

[英] J. 范兰德拉特 R. E. 塞德林顿 主编

压电陶瓷



科学出版社

压电陶瓷

〔英〕 J. 范兰德兰特 R. E. 塞德林顿 主编

彭浩波 马乐山 胡邦豪 译

王四德 许奎飠

李 远 校

科 学 出 版 社

1 9 8 1

内 容 简 介

本书从应用角度出发,阐述压电陶瓷的基本原理,并着重对各种压电陶瓷器件的工作原理、线路设计、装配工艺以及特性数据、使用中的各种问题作了详尽论述。全书共九章:引言,陶瓷材料的压电效应,可燃气体的 PXE 点火, PXE 弯曲元件,滤波器中的谐振器, PXE 声和超声空气换能器,回声测深仪, PXE 高声强换能器, PXE 延迟线换能器,书末附有附录和参考文献等。

本书可供从事于设计、制作和使用压电陶瓷器件的工程技术人员、科研人员及高等院校有关专业师生参考。

J. van Randerat R. E. Settrington

PIEZOELECTRIC CERAMICS

Mullard Limited, 1974

压 电 陶 瓷

〔英〕 J. 范兰德兰特 R. E. 塞德林顿 主编

彭浩波 马乐山 胡邦豪 译

王四德 许奎钊

李 远 校

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981 年 1 月 第 一 版 开本: 787 × 1092 1/32

1981 年 1 月 第 一 次 印 刷 印张: 7 1/8

印数: 0001—2,920 字数: 159,000

统一书号: 13031 · 1442

本社书号: 1989 · 13—3

定 价: 1.10 元

译 者 的 话

压电效应早在 1880 年就为雅克和皮埃尔·居里兄弟所发现,但这一效应的广泛应用,只是在压电陶瓷发现之后才得以实现。

本世纪四十年代发现了钛酸钡,五十年代发现了锆钛酸铅(PZT)和以锆钛酸铅为基的三元系、四元系,满足了不同的特殊要求。七十年代初,又研制成功具有电光效应的锆钛酸铅镧(PLZT)透明陶瓷材料,近年来出现了锆钛酸铅和分子聚合物压电体的复合材料以及压电薄膜等,这些材料为压电材料的应用开辟了新的前景。

压电陶瓷是一种多晶材料,它以制作简便,成本低廉以及换能效率较高等优点,得到了迅速发展。压电陶瓷的品种不断推陈出新,其应用领域方兴未艾。目前压电陶瓷的应用已渗透到国防建设及国民经济的各个领域,从导航的压电陀螺到探测地下压力变化的换能器;从日常生活用的扬声器、传声器到现代尖端科学用的红外探测器、电子计算机存储器;从民用的安全保险装置到军用的报警器;从气体的引燃到超声、水声方面的应用等。反过来,这些应用又促进了压电陶瓷材料本身的发展。为了适应压电陶瓷学科及其应用的发展,我们翻译了本书,以供我国读者参考。

在本书翻译过程中,曾先后得到韦宝镠、张德俊、蒋危平、林海全、许克克、吕干林及郑光祖等同志的支持和帮助,最后承李远同志对全书译稿作了仔细校订。对他们提出的许多宝贵意见,谨在此一并致谢。

