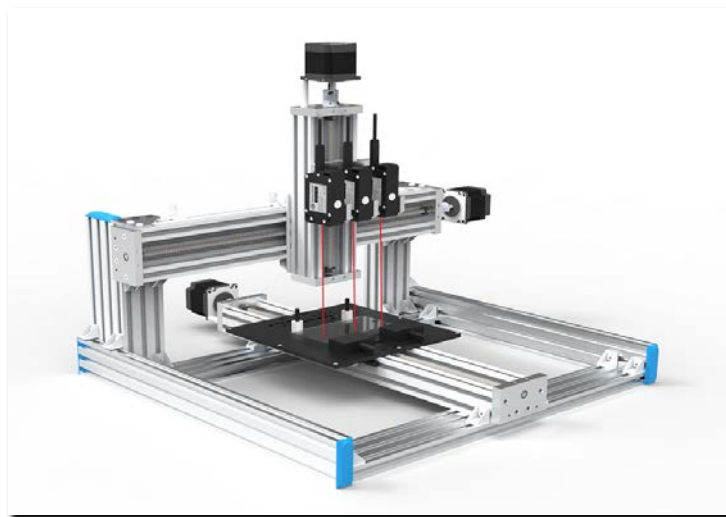


基于集成光学技术的一体化多功能激光传感平台

当前，世界上主要的工业大国都在进行产业升级，而现代工业的升级与激光技术密不可分。除了在生产加工方面发挥着巨大作用外，激光技术还在精确实时测量方面有着重要应用，为电子产品尺寸、透明元器件曲率、汽车飞机等大型三维物体的振动频谱、轴承同心度、偏心度及振动等提供精准测量，大大提高了产品产量和生产效率。



采用激光测量技术的手机玻璃曲率检测示意图

要实现激光精确实时测量在工业领域的具体应用，则离不开各类激光传感器的研发和推广。众所周知，现代制造业已经是一个传感器驱动的世界，几乎在所有的制造过程中，精确的实时测量在很大程度上依赖于传感器。在引入光学技术后，传感器朝着更快速、更精确、更可靠的方向发展。与传统测量方式相比，光学测量传感器，尤其是激光测量传感器由于其非接触且快速测量的能力在工业中得到广泛的应用。其中最典型的应用例子就是高精度的激光位移传感器。

激光位移传感器市场现状

激光位移传感器常用于长度、距离、振动、速度、方位等物理量的测量，还可用于探伤和大气污染物的监测等。通过激光位移传感器测量金属薄片（薄板）的厚度变化，可以帮助发现皱纹、小洞或者重叠，避免机器发生故障；而在微小零件的位置识别、传送带上有无零件的监测、机械手位置（工具中心位置）的控制等方面的应用，则可以确保设备、产线的高效运转；在灌装产品线上，可利用激光束反射表面的扩展程序来精确的识别灌装产品填充是否合格，在监测数量的同时也能保证灌装质量。此外，在绝对距离测量、相对位移测量、远程振动测量或振动频谱测量、轮廓检测、厚度测量、曲率测量、透明物体的厚度测量等方面，激光位移传感器都有着无可比拟的优势。

据数据显示，国内通用激光位移传感器市场规模已达 120 亿，且每年保持 20% 的增速，但 99.87% 的国内市场被国外厂商占据，以欧美日等发达国家企业居多，如美国通用电气、邦纳、德国西克、日本基恩士等等。这些企业不断通过技术创新和产品升级以保持市场地位。我国工业自动化系统集成商虽然对该器件的认知率超过 95% 以上，但由于价格昂贵、适配困难等原因，实际使用率不足 10%。

与国外先进企业相比，我国传感器技术在科研开发上要落后 10 年，在生产技术上要落后 15 年。但近年来我国陆续制定有利于传感器产业发展的政策，并建立了多个传感技术、机器人国家重点实验室，同时也有千余家企业选择从事传感器的生产和研发，国内传感器产业化进程随之加快。目前国内从事激光传感器的企业多以中小企业为主，主要集中在长三角地区，大型企业数量较少，代表性企业既有一定规模的余姚舜宇光学、北京创想智控、武汉承拓电子等，也有如苏州 挚感光子等采用先进集成光学技术的新创企业。

激光位移传感器介绍

目前已有很多技术能实现精确的光学位移测量，而工业化的激光位移传感器一般采用激光三角测量法和激光回波分析法两种方法，此外还可利用彩色共焦和干涉测量原理进行精确的位移测量。此外，激光位移传感器也被用来进行非接触振动测量。但对于特定的测量条件和测量要求，以上方法都各有缺陷。

对激光位移传感器而言，激光三角测量法适用于高精度、短距离的测量，激光回波分析法则用于远距离测量。在当前的工业机器人应用中，通常采用三角测量法，这种方法最高线性度可达 1 μ m，分辨率可达到 0.1 μ m 的水平。

激光三角法是一种由角度计算得到单点或多维的距离测量。通过镜头将可见红色激光射向被测物体表面，经物体反射的激光通过接收器镜头，被内部的 CCD 线性相机接收，根据不同的距离，CCD 线性相机可以在不同的角度下“看见”这个光点。根据这个角度及已知的激光和相机之间的距离，数字信号处理器就能计算出传感器和被测物体之间的距离。

