和国产熔融石英、钢、钨。采用超声法确定弹性模量, 定值单位 5 家。参加比对的实验室, 国内有 10 家, 国外仪器制造商 2 家。经分析, 压头面积函数的修正和压入零点的确定是影响各实验室之间数据再现性和可靠性的主要因素。

第 3 部分, 介绍仪器化纳米压入测试技术的标准化进展情况。从 2005 年开始, 中科院力学所和宝钢研究院通力合作, 着手相关国家标准制定的准备工作。2007 年, 全国纳米技术标准化技术委员会批准成立了纳米压入与划入技术标准化工作组(SAC/TC279/WG4)。负责纳米压入、纳米划入等有关纳米力学检测技术国家标准的规划和制定工作。目前, 制定的国家标准《仪器化纳米压入试验方法通则》, 2008 年 10 月 29 日发布, 2009 年 5 月 1 日实施。正在起草的国家标准有“薄膜或涂层的仪器化纳米压入试验方法”(20078463-T-491)。同时, 协助宝钢完成了纳米压入国家标准样品(熔融石英、钢、钨)的研制工作。国家自然科学基金(10872200)资助项目。

关键词: 仪器化纳米压入, 力学测试, 循环比对, 国家标准