

关于压电式压力传 感器

概述

- 压电式传感器是一种典型的发电型传感器，以电介质的压电效应为基础，在外力作用下，在电介质表面产生电荷，从而实现非电量测量。
- 压电式传感器可以对各种**动态力**、**机械冲击**和**振动**进行测量，在声学、医学、力学、导航方面都得到广泛的应用。
- 压电式传感器具有响应频带宽、灵敏度高、信噪比大、结构简单、工作可靠、重量轻等特点。

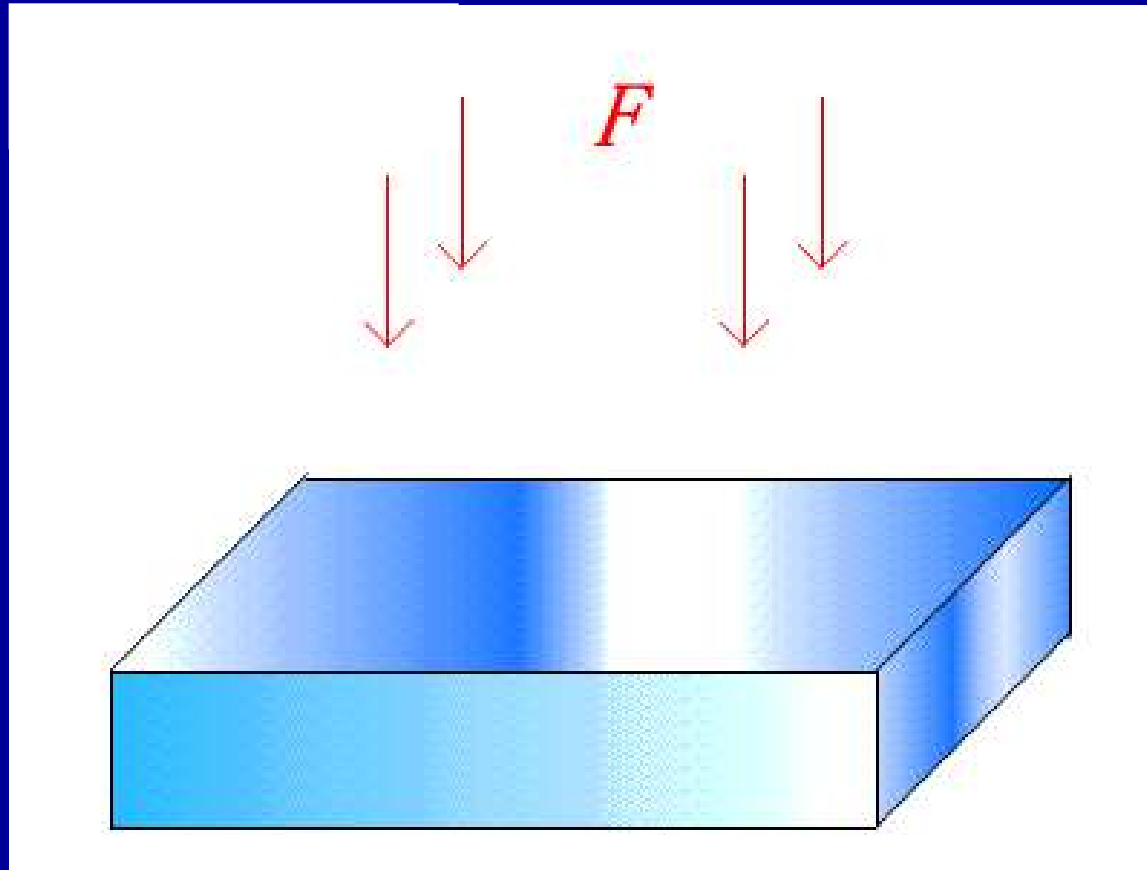
一、压电效应

某些电介质（晶体）

- 当沿着一定方向施加力变形时，内部产生极化现象，同时在其表面会产生符号相反的电荷；
- 当外力去掉后，又重新恢复不带电状态；
- 当作用力方向改变后，电荷的极性也随之改变；

