

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01N 3/38 (2006.01)



[12] 实用新型专利说明书

专利号 ZL 200820012477.1

[45] 授权公告日 2009年3月25日

[11] 授权公告号 CN 201212871Y

[22] 申请日 2008.4.30

[21] 申请号 200820012477.1

[73] 专利权人 中国科学院金属研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路72号

[72] 发明人 张广平 朱晓飞 张滨

[74] 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司
代理人 张志伟

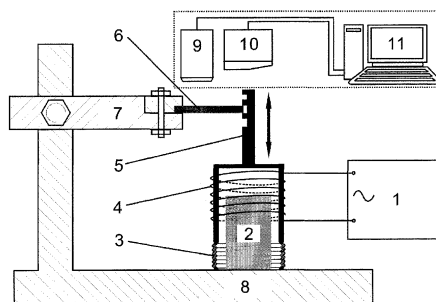
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

[54] 实用新型名称

薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统

[57] 摘要

本实用新型涉及一种薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统，解决常规测试系统施加载荷精度不够、试样夹持方法不当等问题。该测试系统由电磁驱动部分、试样夹持部分和测量与观察部分组成，电磁驱动部分由电源、永久磁铁、支撑弹簧、线圈和驱动杆组成，电源与线圈电连接，线圈内侧设置永久磁铁；试样夹持部分由基架和夹持在其上可自由调节的夹具组成，被测试样的一端固定在水平及高度方向可自由调节的夹具上，夹具固定在基架上，试样呈悬臂梁状态，试样的自由端卡入预先加工好的驱动杆上不同规格尺寸的凹槽中；测量与观察部分由计算机、与之相连的激光位移传感器和光学显微镜组成。本实用新型适于对各类薄膜材料的疲劳性能及疲劳裂纹扩展行为进行评价。



1、一种薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统，其特征在于，该测试系统由以下三部分组成：

(1) 电磁驱动部分：由电源、永久磁铁、支撑弹簧、线圈和驱动杆组成，电源与线圈电连接，线圈内侧设置永久磁铁，电源产生的交流信号通入线圈，线圈在永久磁铁所产生的磁场中受到周期性的循环作用力，支撑弹簧的一端固定在基架上，另一端与线圈相连，线圈在循环力的作用下拉、压支撑弹簧，同时带动与线圈相连的驱动杆做往复运动，从而对一端固定、另一端搭载到驱动杆上的悬臂梁试样施加循环弯曲疲劳载荷，驱动杆的上端预先加工成能够适应不同种类薄膜试样尺寸的凹槽；

(2) 试样夹持部分：由基架和夹持在其上可自由调节的夹具组成，被测试样的一端固定在水平及高度方向可自由调节的夹具上，夹具固定在基架上，试样呈悬臂梁状态，试样的自由端卡入预先加工好的驱动杆上不同规格尺寸的凹槽中；

(3) 测量与观察部分：由计算机、与之相连的激光位移传感器和光学显微镜组成，激光位移传感器监测被测试样自由端在测试过程中所发生的位移，并将信号传递给计算机进行记录，与计算机相连的光学显微镜对试样表面形貌进行实时观察与摄录像。

薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统

技术领域

本实用新型涉及小尺度薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统，具体为对各种微/纳电子机械系统（MEMS/NEMS）用有基体支持或无基体支持的薄膜材料、集成电路用金属化互连体箔材料以及各种二维薄板类材料进行动态弯曲疲劳性能测试系统的搭建和疲劳性能的测试与评价。

背景技术

随着微电子器件小型化的进一步发展，具有微米或纳米厚度的有/无基体支持各类单层或多层薄膜材料广泛应用于大规模集成电路互连体布线、磁性存贮介质以及 MEMS/NEMS 用器件等领域。这些器件中所用的薄膜材料在实际工作中经常受到周期性循环载荷的作用而发生疲劳失效，从而影响器件的使用寿命及服役可靠性。例如，在微型射频开关中，具有微米厚度的悬臂梁器件经常受到高频谐振的作用而引起疲劳损伤，微构件中损伤的出现会逐渐改变其响应频率及电阻值等物理参量，从而影响了微传感器及制动器的输出量，甚至导致器件最终失效。因此，测试薄膜类材料在循环载荷、尤其是在动态弯曲疲劳载荷作用下的疲劳性能，揭示其疲劳损伤机制，对薄膜材料器件的使用寿命进行正确评价具有非常重要的理论研究意义和实际应用价值。

