

实验 21 压电陶瓷特性及振动的干涉测量

引言

19 世纪末法国人发现了压电效应。具有压电效应的材料叫压电材料，可将电能转换成机械能，也能将机械能转换成电能，它包括压电单晶、压电陶瓷、压电薄膜和压电高分子材料等。压电陶瓷制造工艺简单，成本低，而且具有较高的力学性能和稳定的压电性能，是当前市场上最主要的压电材料，可实现能量转换、传感、驱动、频率控制等功能。由压电陶瓷制成的各种压电振子、压电电声器件、压电超声换能器、压电点火器、压电马达、压电变压器、压电传感器等在信息、激光、导航和生物等高新技术领域得到了非常广泛的应用。

实验目的

1. 了解压电材料的压电特性；
2. 掌握用迈克尔逊干涉方法测量微小位移；
3. 测量压电陶瓷的压电常数；
4. 观察研究压电陶瓷的振动的频率响应特性。

实验原理

1. 压电效应

压电陶瓷是一种多晶体，它的压电性可由晶体的压电性来解释。晶体在机械力作用下，总的电偶极矩(极化)发生变化，从而呈现压电现象，因此压电陶瓷的压电性与极化、形变等有密切关系。

1)正压电效应

压电晶体在外力作用下发生形变时，正、负电荷中心发生相对位移，在某些相对应的面上产生异号电荷，出现极化强度。对于各向异性晶体，对晶体施加应力 T_j 时，晶体将在 X, Y, Z 三个方向出现与 T_j 成正比的极化强度，即： $P_m = d_{mj}T_j$ ，式中 d_{mj} 称为压电陶瓷的压电应力常数。

2)逆压电效应

当给压电晶体施加一电场 E 时，不仅产生了极化，同时还产生形变 S ，这种由电场产生形变的现象称为逆压电效应，又称电致伸缩效应。这是由于晶体受电场作用时，在晶体内部产生了应力(压电应力)，通过应力作用产生压电应变。存在如下关系 $S_i = d_{mi}E_n$ ，式中 d_{mi} 称为压电应变常数，对于正和逆压电效应来讲， d 在数值上是相同的。压电晶体的压电形变有厚度变形型、长度变形型、厚度切变型等基本形式。当对压电晶体施加交变电场时，晶体将随之在某个方向发生机械振动。在不同频率区间压电陶瓷阻抗性质(阻性、感性、容性)不同，对某一特定形状的压电陶瓷元件，在某一频率处(谐振频率)，呈现出阻抗最小值，当外电场频率等于谐振频率时，陶瓷片产生机械谐振，振幅最大；而在另一频率处(反谐振频率)，呈现出阻抗最大值。