这种现象称**正压电效应**

石英晶体的压电效应演示



当力的方向改变时，电荷的极性随之改变，输出电压的频率与动态力的频率相同；当动态力变为静态力时，电荷将由于表面漏电而很快泄漏、消失。

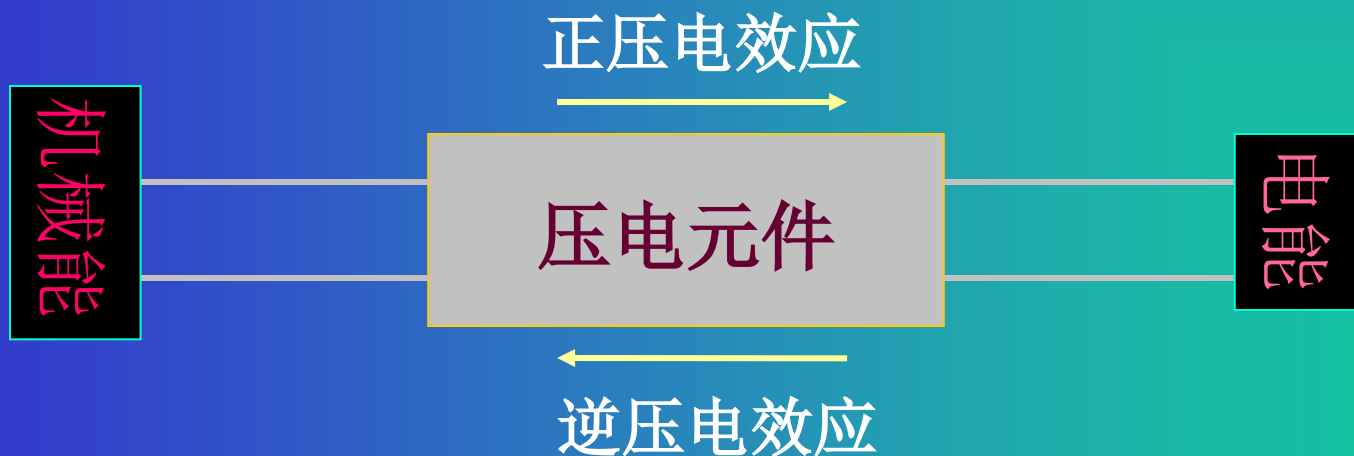
❖ 压电效应是可逆的

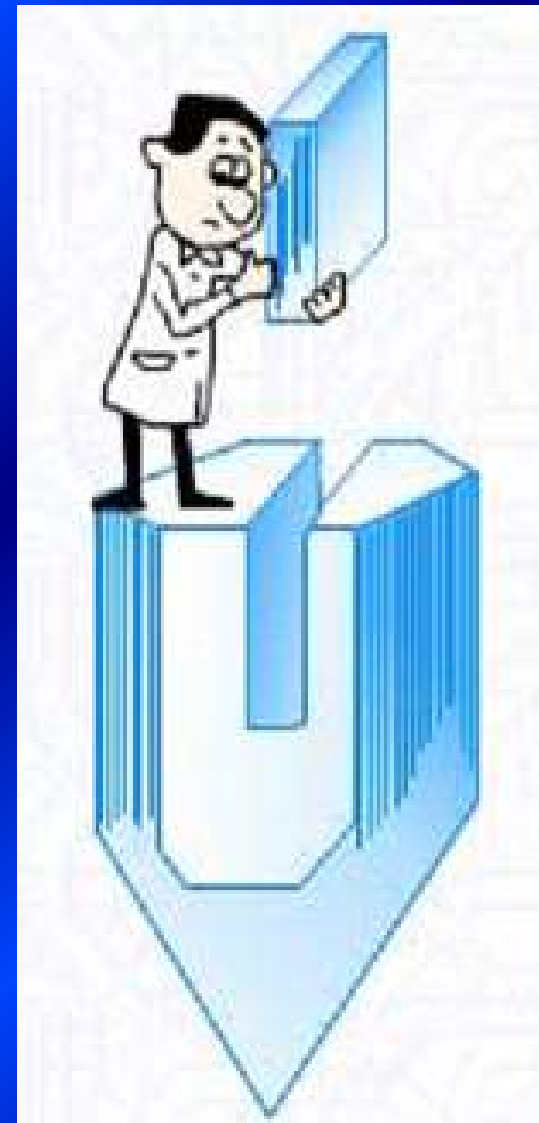