然而，当薄膜材料的厚度小到微米甚至纳米尺度时，适用于常规块体材料的诸多力学性能测试系统和测试方法已经无法满足这类小尺度材料性能测试的要求，如施加载荷精度不够、试样夹持方法不当等等。国内外相关领域的学者尝试设计和采用了各种精巧的实验手段对各类薄膜材料进行力学性能测试和评价，例如采用纳米压痕仪对悬臂梁试样进行动态弯曲实验，但由于试样制备方法复杂、造价昂贵、测试效率较低且对被测薄膜材料体系有特殊要求而无法被广泛采用。因此，开发新的、适用于薄膜与小尺度材料的疲劳实验系统及性能测试方法至关重要。

实用新型内容

本实用新型的目的在于提供一种小尺度薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统，解决常规测试系统施加载荷精度不够、试样夹持方法不当等问题。该系统具有测试精度高、对样品制备要求相对较低、可以对试样施加疲劳载荷类型变化多样、加载频域宽、可以对悬臂梁试样自由端的位移进行连续实时监测等优点。

本实用新型的技术方案是：

一种小尺度薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统和测试方法，该测试系统由三部分组成：

(1) 电磁驱动部分。由电源、永久磁铁、支撑弹簧、线圈和驱动杆组成。电源与线圈电连接，线圈内侧设置永久磁铁，电源产生的交流信号通入线圈，线圈在永久磁铁所产生的磁场中受到周期性的循环作用力，支撑弹簧的一端固定在基架上，另一端与线圈相连，线圈在循环力的作用下拉、压支撑弹簧，同时带动与线圈相连的驱动杆做往复运动，从而对一端固定、另一端搭载到驱动杆上的悬臂梁试样施加循环弯曲疲劳载荷，驱动杆的上端预先加工成能够适应不同种类薄膜试样尺寸的凹槽；

(2) 试样夹持部分。由基架和夹持在其上可自由调节的夹具组成，试样的一端通过夹具固定在基架上，试样呈悬臂梁状态，其自由端卡入预先加工好的驱动杆上不同规格尺寸的凹槽中；

(3) 测量与观察部分。由计算机、与之相连的激光位移传感器和光学显微镜组成，激光位移传感器对试样自由端的位移进行实时监测，并将信号传递给计算机进行记录，与计算机相连的光学显微镜对试样表面形貌进行实时观察与摄录像。

本实用新型薄膜材料的动态弯曲疲劳性能测试方法，利用上述测试系统，具体测试步骤如下：(1) 调节可动夹具的夹头高度，使其与符合样品尺寸要求的驱动杆上凹槽在同一水平高度；(2) 将试样一端固定在夹具上，另一端卡入驱动杆相应的凹槽中；(3) 将电源产生的交流信号输入线圈；(4) 利用通交流电的线圈在永久磁铁产生的磁场中受到周期性往复作用力来带动悬臂梁试样自由端振动，从而测试试样的疲劳性能。(5) 激光位移传感器对试样自由端位移进行实时监测，光学显微镜对试样在疲劳载荷作用下

的表面形貌变化进行实时观察与摄录像，采集到的位移与图像信息由计算机进行存储。

本实用新型所测试的薄膜材料为通过各种目前已知方法制备的有基体支持或无基体支持的单层或多层薄膜、箔类、二维薄板类材料等。

本实用新型对薄膜材料所施加的载荷频率为 0.01 Hz~1000 Hz。

本实用新型所述的小尺度薄膜材料是指各种在厚度方向上具有微米、亚微米以及纳米尺度的无基体支持或有基体支持的薄膜、箔类以及各种薄板类材料。

本实用新型的特点在于：

1、本实用新型所设计的动态弯曲疲劳性能测试系统可以对各种具有一维（厚度）方向上尺寸小的薄膜、箔及薄板状材料进行疲劳性能测试，对被测试样制备没有特殊要求，只要加工成薄板状试样即可。

