

从激光多普勒振动仪到激光振动传感器的跨越

众所周知，在机械工程与土木工程领域里，振动特性的测量一直存在着各种问题和挑战。虽然某些振动源自器件或部件本身，但由于外力或设计的容差造成的非正常振动则会导致器件或部件的功能性损坏。因此，振动特性的测量和分析是鉴别和确认机器、部件的质量特性及工作状态的重要测量手段。

对于比较大型的被测物体通常可以安装加速度传感器，利用加速度传感器的电荷输出信号实现加速度-速度-位移的相关测量。然而当测量物体质量比较小，测量环境比较严峻的情况下，新型的非接触式，高精度、实时性的测振技术则扮演了重要角色。其中，基于激光干涉原理的激光多普勒测振技术是目前能够获取最佳位移和速度分辨率的最重要的振动测量方法，已被广泛用于基础科学和工程测量领域。

以德国 Polytec 的激光多普勒振动仪为代表，高端的激光多普勒测振仪具有以下两项主要技术优势：首先，由于这类系统采用激光作为探测手段，完全无附加质量影响，具有非侵入性，从而能够在极小和极轻质的结构上进行测量；其次这类系统已经可以实现微米级/亚微米的振幅分辨率，线性度高，在极高频范围（当前已超过 1GHz）和相当大的测量距离范围内仍能确保振幅测量的一致性。

在工业研究和开发中，激光多普勒测振仪不但在机械工程、声学及其它工程学科和科学领域中用于研究不同物体的动态和声学特性，研究对象包括从汽车车身、飞机部件、各类发动机和建筑物等大型物件到 MEMS 器件和数据硬盘组件等微小物件，甚至可以对发热物体、旋转表面、超声波工具和复杂敏感的结构进行测量。以声学行业测量为例，为了保证所生成的乐器能产生美妙动人的声音，激光多普勒振动仪可以尽早地通过振动测量来评判乐器的声乐品质；激光振动仪还可以对大功率的扬声器中可能产生的有害的振膜共振进行识别；甚至用于更为复杂的声学研究，例如结构声学响应（声场）预测，声学成像和反声音研究等等。

当激光多普勒振动仪在科研及生产中获得越来越广泛的应用时，其成本和价格则逐渐成为拓广其应用的瓶颈。为了顺应市场对激光多普勒振动仪的需求，挚感（苏州）光子科技有限公司（下文简称挚感光子）推出了基于集成光学芯片技术的数字化的小型激光振动传感器系列（参见[“激光位移传感技术解析：工业激光传感新方案”](#)），实现了从昂贵仪器到通用化传感器的跨越。这类小型激光振动传感器采用类似的激光干涉测振设计（见图 1 第一部分），本质上是要求两个源于同一光源的相干光束进行叠加干涉：其中一路光可以视为本地参考光，另一路则为实际测量目标后的回光。光学干涉方法不但可以放大回光的光学信号强度，而且可以通过正交干涉的光路设计直接获得回光信号的光学相位，从而实现相位-速度-加速度的相关测量。