回波分析法则通过激光发射器每秒发射一百万个激光脉冲到检测物并返回至接收器，处理器计算激光脉冲遇到检测物并返回至接收器所需的时间，以此计算出距离值，该输出值是将上千次的测量结果进行的平均输出，即所谓的脉冲时间法测量的，最远检测距离可达 250m。

而在精确的振动测量方面，常用的激光多普勒振动仪（LDV）的工作原理是在光学干涉的基础上，通过两束相干光束 I1 和 I2 的叠加来进行测量。叠加后的光强不是简单的两束光强之和，而且包括一个相干调制项。调制项与两束光之间的路径长度有关。

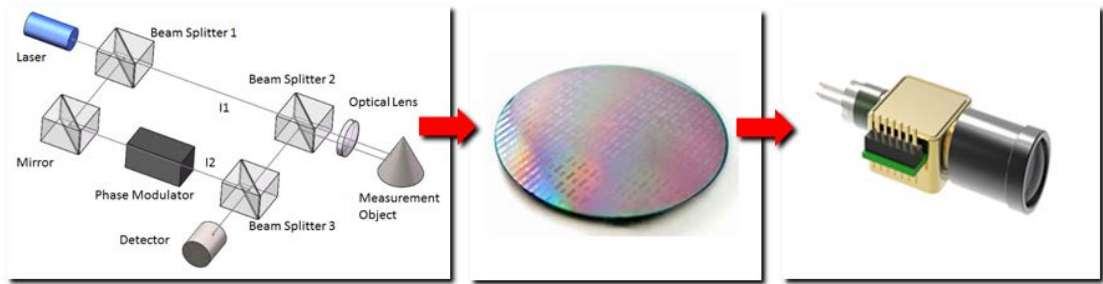
尽管激光三角法测量位移相对简单可靠，但其缺点是测量精度随着测量距离和范围的增大而降低，因此测量范围受到限制。此外，还需要一定的开放空间来满足三角法的测量需求，故无法实现在深沟或深孔中的应用。而激光回波分析法则适合于长距离检测，但测量精度相对于激光三角测量法要低。在振动测量应用方面，前面这两种位移/距离测量技术的检测

能力（频率范围/振动量范围/精度）比较有限。而 LDV 虽可进行非常精确的振动测量及瞬时位移测量，但是欠缺测量绝对位移或距离的能力，且成本也相当高。

激光传感新方案

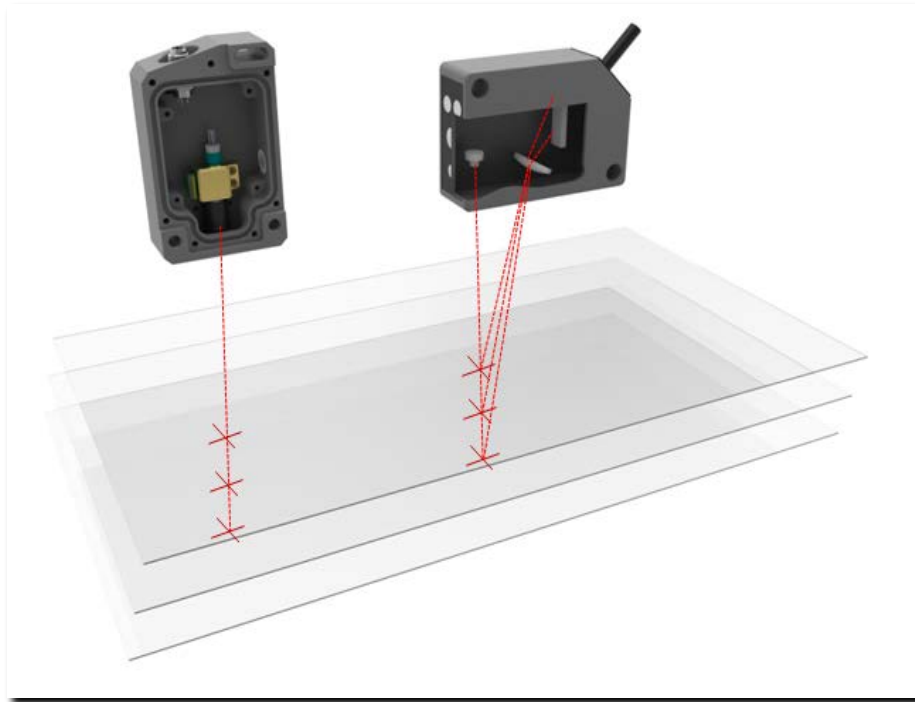
基于这样的现状，挚感光子依靠核心团队在光电通信领域的深厚技术积累，利用集成光学芯片技术的优势开发了一种小型激光传感平台，将这两种主流的传感功能结合在一个光学平台上，可实现位移测量和振动测量等多种功能，在保持高精度测量的同时还极大降低了模块尺寸和成本。