2、本实用新型测试系统可以对小尺度试样施加微小疲劳载荷，可以达到目前已知的材料疲劳性能测试系统很难达到的毫牛顿量级的载荷测试精度。

3、本实用新型测试方法对于薄膜类小尺度试样夹持方法没有特殊要求，试样夹持简便快捷。

4、本实用新型测试系统可对被测试样施加不同频率与波形的交变载荷，施载频率范围宽。

5、本实用新型所搭建的薄膜材料疲劳性能测试系统在测试过程中可以对被测试样中疲劳裂纹扩展行为进行实时观测与分析。

6、本实用新型所设计的动态弯曲疲劳实验系统实施测试时简单易行，整套装置造价低廉，尤其适用于微悬臂梁类微小构件及材料。

7、本实用新型对被测试样制备没有特殊要求，只要加工成二维薄板类样品即可。

附图说明

图 1 为小尺度薄膜材料动态弯曲疲劳性能测试系统的示意图。

图中，1 电源；2 永久磁铁；3 支撑弹簧；4 线圈；5 驱动杆；6 试样；7 夹具；8 基架；9 激光位移传感器；10 光学显微镜；11 计算机。

具体实施方式

下面结合附图和实施例详述本实用新型。

如图 1 所示整个测试系统由三部分组成：

(1) 电磁驱动部分；(2) 试样夹持部分；(3) 测量与观察部分。

(1) 电磁驱动部分包括电源 1、永久磁铁 2、支撑弹簧 3、线圈 4 和驱动杆 5。电源 1 与线圈 4 电连接，线圈 4 内侧设置永久磁铁 2。将电源 1 所产生的交流信号通入线圈 4，线圈 4 在永久磁铁 2 所产生的磁场中受到周期性的循环作用力，支撑弹簧 3 的一端固定在基架 8 上，另一端与线圈 4 相连，线圈 4 在循环力的作用下拉、压支撑弹簧 3，同时带动与线圈 4 相连的驱动杆 5 做往复运动。驱动杆 5 的上端预先加工成能够适应不同种类薄膜试样尺寸的凹槽。

(2) 试样夹持部分由基架 8 和夹持在其上可自由调节的夹具 7 组成。被测试样 6 的一端固定在水平及高度方向可自由调节的夹具 7 上，夹具 7 固定在基架 8 上，试样 6 呈悬臂梁状态，试样 6 的自由端卡入预先加工好的驱动杆 5 上不同规格尺寸的凹槽中。安装试样 6 时，首先根据试样厚度和长度将夹具 7 与驱动杆 5 上相应凹槽调节在同一水平高度处，然后将试样 6 一端用夹具 7 固定，自由端卡入驱动杆 5 相应尺寸的凹槽中，形成一个悬臂梁试样。通过驱动杆 5 的往复运动带动悬臂梁试样 6 做循环往复的振动，从而对试样施加周期性循环弯曲疲劳载荷。

(3) 观察与测量部分是由计算机 11、与之相连的激光位移传感器 9 和光学显微镜 10 组成。激光位移传感器 9 可以实时记录悬臂梁试样 6 自由端的位移，通过计算机 11 采集存储而绘制出位移—时间曲线。光学显微镜 10 可以对试样表面形貌进行观察，通过 CCD 探头可以实时记录试样表面形貌演变过程。

实施例 1

本实用新型测试系统原理图如图 1 所示。

采用磁控溅射方法在厚度为 125 μm 的聚酰亚胺基体上制备总厚度为 1 μm 单层厚度均为 500 nm 的 Cu-Ta 双层薄膜。将样品裁切成 12 mm \times 2 mm 的矩形试样作为被测试样。首先调节基架上夹具，使其与试样厚度相应的驱动杆上的凹槽位于同一水平面上，然后将试样的一端固定在夹具上，试样的另一端卡入驱动杆凹槽中。电源产生频率为 100 Hz 的交流电信号输入

线圈中，从而带动驱动杆做周期性的往复运动，驱动试样自由端发生振动。激光位移传感器测得试样自由端振幅为 $760\ \mu\text{m}$ 。经 8.64×10^6 周次疲劳测试后，通过扫描电镜观察发现，试样表面裂纹边缘有明显的滑移现象发生，滑移区域大小可达 3~6 个晶粒尺寸。

实施例 2

利用线切割将厚度为 $180\ \mu\text{m}$ 的轧制态铜箔制成 $8\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$ 的矩形试样作为被测试样。调节基架上夹具，使其与试样厚度相应的驱动杆凹槽在同一水平面上，然后将试样的一端用夹具固定，另一端卡入凹槽中。电源产生频率为 $50\ \text{Hz}$ 的交流电信号输入线圈中，在磁场中线圈带动驱动杆做周期性往复运动，从而驱动试样自由端振动。经 2.57×10^6 周次疲劳加载后，试样发生断裂。扫描电镜观察表明，试样表面有明显的疲劳挤出现象发生。单位面积内的疲劳挤出条带的数量随着距悬臂梁根部距离的增加而减小。疲劳挤出条带与加载轴方向（Loading direction）间夹角为 $45^\circ \sim 70^\circ$ 之间。