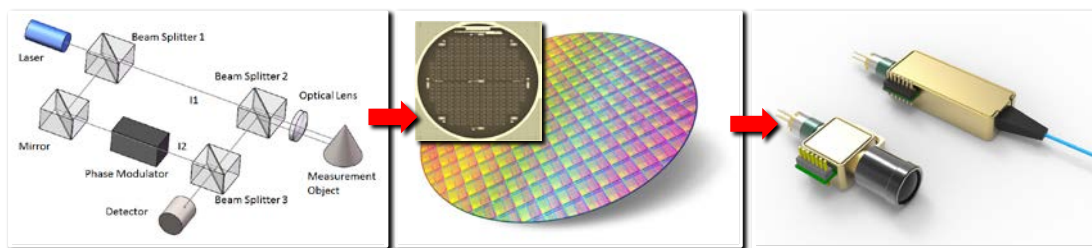


图 1：集成光学实现激光多普勒振动传感器

在具体的产品实现上， 挚感光子将激光干涉仪的关键光学部件完全集成到光学芯片里（见图 1 第二部分）， 并进一步通过混合集成的方式， 将光学芯片、 激光器、 探测器器以及探测用的光学镜头通过一体化的封装集成到一个略等于半个火柴盒大小的模组里。 这一设计不但可以近百倍的减小其体积， 同时大大方便了激光振动传感器的大规模量产， 从而可以成 10 倍的减少其成本， 为激光振动传感器的广泛应用奠定了基础。 除带光学镜头的模组设计外， 还实现了带光纤尾纤的设计， 使得其在应用场景上更加灵活（见图 1 第三部分）。 图 2 则在外观上对比了 Polytec 最小体积工业产线用激光多普勒振动仪于与挚感光子的激光振动传感器。



图 2：尺寸对比： Polyte IVS-500 系列激光多普勒振动仪； 挚感光子 MV-G 系列激光振动传感器模块

为顺应规模性的各类潜在应用， 挚感光子已研发出不同类型的相关产品：

1) 传感模组，

挚感光子的振动传感器模组作为一个完整的参考设计， 即包含了可定制镜头（或光纤）的一体化光学模组， 也包含了配套的驱动电路及内置的相应算法。 图 3 所示的

攀感光子 Optical Audio Sensing Assembly (OASA) 系列远距离振动信号传感器模组，该模组配备了适用于远距离测量的较大口径光学接口及高速采集电路和算法，可作为远距离工作的拾音器来采集 30 米甚至更远距离处背景物上所反应出的音频振动信号。其典型的应用是可以集成到目前已普遍部署的城市监控摄像头里，使得各类摄像头拥有了可以远程拾音的功能。

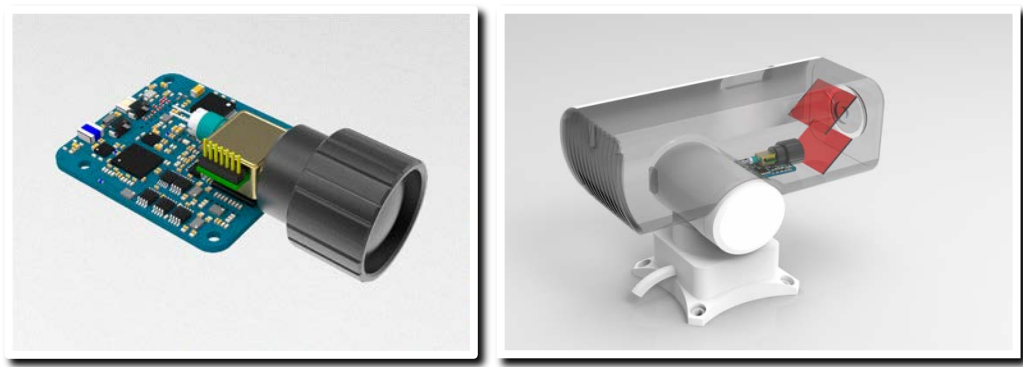


图 3 攀感光子的激光振动传感器模组及典型应用举例

2) 传感器模块

一体化的激光振动传感器模组可以在低成本的基础上，以标准传感器模块的形式应用到大规模工业产线上。图 4 显示了一个典型的传感器设计，小型化的模块上配置有固定的或手动可调的镜头，所有测量的原始数据直接在模块内处理并通过标准的以太网接口将测量结果传到主工控机上，多个传感器也可以直接通过以太网交换机进行组网。这些模块化的振动传感器可以安装在手机产线上，对手机的振动性能（如振铃振动马达的品质、或手机屏幕发声功能的品质）进行在线检测。

