

经验交流

编者按：本栏反映我国广大工农兵和物理学工作者在实验技术和实验方法上所取得的某些进展，以短文为主，要求在科学分析上严肃认真，文字简明易懂。欢迎大家踊跃投寄这方面的经验总结文章。

采用 α -碘酸锂作为超声探头 压电材料的试验*

北京钢铁研究院探伤组

随着我国工业的飞跃发展，对于工业产品质量的要求越来越高。对于超声探伤仪的质量也提出了更高的要求。但是，片面地追求仪器的电路灵敏度是不合适的。因为，如果仪器的放大倍数过高，信噪比会相应下降，从而造成一系列缺点，如：阻塞、放大线性差等等，这对定量探伤带来困难。因而制作高效率的换能器就显得非常必要了。而目前在这方面还不是很满意的。绝大多数仍使用 PZT 等压电陶瓷作换能器。

国外的一些文章（例如文献[1]）已从原理上指出， α -碘酸锂晶体具有作为超声器件中压电材料的特殊可取的性能，但一直未见到实际应用它来制作超声换能器的报道。近两年来，山东大学和中国科学院物理研究所有关同志均曾建议在这一方面进行实践；我们通过一段时间的初步试验，得出的结论为：对于水浸探伤而言， α -碘酸锂是一种有前途的压电材料。

一、 α -碘酸锂的压电性能

为了了解 α -碘酸锂的压电性能，我们将它与其它几种压电材料作一比较，见表1。

表1 几种压电材料物理性能的比较

参 数 材 料	密 度 ρ 10^3 kg/m^3	声 阻 抗 z $10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$	频率常数 mm Mc/s	介电常数 ϵ	厚度模机 电耦合系数 K_t	厚度模压 电模量 d_{33} 10^{-12} m/V	厚度模压电 应力常数 g_{33} $10^{-3} \text{ V/m} \cdot \text{N}$
PZT	7.5	22.5	1.87	1500	0.67	250—400	20—40
α -碘酸锂	4.5	18.5	2.06	6	0.51	18.1	320
石 英	2.65	15.3	2.87	4.5	0.1	4.9	57

由表1可看出， α -碘酸锂具有如下特点：

(1) 声阻抗比 PZT 小，这对水浸探伤是有利的；

* 1975年8月22日收到。

- (2) 介电常数比 PZT 小得多, 因此适用于作高频探头;
 - (3) 机电耦合系数并不比 PZT 小多少;
 - (4) 表征接收灵敏度大小的 g_{33} 最大, 因而作接收换能器更合适。
- 此外, α -磷酸锂是单畴的, 不需要极化, 所以在稳定性上比 PZT 好。

二、 α -磷酸锂探头的制作

所用 α -磷酸锂单晶的切割面为 (0001) (用 X 射线衍射法进行定向)。我们采用 Al_2O_3 进行抛光后再进行真空喷涂银电极。当然用贴上一层银箔方法也可制成电极, 但我们的实验证明, 用这种方法会把 K_t 降到 0.24。

由于 α -磷酸锂易潮解, 所以晶片前面加上了环氧树脂保护膜。

三、匹 配

一个接有纯阻负载的发射源, 当负载阻抗等于发射源内阻时, 发射源才会给出最大的功率。晶片在其基频工作时, 可以等效于辐射电阻 R_r 和夹片电容 C_0 并联。如果用电感 L_0 与晶片 C_0 并联, 调到 L_0 与 C_0 的谐振状态, 则等效电路可以简化为只包括 R_r , 并可用下式计算 R_r [2]:

$$R_r = \frac{1}{F f_0} \left[\frac{c^2(z_1 + z_2)}{8h^2\epsilon^2\epsilon_0^2} + \frac{h^2}{2\pi^2(z_1 + z_2)} \right].$$