➤在介质极化的方向施加电场时，电介质会产生形变，将电能转化成机械能，这种现象称

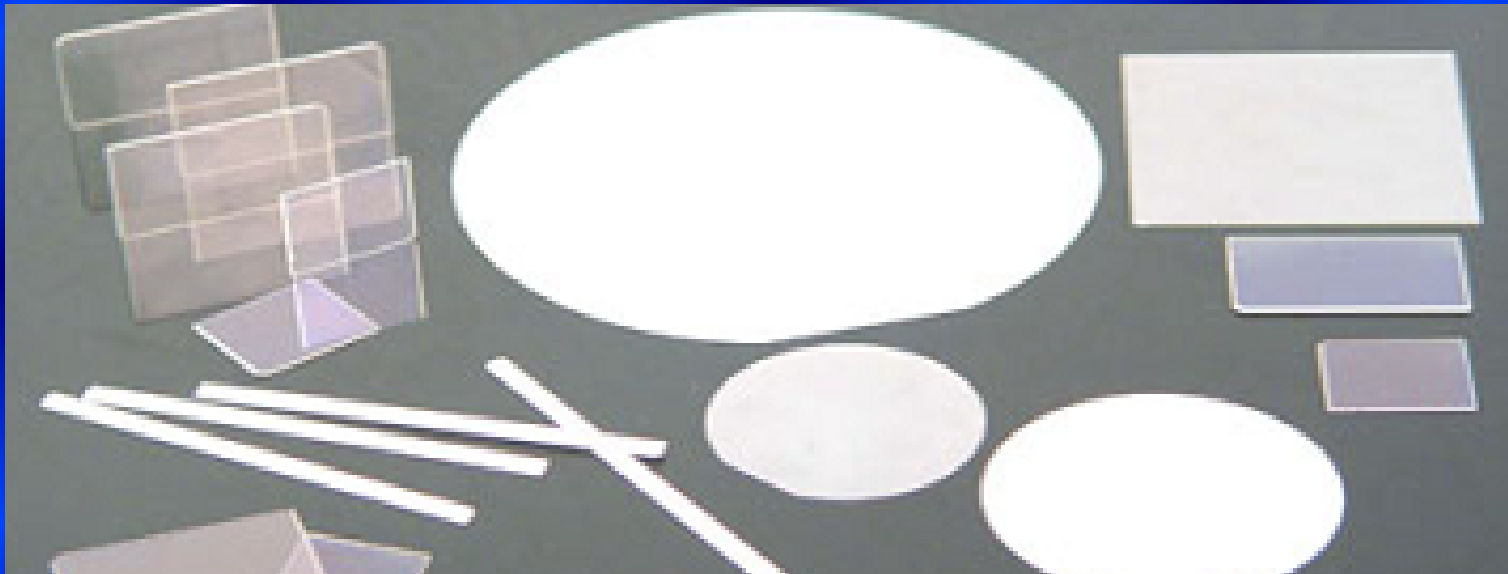
“逆压电效应”。

•压电元件可以将机械能——转化成电能

➤也可以将电能——转化成机械能。







超声波传感器



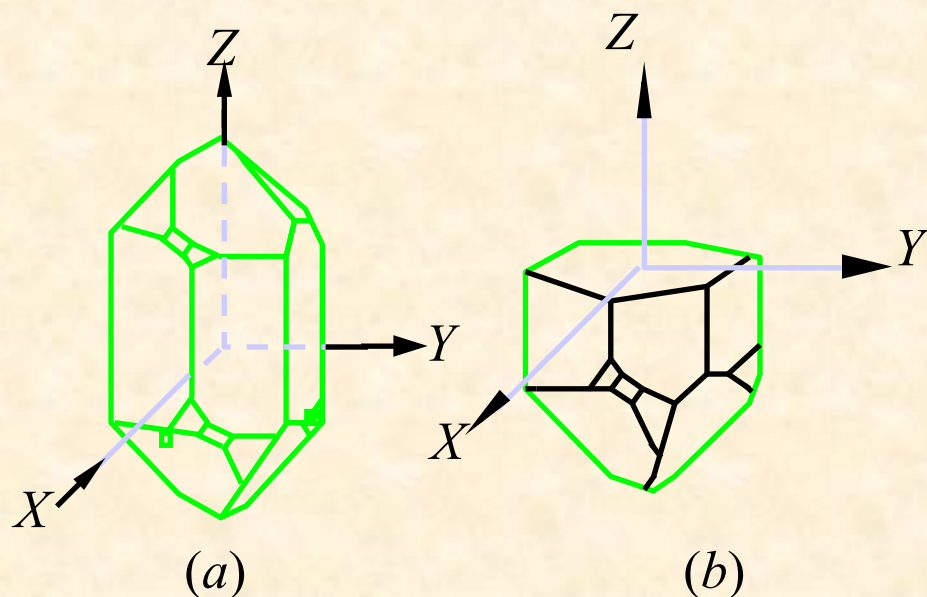
各种规格的压电陶瓷晶体

Ø2.5X5 Ø5X10
