激光超声技术在单晶硅弹性模量测定中的应用*

钱梦騄 （同济大学声学研究所 上海·200092）

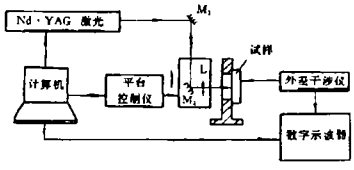
C. Bescond, B. Audoin, and M. Deschamps (Laboratoire de Mécarique Physique, Universite de Bordeaux I)

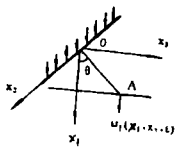
由于脉冲激光源在烧蚀激发声脉冲时，其时域特性非常接近于理想的 $\delta(t)$ 函数，因此激光超声技术不仅可用于复杂的各向异性媒质声的激发和传播理论作实验验证，而且由于它的非接触激发和接收特性，也已成为各向异性材料特性检测的有效手段。

单晶硅是晶格常数为 5.43Å 的立方晶体，它的密度 $\rho=2.332g/cm^3$。对于(110)晶面，它的弹性常数约为：$C_{11}=C_{22}=194.36GPa$，$C_{12}=35.24GPa$，$C_{33}=165.7GPa$，$C_{13}=C_{23}=63.9GPa$，$C_{44}=C_{55}=79.56GPa$，$C_{66}=50.9GPa$，

测定单晶硅(110)面的弹性常数的激光超声实验装置为图 1(a)所示，图(b)为激光线源与位移 u_1 的座标关系，一波长为 0.533μm，脉宽约 10ns，功率在 7～70mJ 内可调的脉冲激光经 M_2 反射后，由柱面透镜 L 聚焦到单晶硅表面进行烧蚀激发。沿 θ 角方向传播的声波在 A 点的法向位移 u_1 由外差激光干涉仪 SH－120 检测，波形在数字示波器 Lecroy9400 上显示，数据传输到微机存贮。由平移精度为±1μm 的平台控制仪控制平移平台，改变激光束在试样表面的位置，得到不沿 θ 角方向传播的准纵波和准横波法向位移波形。这样，根据准纵、横波的波形，可以测定准纵、横波沿 θ 方向的声时及声速。由此，就可由计算机拟合来确定试样的弹性常数。

当激光线源沿 X_3 轴时，实测得到(110)面的单晶硅的弹性常数为：$C_{11}=187.4\pm0.4GPa$，$C_{13}=65.0\pm0.7GPa$，$C_{33}=164.3\pm1.5GPa$，$C_{55}=75.1\pm0.3GPa$，当激光线源沿 X_2 轴时，相应的弹性常数分别测定为：$C_{11}=187.4\pm0.7GPa$，$C_{13}=37.6\pm1.0GPa$，$C_{33}=191.8\pm2.6GPa$，$C_{55}=49.1\pm0.3GPa$，实验结果充分表明激光超声技术是非常有效的新技术。





(a)测定单晶硅弹性常数的实验装置 (b)激光线源与位移 u_1 的座标关系

超声检测的信号处理与模式识别**

刘镇清 魏墨盦 （同济大学声学研究所 上海·200092）

超声检测在近几 10 年中得到了较大的发展，它已成为材料或结构的无损检测与评价最常用的手段。目前超声检测的研究与发展重点大致可分为 4 方面，(1)新的超声检测方式研究，(2)散射与逆散射的理论与实验研究，(3)成像方法与手段的研究，(4)信号处理及模式识别的应用研究。新的检测方法始终是超声检测的研究重点之一，近期激光超声成为这一内容的主角，但至今为止激光超声的研究大多还处于理论与实验阶段，真正走向商品化或工业性应用还很少。散射研究方面，尽管不少学者已经进行了大量深入细致、有时甚至是艰苦的研究，但这项工作距实用还有相当的距离。随着微机技术的不断普及与发展，信号处理及模式识别为超声检测水平的提高开辟了一条有效的途径。

超声检测中采用信号处理方法较早的是频谱分析的应用，这方面的先驱者是 Gericke，他在 60 年代至 70 年代进行了许多卓有成效的工作。直到 80 年代初，超声检测信号处理大多还仅限于相关分析与谱分析，但用

* 本项目得到国家重点科学基金资助

** 国家自然科学基金资助课题

这一手段探索研究的对象已比较广了，如缺陷形状与大小的检测、粘接性能检测、固体表面特征检测及材料内微结构的估计等。近期，仍有不少学者努力研究超声检测信号谱分析的适用性及可靠性。