式中 F 为晶片面积, f_0 为晶片基频, c 为晶片声速, z_1, z_2 分别为背衬材料及辐射介质的声阻抗, h 为晶片材料的压电应力常数, ϵ 为晶片材料的介电常数, ϵ_0 为自由空间的介电常数。假设发射源的内阻 (包括电缆的) 为 R_i , 这时用一个变化为 $1:\sqrt{R_i/R_r}$ 的阻抗变换器就可简单地进行阻抗匹配。 α -磷酸锂和石英一样, 由于它的辐射阻抗 R_r 高, 因此不能直接用于一般的探伤仪。为了获得最大的发射功率, 必须进行阻抗匹配。同时也要使匹配线圈和晶片共同构成的槽路的共振频率与晶片基频一致。在接收时为了获得最大电压传输系数, 要求接收器输入阻抗比晶片阻抗大得多, 只有这样才能获得最佳的回路增益。

四、测 试

我们把带有发射匹配变压器并具有环氧树脂保护膜的磷酸锂与通常用的 PZT 水浸探头 (裸晶片) 作了比较。由于国内超声探伤仪的发射与接收部分都是针对 PZT 探头设计的, 又和我们所制的磷酸锂探头的频率不一致, 因此我们采用图 1 方式进行了测试。即采用 CTS-6 型超声波探伤仪作发射源。而用 SBM-10 示波器测量探头的接收回声。探头放在充水的水箱中, 在探头和箱底之间放置一个 $\phi 6\text{mm}$ 的钢球。探头距 $\phi 6$ 钢球 22 cm。在 CTS-6 型超声波探伤仪 “发射强度” 为强, “重复频率” 为 50 Hz, “增益” 为 10, “抑制” 为 10, “衰减” 32 dB 的情况下所得到的 4.4 MHz 的磷酸锂探头和 5 MHz 的 PZT 水浸探头的回声幅度照片分别如图 2(a) 和 (b) 所示, 对所有探头的测试数据归纳在表 2 中。

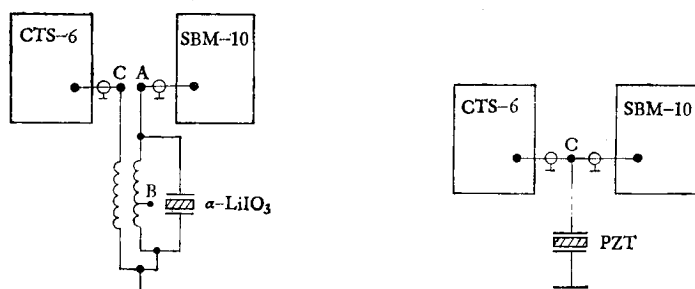
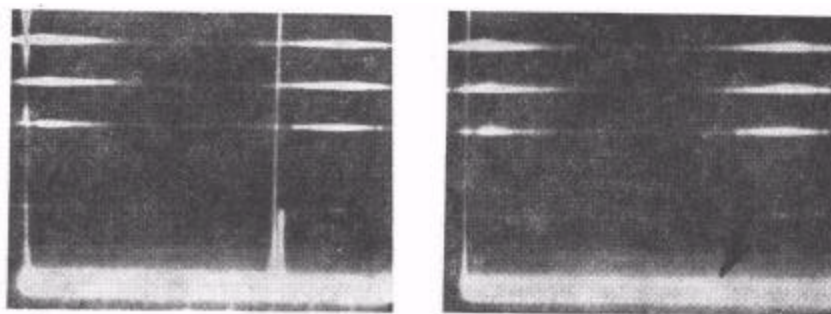


图 1 测试方法(A,B,C为测试点)