Ø6X12 Ø6.3X15

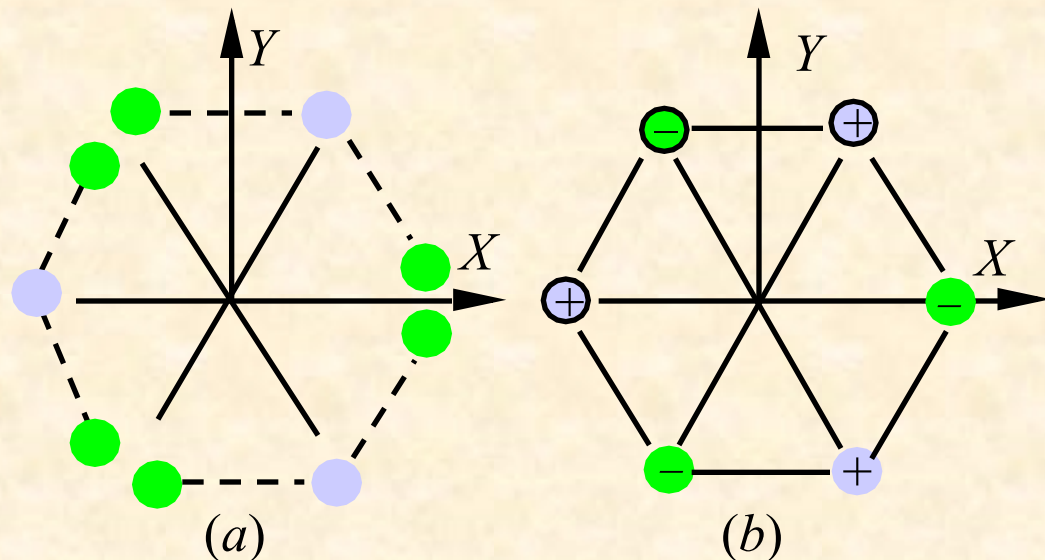
1、石英晶体的压电效应

石英晶体的理想外形是一个正六面体，在晶体学中它可用三根互相垂直的轴来表示，其中纵向轴 $Z-Z$ 称为**光轴**；经过正六面体棱线，并垂直于光轴的 $X-X$ 轴称为**电轴**；与 $X-X$ 轴和 $Z-Z$ 轴同时垂直的 $Y-Y$ 轴