实施例的结果表明，本实用新型小尺度薄膜材料的动态弯曲疲劳性能测试系统的建立和测试方法，该系统提供了对各种微/纳电子机械系统（MEMS/NEMS）用有基体支持或无基体支持的薄膜材料、集成电路用金属化互连体箔材料以及各种二维薄板类材料进行动态弯曲疲劳性能测试的功能和测试方法，同时可以对被测试样形貌进行原位的实时监测与分析记录。利用通电线圈在恒定磁场中所受的电磁力驱动悬臂梁试样的自由端相对其平衡位置做往复运动，从而对各类材料试样施加各种类型的循环疲劳载荷，且所施加疲劳载荷的精度可以达到毫牛顿量级。本实用新型结合原位的微观观察及随后的扫描电镜表征，可对各类薄膜材料的疲劳性能及疲劳裂纹扩展行为进行评价。

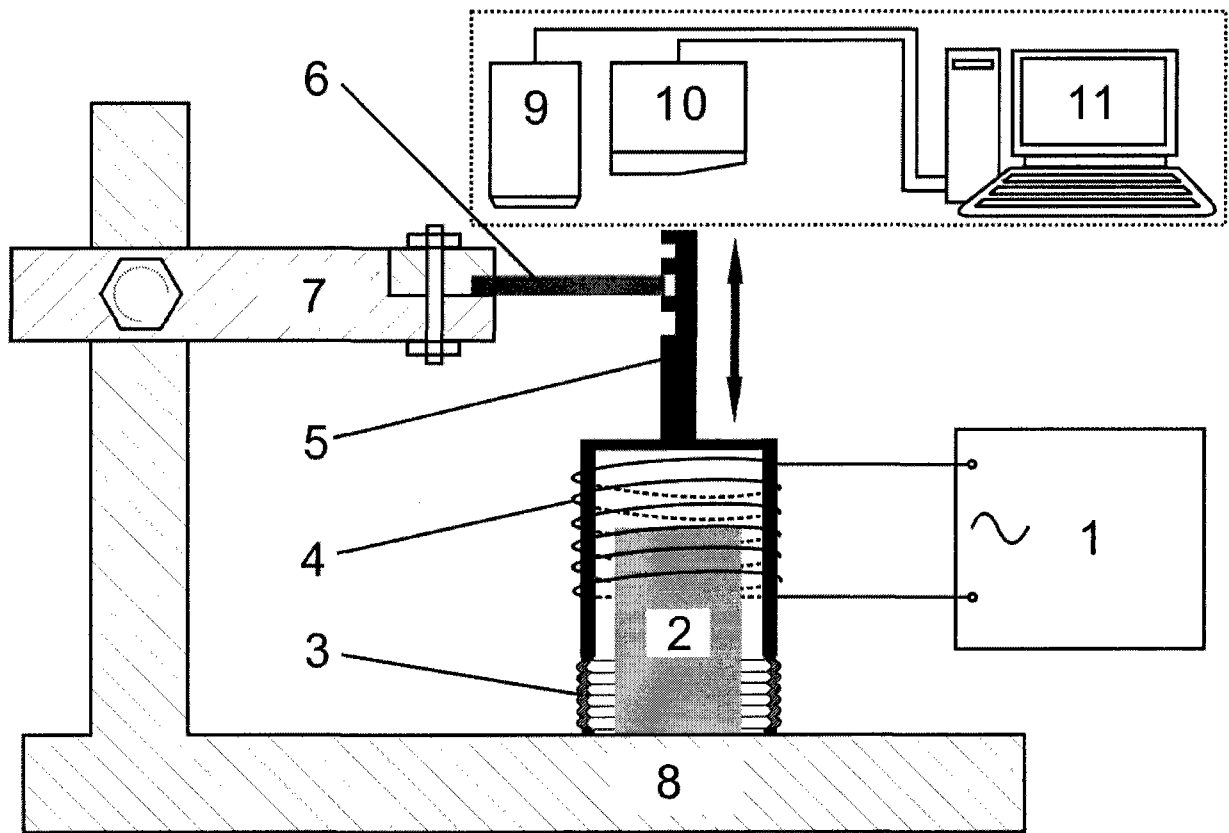


图 1