本书涉及压电陶瓷应用的许多方面，译文虽经一再斟酌修改，原文中个别错误作了订正，但由于译者水平有限，错误在所难免，请读者批评指正。

译 者

一九七九年九月

符 号 表

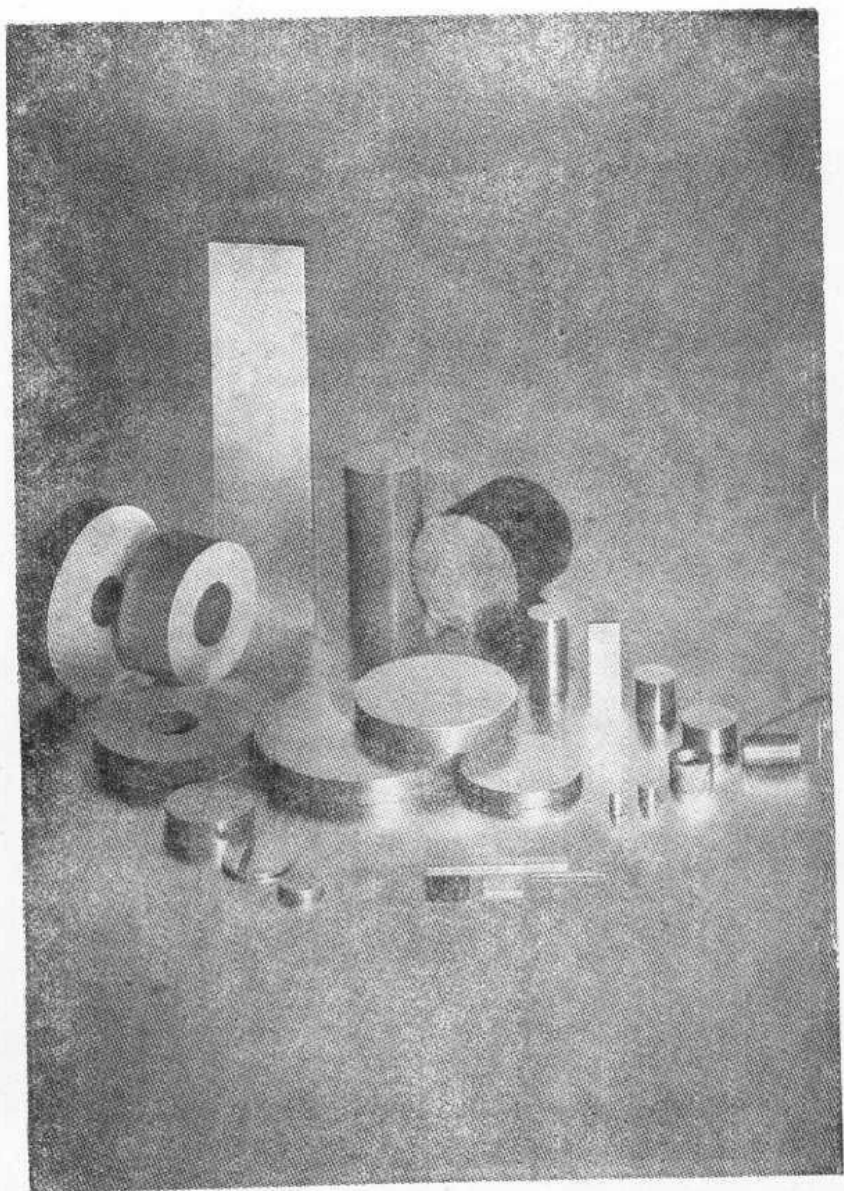
<p>A = 表面积</p> <p>B = 带宽; 体积</p> <p>C = 电容</p> <p>D = 电位移; 直径</p> <p>d = 压电应变常数</p> <p>E = 电场强度</p> <p>F = 力</p> <p>f = 频率</p> <p>f_M = 最大响应频率</p> <p>f_m = 最小阻抗频率</p> <p>f_n = 最大阻抗频率</p> <p>G = 增益</p> <p>g = 压电电压常数</p> <p>h = 高度</p> <p>I = 声强</p> <p>J = 贝塞尔函数</p> <p>k = 耦合系数</p> <p>L = 电感</p> <p>l = 长度</p> <p>M = 压电伏值</p> <p>N = 频率常数</p> <p>n = 任意正整数</p> <p>P = 功率</p> <p>p = 声压</p>	<p>Q = 品质因数</p> <p>Q_e = 电品质因数</p> <p>Q_m = 机械品质因数</p> <p>R = 电阻</p> <p>S = 应变(相对形变)</p> <p>s = 弹性柔顺系数</p> <p>T = 机械应力; 温度</p> <p>T_c = 应力幅度</p> <p>t = 时间</p> <p>u = 冲击速度</p> <p>V = 电压</p> <p>v = 传播速度; 速度</p> <p>W = 能量</p> <p>w = 宽度</p> <p>Y = 弹性模量; 电导纳</p> <p>Z = 阻抗</p> <p>z = 挠曲</p> <p>$\tan\delta$ = 介电损耗因数</p> <p>ε = 绝对介电常数</p> <p>ζ = 辐射系数</p> <p>η = 效率</p> <p>ϑ_c = 居里温度</p> <p>λ = 波长</p> <p>ρ_{el} = 电阻率</p>
--	--