（垂直于正六面体的棱面）称为**机械轴**。



石英晶体
(a)理想石英晶体的外形 (b)坐标系

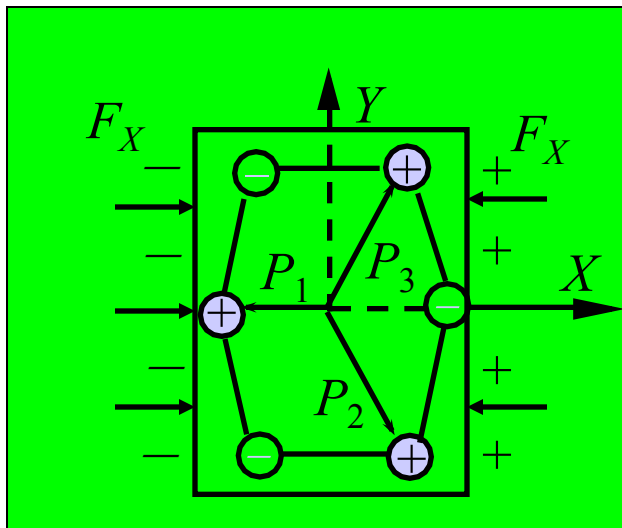
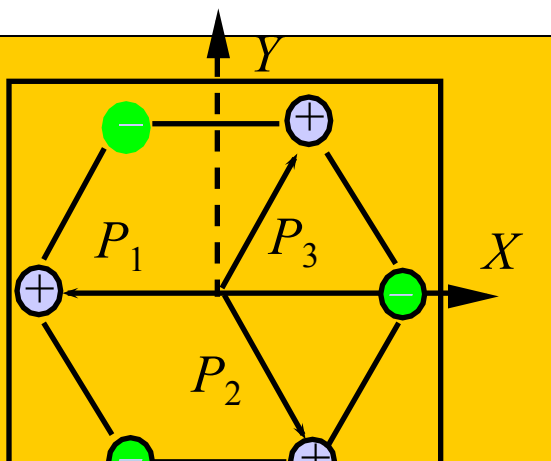


硅氧离子的排列示意图

(a) 硅氧离子在Z平面上的投影

(b) 等效为正六边形排列的投影

石英晶体具有压电效应，是由其内部结构决定的。组成石英晶体的硅离子 Si^{4+} 和氧离子 O^{2-} 在Z平面投影，如图(a)。为讨论方便，将这些硅、氧离子等效为图(b)中正六边形排列，图中“+”代表 Si^{4+} ，“-”代表 2O^{2-} 。