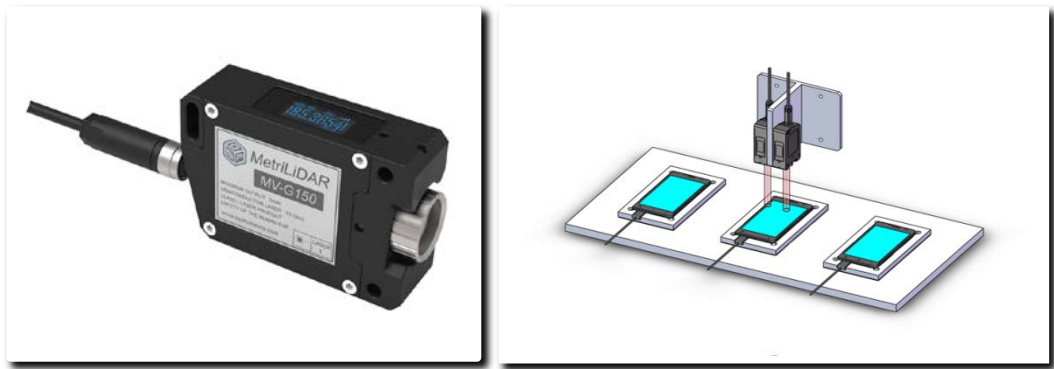


图 4：激光振动传感器模块及手机产线上应用

3) 可快速定制的测量设备

无论是激光振动传感器模组还是组装好的传感器模块，由于其基本测振性能已达到普通设备级的标准，因此也可以通过定制化的设计为客户提供低成本、高性能的特殊振动测量设备。图 5 显示了两种典型的定制化方案： 1) 采用标准的激光振动传感器，与高速振

镜模块配合在一起，实现具有扫描功能的多功能激光振动仪；2)采用光纤式模组组合而成的，可多达 32 通道的多路振动测量系统，每路测量通道都有自己独立的光纤连接式振动测量头，体积小，方便灵活配置安装位置，尤其适合复杂的多通道，多角度，多测量点的应用。

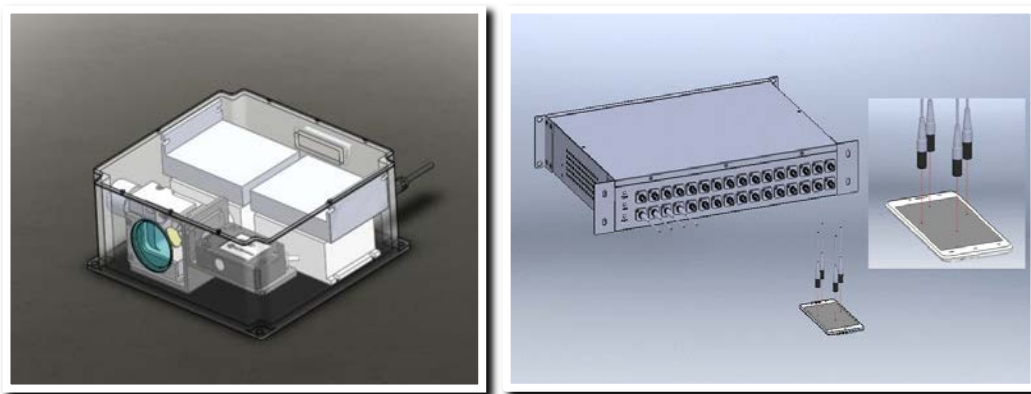


图 5：定制化设备案例：1）与振镜结合；2）光纤多通道振动检测

此外，挚感光子的激光振动传感器还集成了绝对测距的功能，可以在进行高精度测振的情况下，重复不间断的提供距离信息。

总体说来，挚感光子研发的激光振动传感器通过领先的集成光学技术和信号处理技术，实现了从传统高端设备到规模应用的跨越。考虑到消费电子产品，尤其是手机/平板电脑类产品的巨大需求和产量，当前的应用将主要面向消费电子自动化产线的大规模应用上，包括目前的半自动化产线和正在升级改造的全自动产线，着重在生产流程控制和品质检测为主的各类传感器等具体应用场景。于此同时，在土木工程及其他相关领域，小型化低成本化的激光振动传感器也将逐渐摆脱仪器抽查的应用模式而成为永久性的预设部件。