(a) 采用 10:50 匹配变压器把 B 点接到探伤仪接收插口

(b) 5 MHz 的 PZT 水浸探头

图 2 两种探头所收到的回声波形

表 2 两种探头的测试数据

参 数 探 头	晶 片 积 cm ²	箱底面反射幅度 (V)			钢球反射幅度			备 注
		A*	B*	C*	A*	B*	C*	
PZT 5 MHz	2.0			1.44			0.06	
α -磷酸锂 4.4 MHz	1.6	30	11.5	5.40	1.4	0.8	0.22	采用 10:50 匹配变压器, 次级 21 匝处抽头
PZT 2.5 MHz	5.0			6.00			0.15	
α -磷酸锂 2.5 MHz	5.7	100	45	17.50	2.4	1.5	0.60	采用 16:80 匹配变压器, 次级 32 处抽头

* A, B, C 为测试点(见图 1 注)

五、讨论和结论

我们作的工作只是说明 α -磷酸锂在水浸探伤中的应用前途。有很多问题还没有细致地摸索和试验, 如晶片加工还很不严格。匹配也没有深入细致地作。但实验结果还是较为满意的。从表 2 和图 2 可以看出 α -磷酸锂探头的灵敏度远比 PZT 为高, 从示波器测出的幅度值来看, 要高 20 倍 (26 db), 而用 CTS-6 超声探伤仪测, 高十几分贝。因此我们认为 α -磷酸锂是一种有前途的压电材料。同时也必须指出, α -磷酸锂晶片易于潮解, 很

脆,所以制作超声探头时比较困难。如果加工工艺问题得到解决,那么它的使用价值肯定会得到进一步的提高。

上面提到,示波器在A点测得的回声幅度比PZT高20倍(26 db),但从探伤仪上只比PZT高5倍(15 db)亦即损失了11 db。这就提出了一个问题:为了充分发挥 α -磷酸锂探头的特性,在使用时,有必要对探伤仪的某些特性(例如阻抗与频率)加以专门设计,否则只从匹配变压器上入手,是不能完全发挥出它的优越性的。

参 考 文 献

- [1] Warner *et al.*, *J. Acoustic. Soc. Am.*, **47** (1970), 791.
- [2] J. H. Krautkramer, *Ultrasonic Testing of Materials*.

THE USE OF α -LiIO₃ IN AN ULTRASONIC PROBE

FLAW DETECTION GROUP, IRON AND STEEL INSTITUTE OF PEKING

宽频带夹芯式压电换能器*

中国科学院物理研究所超声处理组

目前国内外在超声清洗设备上,已经广泛地采用夹芯式压电换能器。由于单个换能器的功率容量不大,同时也考虑到清洗槽中声场分布的问题,所以在制造大功率超声清洗设备时,往往采用多个(几十到几百个)换能器组成。但目前工业上采用的夹芯式压电换能器频带比较窄,换能器的材料及工艺又很难做到一致,所以目前在生产上,只能在大量的换能器中挑选频率和阻抗相互比较接近的一些换能器来组成。这样给生产大功率超声清洗设备带来了较大的困难。此外,换能器经过工作一段时间后,由于螺钉夹紧状态的改变或者压电材料老化等问题会引起换能器频率和阻抗的变化,因此即使在生产时经过仔细的挑选,经过工作一段时间后,粘在清洗槽上的换能器仍会出现有的振动强,有的振动弱的现象。从而影响清洗效果。

为解决这一问题,我们研究了一种多孔结构的宽频带夹芯式压电换能器。其结构和外形如图1所示。换能器采用单螺钉夹紧结构,在铝锥体的辐射面上钻孔,然后粘到清洗槽的辐射板上。在铝锥体上钻孔的考虑是降

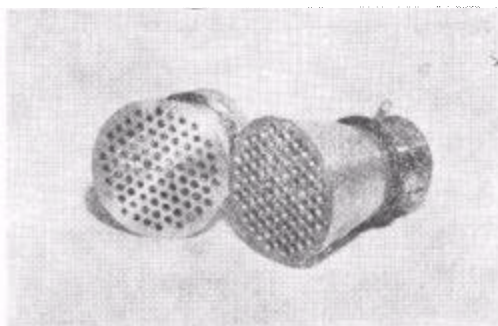


图1 多孔结构宽带换能器照片

* 1975年8月23日收到。