晶体沿X方向将产生收缩，电偶极矩在X方向的分量为

$$(P_1 + P_2 + P_3)_X > 0$$

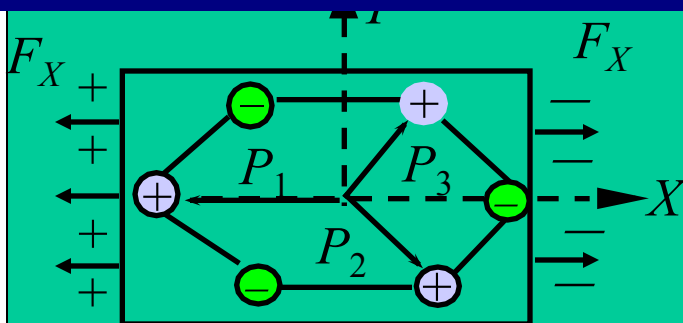
$$(P_1 + P_2 + P_3)_Y = 0$$

$$(P_1 + P_2 + P_3)_Z = 0$$

结论：当晶体受到沿X（即电轴）方向的力 F_X 作用时，它在X方向产生正压电效应，而Y、Z方向则不产生压电效应。

好分布在正六边形顶角上，形成三个互成 120° 夹角的偶极矩 P_1 、 P_2 、 P_3 ，电偶极矩的矢量和等于零，即

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0$$



(c) $F_X > 0$

$$(P_1 + P_2 + P_3)_X < 0$$

$$(P_1 + P_2 + P_3)_Y = 0$$

$$(P_1 + P_2 + P_3)_Z = 0$$

即在X轴的正向出现负电荷，在Y、Z轴方向则不出现电荷。

当晶体在 Y 轴方向力 F_Y 作用时：

当 $F_Y > 0$ 时，晶体的形变与在 X 轴方向力 $F_X < 0$ 相似；

当 $F_Y < 0$ 时，则与在 X 轴方向力 $F_X > 0$ 相似。

可见，晶体在 Y （即机械轴）方向的力 F_Y 作用下，使它在 X 方向产生正压电效应，在 Y 、 Z 方向则不产生压电效应。

如果沿 Z 轴方向上施加作用力 F_Z ，因为晶体沿 X 方向和沿 Y 方向所产生的正变形完全相同，所以，正、负电荷中心保持重合，电偶极矩矢量和等于零。

表明：沿 Z （即光轴）方向加作用力 F_Z 晶体不产生压电效应。

通常把沿电轴 $X-X$ 方向的力作用下产生电荷的压电效应称为“**纵向压电效应**”，而把沿机械轴 $Y-Y$ 方向的力作用下产生电荷的压电效应称为“**横向压电效应**”，沿光轴 $Z-Z$ 方向受力则不产生压电效应。

压电效应结论

- ①无论是正或逆压电效应，其作用力（或应变）与电荷（或电场强度）之间呈线性关系；
- ②晶体在哪个方向上有正压电效应，则在此方向上一定存在逆压电效应；
- ③石英晶体不是在任何方向都存在压电效应的。

二、压电材料

1、种类：

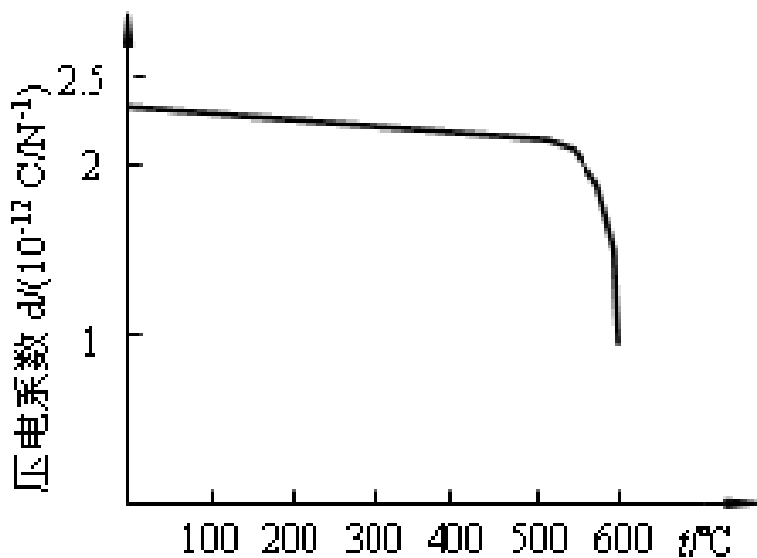
- **石英晶体**：如石英等；
- **压电陶瓷**：如钛酸钡、锆钛酸铅等；
- **压电半导体**：如硫化锌、碲化镉等；
- **高分子压电材料**：聚二氟乙烯等。

2、对压电材料特性要求：

- ① **转换性能**：要求具有较大压电常数；
- ② **机械性能**：机械强度高、刚度大，以期获得宽的线性范围和高的固有振动频率；
- ③ **电性能**：具有高电阻率和大介电常数，以减弱外部分布电容的影响并获得良好的低频特性；
- ④ **环境适应性强**：温度和湿度稳定性要好，要求具有较高的居里点，获得较宽的工作温度范围；
- ⑤ **时间稳定性**：要求压电性能不随时间变化。

(一) 石英晶体

石英晶体的压电系数随温度变化。其介电常数随温度变化。在20°C~200°C范围内，其压电系数的变化率为0.016%。但是当温度达到573°C时，就是它的居里点。



石英的压电系数与温度关系



石英的相对介电常数与温度关系

石英晶体的优点是性能非常稳定，机械强度高，绝缘性能好。而且压电系数低。因此一般仅用于**标准仪器**或要求较高的场合中。

(二) 压电陶瓷

1、钛酸钡压电陶瓷

钛酸钡 (BaTiO_3) 是由碳酸钡 (BaCO_3) 和二氧化钛 (TiO_2) 按1: 1分子比例在高温下合成的压电陶瓷。

它具有很高的介电常数和较大的压电系数 (约为石英晶体的50倍)。不足之处是居里温度低 (120°C)，温度稳定性和机械强度不如石英晶体。

2、锆钛酸铅系压电陶瓷 (PZT)