目前光学元器件通常体积大且价格昂贵，并且在与其他电子元器件的连接过程需要定制精确的装配流程。而光学元件集成化可以使其在低成本的基础上，实现更复杂的设计和更多的功能。集成光学芯片可以在一个单一的光学基底上包含数十到数百个光学元件，包括激光器、调制器、光电探测器和滤波器，现已成为一种有效的解决方案，为现有和新兴市场提供创新的光学模组。随着现代制造对光学传感器技术需求的不断增长，集成光学芯片可以简化系统设计，使得传感器可以进行更快速、更准确的测量，而且成本更低。



挚感光子的激光传感平台原理图

如传感器平台的原理图所示，具有不同延迟线的光学干涉仪最先在集成光学芯片上实现，并通过一个一体化封装将集成光学芯片、激光二极管、探测器阵列和光学透镜组成一个小型化激光传感模组。挚感光子自主研发的激光传感平台通过专有的数字信号处理（DSP）算法，可提供 LDV 技术中的瞬时位移、振动和光学相位测量等多种功能，此外还可以实现与常规三角法激光位移传感器一样的绝对位移 / 距离的测量，并具有同等甚至更优的测量精度。



激光同轴位移传感器(左)与传统的三角法激光位移传感器(右)对比

基于这一结合了瞬时位移、振动、光学相位测量和绝对位移 / 距离的测量的小型化激光传感平台，挚感光子还研发了一系列的激光传感模块（见图）。

据 OFweek 激光网了解，挚感光子自主研发的 MX-G 系列激光同轴传感器采用自主研发的非线性调频连续波调制解调（FMCW）技术，基于光学相干接收原理，具有光功率极低（距离 15cm 外输出光功率仅需 5mW）、动态测量范围广（可以测量从几厘米到 4 米范围内的物体）、测量精度高（1 米外的位移测量，重复精度通常小于 $0.01\mu\text{m}$ ）、抗干扰性强（只对自身光源波长敏感，可以抵抗任何环境光的干扰）、激光同轴设计（能够测量传统三角法传感器难以测量的物体，如盲孔）、敏感度高等优点。MX-G 系列传感器可测量的距离和范围非常广，却能保持与近距离测量相同的精度，这是传统的三角法无法实现的。



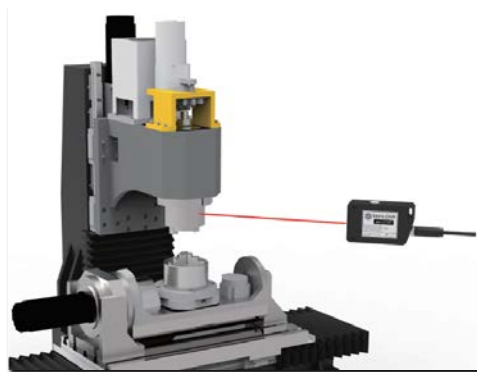
MX-G 系列激光同轴位移传感器

挚感光子技术人员向 OFweek 激光网介绍，MX-G 系列激光同轴位移传感器的关键部件是其光模组。它由激光器、光电探测器(封装内)、集成光学芯片及光学透镜组成。光学透镜是可调的，并可根据不同的应用进行更换。标准配置的镜片(直径 8.5mm)适用于 150mm 的聚焦光束，光斑半径为 0.05mm，当测量距离为 2 米时光斑半径为 1mm 左右。如果用户需要，还可以支持准直配置。例如安装一个直径为 6.5mm 的透镜并支持准直型测量，光斑半径为 3.5mm，可同时满足用户准直测量和较小光斑的需求。尤为突出的一点是，这种技术能实现三角法无法完成的深孔测量。



深孔检测示意图

此外，MX-G 系列激光同轴振动传感器可实现纳米级的远距准确测振，测振频率范围及振幅灵敏度可与常用 LDV 相当，具有光收发一体、同轴测量、安装方便、抗干扰性强，不受粉尘或测量面光强度变化影响的等特点，可用于喇叭振幅检测、轴承振动检测、车床振动监测、汽车振动检测等方面。



振动检测示意图

如文章开头介绍，此类传感器在测位移模式下可以直接进行透明物体（如薄膜，玻璃板或玻璃镜头）厚度的测量，而测振模式下（也是一种相位测量模式）则可以进行剥离弯曲度的快速检测。可以说，挚感光子的新型传感技术和传感平台代表了我国在工业级激光传感器技术方面的一个创新力。具体的技术细节可以通过他们的官网去了解。

资本涌入前景广阔

总体而言，我国传感器技术相对落后，但近年来我国陆续制定有利于传感器产业发展的政策，并建立了多个传感技术、机器人国家重点实验室。此外资本市场（包括政府的基金）也加大了对激光传感行业的投入，良好的政策土壤与资本关注将为传感器企业带来良好的生存环境。

在未来，以激光位移传感器为代表的各类激光传感器需求总体将保持快速增长的态势，而随着国内各项鼓励政策的落实，激光技术的持续创新进步和激光位移传感器产品性能的提升，我国激光位移传感器的大规模商业化应用将很快成为现实。