自 80 年代，随着信息处理学科的飞速发展，多种信号处理与模式识别方法引入了超声检测的研究。用数字滤波改进检测信号信噪比，进行数据压缩，用模式识别与聚类分析区分各类缺陷与异常检测信息，用人工智能与专家系统自动判断分选各种特性的被测材料或构件，另外，还有人采用人工神经网络、小波分析等手段探索超声检测信号处理与识别的新途径。可以认为，各种信息理论的最新成果都或迟或早会在超声检测研究中找到用武之地。

目前大多数超声检测信号处理与模式识别工作是针对检测的自动化开展的，检测的对象也大多是所谓的均匀材料，其目的是解决常规超声探伤中仅显示回波波形问题，使超声检测具有一定程度的定性、定量评价的智能色彩。具体地说，就是试图实现缺陷大小、形状、位置和性质等的自动判断。

超声检测信号处理的另一研究重点是针对常规检测信号信噪比差、难以进行各种判断的情况，其研究背景是许多新材料对超声波具有强散射作用(我们称此类材料是强散射材料)，超声检测的缺陷特征不明显，人们不容易从原始的检测波形上观察、判断。这里的研究重点是提高信噪比，随着新材料应用领域的日益扩大，对解决此类问题的要求也越来越紧迫，因此这类超声检测信号处理与模式识别方面的论文在近几年来占整个超声检测信号处理论文的百分比呈上升趋势。

强散射材料的超声检测信号比较复杂，各种超声检测信号处理方法的稳定性与实用性还有待进一步提高，发掘性能更好的信号处理手段也成为解决这一问题的新途径。当然采用新的信号处理手段并不是简单的挪用新出现的信号处理成果，而是要针对强散射材料超声检测的特点，对超声信号本身及所采用的信号处理与模式识别方法进行仔细分析，灵活运用各方面知识并建立合乎实际的处理与识别手段。

超声料位测量中回波分析与处理

阎玉舜　(同济大学声学研究所　上海·200092)
高克成　(上海工业自动化仪表研究所·200233)

国内超声物位仪表近年已应用微处理器，使超声仪表由数字化走向微机化。一般采用以下几种方法来提高测量精度和增强抗干扰性能：①测量 N 次同步迭加，信噪比提高 $\sqrt{N}$ 倍；②n 次测量平均，测量精度提高 $\sqrt{n}$，③选通门 $\triangle T$ 接收，在采样测量时间 T 内，抗干扰性能提高 $T/\triangle T$ 倍，然而，这些措施仅能抑制随机干扰，对固定(稳态)杂波不能剔除，另外也未充分发挥微处理器的功能，料仓中的固定干扰杂波有来自探头附近的直接回波，也有来自探头-料位-料仓侧壁-探头的二次回波，由于料面的倾斜，在一定的反射条件下，二次回波的幅值更大。另外，当物料倾斜且块状不平整时，物位回波幅值不大，前沿缓慢，但却有一定持续宽度。还有考虑物位回波的扩散损失而进行自动增益控制，在应用微处理器后也完全可以用软件来实现。基于此，新一代超声物位仪表应能对回波进行分析和处理，并配以键盘功能软件实现智能化。

(1)TVG 曲线　TVG (time variable gain)曲线即时间可变增益控制曲线，它应满足料仓空间声波的传播特性：$p=p_0e^{2h\alpha}/2h$ 由于空气中吸收衰减远比扩散衰减小($\alpha\sim0$)，取上式的分贝值 $RSM=A-K\cdot\log(t)$　A,K 为待拟合系数，t 为传播 $2h$ 路径的声时，回波信号经对数放大、检波后，其包络应满足上式，实验定出仪表常数 A,K 的范围，由键盘设定。

(2)TVG 斜坡法　对 TVG 曲线以上的回波包络，在 TVG 曲线的始端附近，作一定斜率斜线，与某回波相交后，以此回波顶端为起点继续作斜线的平行线，如此下去直至采样终止，比较两平行斜线的间距，择其大者所在的回波即物位信号。注意，间距大的回波幅值并不一定是最大，这就剔出了幅值较大的二次回波，斜线的初始点和斜率也由键盘设定，如果料仓细长，也可省去 TVG 曲线而直接对回波包络作如上斜线，此称斜坡法

(3)TVG 面积法　对 TVG 曲线以上各回波的幅值积分即得该回波面积：TVG 面积 $=\Sigma\triangle t[(RSM)_i-(TVG)_i]$ 对各面积进行比较并择其大者即为物位信号，这对于物位回波幅值不大、前沿缓慢，但却有一定持续