锆钛酸铅是由 PbTiO_3 和 PbZrO_3 组成的固溶体 $\text{Pb}(\text{Zr、Ti})\text{O}_3$ 。它与钛酸钡相比，压电系数更大，居里温度在 300°C 以上，各项机电参数受温度影响小，时间稳定性好。此外，在锆钛酸中添加一种或两种其它微量元素 (如铌、锶、锡、锰、钨等) 还可以获得不同性能的PZT材料。因此锆钛酸铅系压电陶瓷是目前压电式传感器中应用最广泛的压电材料。

(三)、压电半导体

1968年出现了多种压电半导体材料，如硫化锌、碲化镉、氧化锌、硫化镉、碲化锌和砷化镓等。

特点：既有压电特性，又有半导体性质，因此，可研制压电传感器，也可制作半导体电子器件，还可将二者结合，研制新型集成压电传感器。这种力敏器件具有灵敏度高，响应时间短等优点。此外用ZnO作为表面声波振荡器的压电材料，还可测温度等参数。

(四)、高分子压电材料

高分子压电薄膜：是某些高分子聚合物经延展和拉伸以及电场极化后具有压电性能的材料，如聚二氟乙烯
优点：耐冲击、不易破碎、稳定性好、频带宽。

高分子压电陶瓷薄膜：是在高分子化合物中加入压电陶瓷粉末制成的，这种复合材料保持了高分子压电陶瓷薄膜的柔软性，又具有较高的压电系数。

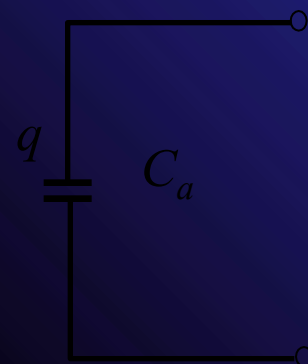
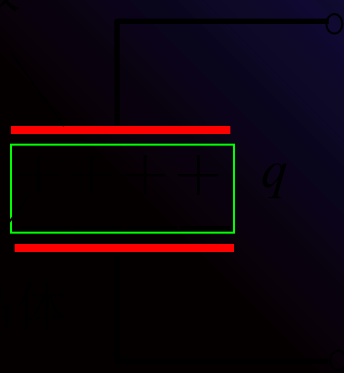
三、压电式传感器的测量电路

(一) 等效电路

传感器中的压电晶体承受被测机械应力的作用，在晶体的两个极面上出现极性相反但电量相等的电荷，可把它看成是一个**静电发生器**，也可把它视为一个**电压源**，中间为绝缘体的**电容器**，其

$$C_a = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$$

电极



(b)

