**颜学俊：激光超声技术**

不同的探测技术看到的是材料不同的“侧面”，即其在某一方面的投影属性。如，光学、近场、共聚焦显微镜，探究材料的光学性质，来反演结构或功能的特性。电子显微镜，电子能谱，则是用电子来解析材料；而X射线，可以用来查看原子层间距、晶格结构；AFM，则主要用来探针来探测物体表面形貌。

一方面，AFM精度很高，但只能观察表面，且不能实时；光学显微镜虽然能时实，但只能观察表面（如果材料不透明）；而电子显微镜精度高、能观察内部、能时实，但造价昂贵，视场有限，且可能对材料有损、可能需要提前对材料进行切片。另一方面，传统的超声无损探伤，就可以在探索材料的同时，不对材料破坏，还可以实时、在线检测，已经占据无损检测的半壁江山。但其压电薄片所激发的超声，最薄 0.2 mm，工艺上极限，导致波长也较长，以致于横向分辨率仍然是不够的；并且需要探头接触物体，发射一个超声，接收一个超声，无法对动态物体如飞机发动机进行检测。

若想进行高精度实时检测，可以采取激光，而非探头，非接触式地来激发超声。探测也非接触式的，是根据第二束probe光，经历了介质中的超声的调制后，相位变化后，再与参考光干涉，得到相位变化量，来检测超声。纳秒激光器，特征时间为0.1 ms。其次，材料越硬，超声越快，所以可以通过测剪切波的声速，来测弹性模量等。

可以对弹性模量、参与应力进行检测，甚至还可以对每一层的声速、超声的模态、每一层的弹性模量、每一层的应力，进行检测；并且激光超声技术，可以与激光3d打印、激光焊接，等各种激光先进制造工艺相兼容。实现加工的同时，进行检测。高精度、非接触、穿透性，可以测纯光学无法测出的，如应力、光声相互作用。

可以通过不同方向声速不一样，来求解具有双折射的单晶物质的各向异性程度、从表面到内部的应力分布、内部缺陷分析、手机或薄膜振动模态、声拓扑器件表面振动探测、声表面波器件的表面波的观测。可以服务于飞机发动机、钢轨、汽轮、生物医疗等检测领域。这个系统也可以装到机械臂上，或者集成到一个装备中去。

检测需要知道超声场是什么样的，但检测出的模场是比较复杂的，因此适合采用人工智能的方案来深度学习，超声系统所采集的各种模场分布，所对应的不同的材料内部孔隙等结构或力学性质分布。比如标准焊或虚焊，所对应的两层焊板间的焊接点的程度不同，就对应不同的检测出的超声模场，通过机器学习，可以知道不同特征的模场分布，对应的工业焊接的工件质量好坏，以及基于机器学习的缺陷预测、生物医学成像。

一个有意思的激光超声过程产生声表面波的激发方法，是通过空间调制光学系统，预先调制泵浦波前为多级空域等间距衍射点，打到材料表面，在材料内部近表面，通过热效应，热的地方晶格膨胀，冷的地方晶格被隔壁挤压而压缩，激发单一频率、单一指向的声表面波，再在一定距离后的，相同的地点，测量表面不同方向的声速，以检测不同晶粒方向的声速。

还可以利用组织的吸光系数不同，反映组织的吸光衬度，通过光声显微成像系统，实现多尺度的实时生物组织检测功能，横向分辨率可达到5μm，纵向分辩率能达到50μm。

国内半导体产业被国外垄断，很大一部分是相关检测手段落后于国外，针对更精密的半导体芯片内部的检测，需要高时空分辨的无损内部检测，因此需要高频、窄脉宽的超快光声检测技术。该技术能融合飞秒激光的高时/空分辨率的特性，以及超声的穿透特性，这2者的优势。实现时间分辩率100 fs、超声脉冲宽度0.5~3 nm的高时空分辨率，以及> 20 μm的超声穿透深度，实现内部层析检测。同时反映材料的声学性质（弹性力学），和光学性质。以及保留了全光学检测系统的无损非接触的优势。

因此可以通过检测纳米薄膜中不同层的超声纵波的波形，查看半导体芯片中多层膜的厚度，以及不同层膜的声速。即通过测量超声在纳米薄膜内部的传播时间，结合AFM的厚度检测，以及基于时域布里渊散射的薄膜层析检测，更好地获得未知纳米薄膜的结构和声学性质。实现芯片质量的在线监测。