σ = 横向收缩泊松比

τ = 延迟时间

ω = 角频率

ρ_m = 质量密度



照片 1

目 录

第一章	引言	1
第二章	陶瓷材料的压电效应	4
2.1	概述	4
2.2	实例	7
2.3	压电参数的理论和定义	9
2.4	退极化	15
2.5	稳定性	17
2.6	PXE 材料的类别及其性质	17
第三章	可燃气体的 PXE 点火	23
3.1	概述	23
3.2	PXE 产生的高压	23
3.3	点火装置的结构	31
3.4	静态点火器(挤压作用)	35
3.5	冲击点火器	36
3.6	点燃率的研究	39
第四章	PXE 弯曲元件	41
4.1	工作原理	41
4.2	弯曲元件的支撑	43
4.3	弯曲元件的应用	44
4.4	低于谐振区的静态和动态特性	45
4.5	谐振区的特性	50
4.6	PXE 弯曲元件的最大输出	53
4.7	应用实例	54

第五章	滤波器中的陶瓷谐振器	65
5.1	工作模式和结构	66
5.2	谐振器的封装	69
5.3	谐振器的特性及其测量	69
5.4	滤波器中所用的谐振器	72
第六章	声和超声空气换能器	79
6.1	概述	79
6.2	应用	80
6.3	超声空气换能器的结构和特性	82
6.4	36k Hz 超声空气换能器的设计与特性	88
6.5	36k Hz 超声空气换能器的发射器电路	94
6.6	36k Hz 超声空气换能器的接收器电路	97
6.7	一种简单的 3 kHz 音频发生器	106
6.8	超声保险带的安全系统	108
6.9	PXE 电话送话器	109
第七章	回声测深仪	111
7.1	概述	111
7.2	回声测深系统的特性	112
7.3	回声测深系统中所用的超声换能器	113
7.4	电匹配	116
7.5	回声测深仪换能器的测量	117
7.6	一种典型回声测深仪换能器特性的数据	120
7.7	回声测深系统的发射和接收电路	121
第八章	PXE 高声强换能器	127
8.1	概述	127
8.2	复合换能器的优点	128
8.3	用不同的端截面增加辐射声强和带宽	130
8.4	不加预应力的复合换能器的特性	141

8.5	加预应力的复合换能器(及其应用)	142
8.6	圆盘换能器(与清洗槽粘结)	148
第九章	PXE 延迟线换能器	151
9.1	概述	151
9.2	固体延迟线	152
9.3	高耦合系数的 PXE 换能器	153
9.4	振动模式	155
9.5	换能器的指向性	156
9.6	切变波换能器的粘结层	159
9.7	切变波换能器用的 PXE 材料	159
9.8	一种实际延迟线的描述	160
附录 A	PXE 换能器的动态特性	163
附录 B	粘结技术	173
B.1	胶合	173
B.2	焊接	174
附录 C	温度图表	176
附录 D	耦合系数图表	197
附录 E	七种重要振动模式的评述	199
附录 F	国际单位制	202
	参考文献	206
	索引	207