$$U_a = \frac{q}{C_a}$$

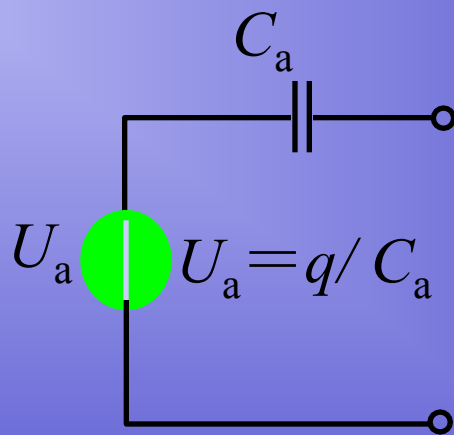
等效电路

- 压电元件电荷Q的开路电压U可等效为电源与电容串联
- 或等效为一个电荷源Q和电容Ca并联。

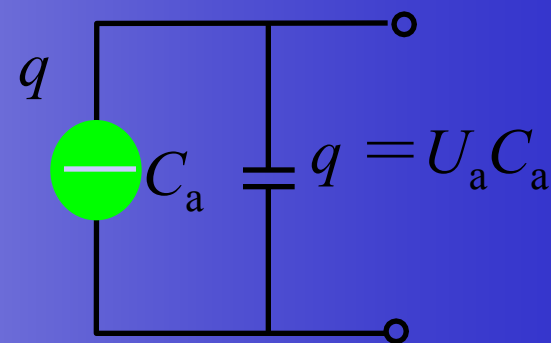
$$U = \frac{Q}{C_a}$$

等效电容

$$C_a = \frac{\epsilon S}{d}$$



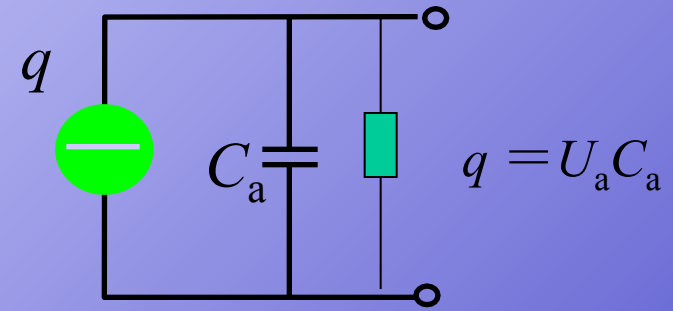
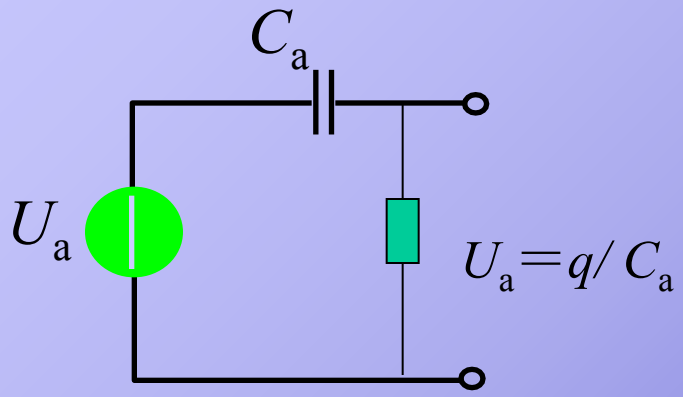
(a) 电压等效电路



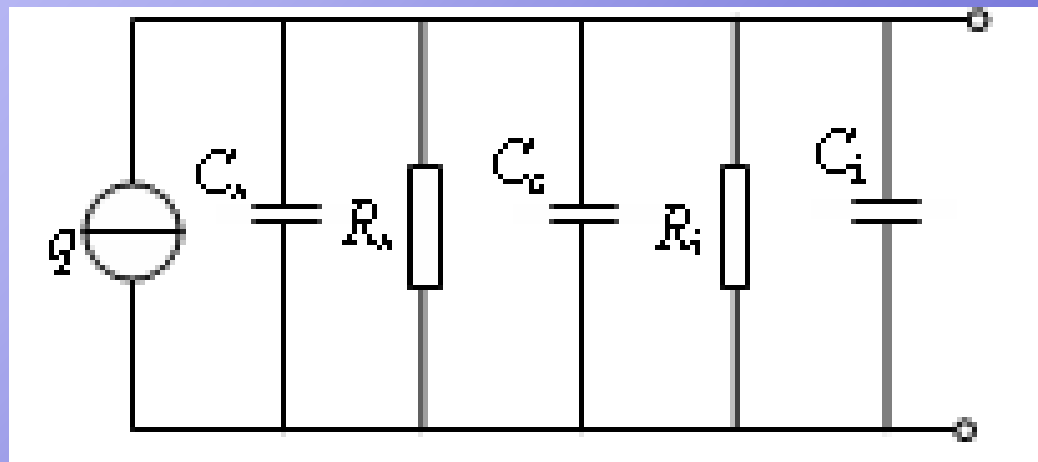
(b) 电荷等效电路

压电传感器等效电路

压电式传感器不适合于静态参数测量



(a) 电压等效电路 (b) 电荷等效电路
压电传感器等效电路



- C_a 传感器的固有电容
- C_i 前置放大器输入电容
- C_c 连线电容
- R_a 传感器的漏电阻
- R_i 前置放大器输入电阻

压电传感器的完整等效电路

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/517132030024006103>