2. 迈克尔逊干涉仪

迈克耳逊干涉仪可以测量微小长度。图 1 是迈克耳逊干涉仪的原理图。光源部分包括半

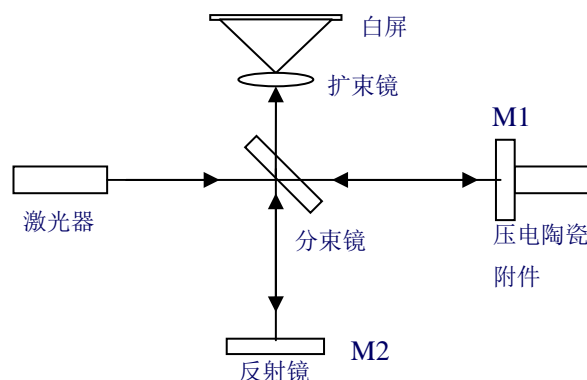


图 1 迈克耳逊干涉仪

导体激光器和二维调节架。玻璃板 G 的第二表面上涂有半透射膜，能将入射光分成两束，一束透射，一束反射，故称为分光镜。分光镜 G 与光束中心线成 45° 倾斜角。 $M1$ 和 $M2$ 为互相垂直并与 G 都成 45° 角的平面反射镜，其中反射镜 $M1$ 后附有压电陶瓷材料。由激光器发出的光经分光镜 G 后，光束被分成两路，反射光射向反射镜 $M1$ （附压电陶瓷），透射光射向测量镜 $M2$ （固定），两路光分别经 $M1$ 、 $M2$ 反射后，分别经分光镜反射和透射后又会合，经扩束镜到达白屏 P ，产生干涉条纹。 $M1$ 和 $M2$ 与分光镜中心的距离差决定两束光的光程差。因而通过给压电陶瓷加电压使 $M1$ 随之振动，干涉条纹就发生变化。由于干涉条纹变化一级，相当于测量镜 $M1$ 移动了 $\lambda/2$ ，所以通过测出条纹的变化数就可计算出压电陶瓷的伸缩量。

实验仪器

光学平台、半导体激光器（波长 650nm ）、分束镜、反射镜、压电陶瓷附件、扩束镜、白屏、驱动电源（ $10\text{—}250\text{V}$ ）、光电探头。

本实验中采用的压电陶瓷为管状，在内外壁上分别镀有电极，以施加电压，在陶瓷管的一端装有激光反射镜，可在迈克耳逊干涉仪中作反射镜使用。

实验内容和步骤

1. 将驱动电源分别与光探头，压电陶瓷附件和示波器相连，其中压电陶瓷附件接驱动电压插口，光电探头接光探头插口，驱动电压波形和光探头波形插口分别接入示波器 CH1 和 CH2 。
2. 在光学实验平台上搭制迈克尔逊干涉光路，使入射激光和分光镜成 45° 度，反射镜 $M1$ 和 $M2$ 与光垂直， $M1$ 和 $M2$ 与分光镜距离基本相等。
3. 打开激光器，手持小孔屏观察各光路，适当调整各元件位置和角度，保证经分光镜各透射和反射光路的激光点不射在分光镜边缘上。
4. 遮住 $M1$ ，用小孔屏观察扩束镜前有一光点，再遮住 $M2$ 分辨另一光点，分别调整 $M1$ 和 $M2$ 的倾角螺丝直至两光点重合，并调整扩束镜位置使其与光点同轴，观察白屏上出现干涉条纹，再反复调整各元件，最好能达到扩束光斑中有 2 到 3 条干涉条纹。

5. 打开驱动电源开关，将驱动电源面板上的波形开关拨至左边“—”直流状态，旋转电源电压旋钮，可发现条纹随之移动；每移动一条干涉条纹，代表压电陶瓷伸缩位移变化了半个波长，即 $650/2\text{nm}=325\text{nm}$ 用笔在白屏上做一参考点。将直流电压降到最低并记录，平静一段时间，等条纹稳定后，缓慢增加电压，观察条纹移动，条纹每移过参考点一条，就记录下相应的电压值；测到电压接近最高值时，再测量反方向降压过程条纹反方向移动对应的电压变化数据。

由所测数据做出电压-位移关系图，并求出压电常数。

6. 取下白屏，换上光电探头，打开示波器。将示波器至于双踪显示，CH1 触发状态。将驱动电源波形拨至右侧“m”三角波，CH1 观察到驱动三角波电信号，CH2 观察到一系列类似正弦波的波形代表干涉条纹经光电探头转换的信号，条纹移动的级数多少反映压电陶瓷伸缩长度的大小，即在三角波一个周期内正弦信号周期的数量反映压电陶瓷的振幅。将驱动幅度调到最大，光放大旋钮调到最大，改变驱动频率，记录随驱动三角波频率（周期）变化的正弦信号周期数量，体会压电陶瓷的频率响应特性。

表 1 压电常数测量

$U_{\text{up}}(\text{V})$									
$U_{\text{dn}}(\text{V})$									
$\bar{U}(\text{V})$									

表 2 频率特性测量

三角波周期 (ms)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
条纹级数										

注意事项

1. 实验中不得用眼直视激光束，以免损坏眼睛。
2. 各光学玻璃镜要轻拿轻放，不要碰到表面。

思考题

1. 压电陶瓷伸缩量大小与条纹移动级数有何关系？
2. 从实验结果分析压电陶瓷在不同频率驱动电压下振幅是否相同？