第一章 引言

当一些各向异性晶体承受机械应力时会产生电偶极子，这种现象称为压电效应*。这些晶体也具有逆效应，即在电场作用下其尺寸发生变化。有几种天然晶体(如石英、电气石和罗谢耳盐)是传统的压电材料。多年来，这些材料很好地被用来制作将电能转换为机械能(或将机械能转换为电能)的换能器。无可置疑，这些材料在某些特殊应用中将继续使用。

陶瓷压电材料在若干年前就已发展起来，随后又不断地得到改进。这些材料有着广泛应用，本书将讨论这些应用，可以预料，继续进一步研究，将使这些材料得到更为广泛的应用。

从物理性质来看，陶瓷压电材料是硬的，但从化学性质来看，这种材料却是“惰性”的，并且不受潮湿和其他大气条件的影 响。这些材料的机械性质与那些众所周知的绝缘陶瓷类似，而且两者都是采用大致相同的方法制成的。

由于陶瓷所具有的特性，这些新的压电材料几乎可以做任何形状和大小，其极化方向可自由选择，如照片 1 所示。因此，在换能器设计方面，陶瓷压电材料比任何单晶材料更富有多方面的适应性。而且，陶瓷压电材料非常“坚硬”，也就是说，它们具有施加或承受很大应力的能力。

稍许变动材料的化学组成，就可突出材料的一种或多种特性，从而可满足特殊的要求。因此，压电材料现在有了更多的品种，每种都可做成适于一个特定的应用领域，其性能经过

* 这一效应在 1880 年为雅克和皮埃尔·居里兄弟所发现。

严格检验,以满足高质量要求(54页照片 II)

这些材料的应用范围是极其广泛的,并可分为下列几类:

高压发生器(作点火用)

气体设备	闪光灯
打火机	小型汽油发动机
引爆	

大功率超声波发生器

超声清洗(工业和家庭设备)	塑料和金属的超声焊接和钻孔
声纳	超声搪锡
回声测深	雾化
水下电话	粉碎

空气中的声和超声换能器

传声器(如电话用的)	扬声器(如高频扬声器)
入侵报警系统	信号设备中的音频发生器
遥控	

拾音器和传感器

电唱机	医疗设备
加速度计	汽车
机械装置的检测系统 (如纺织机器)	乐器

谐振器和滤波器

收音机	遥控
电视	电信

延迟线

彩色电视

电子计算机

键盘

电传打字机

自动售货机

台式计算机和电子计算机

电话

其他

高压变压器

微移控制

小型电动机

流量计

模拟记忆

探伤仪

第二章 陶瓷材料的压电效应

2.1 概 述

为了加深对陶瓷中压电效应的理解，我们必须先从微观尺度上来研究材料的性能。一种显示各向异性(如压电性)的材料，其晶体结构要求无对称中心。这就意味着晶体中至少有一个轴，若沿着该轴从相反方向观察时，就看见原子排列不同。

压电陶瓷是铁电材料。在称为居里温度 θ_c 的某一温度以上时，铁电体的晶体结构有对称中心，因而没有电偶极矩。在居里温度以下时，晶体结构发生相变，变成无对称中心的更复杂的结构。在这种相中，晶体有自发的电偶极子，通过外加足够高的电场，该偶极子可以反转，也可以转到某些允许的方向。这类材料的电性能在物理上与铁磁材料的磁性能相似，因而称为铁电材料。这类材料不一定要包含铁作为它的一种重要组分。

单晶冷却(不存在电场)到居里温度以下，便包含着许多“畴”，在每个畴中电偶极子取向排列在一个特定的容许方向上。对整个晶体求和，晶体的净电偶极子为零。但是，当晶体在电场存在的情况下进行冷却时，这些畴就倾向于排列在最接近于电场方向，因而整个晶体显示为一个电偶极子。如果该晶体受到应力时，晶格就会畸变，而且该应力将使一些畴减小，另一些畴增大，两者都使晶体的总偶极矩发生变化。在一定的应力范围(取决于具体材料)内，偶极子随应力的变化近

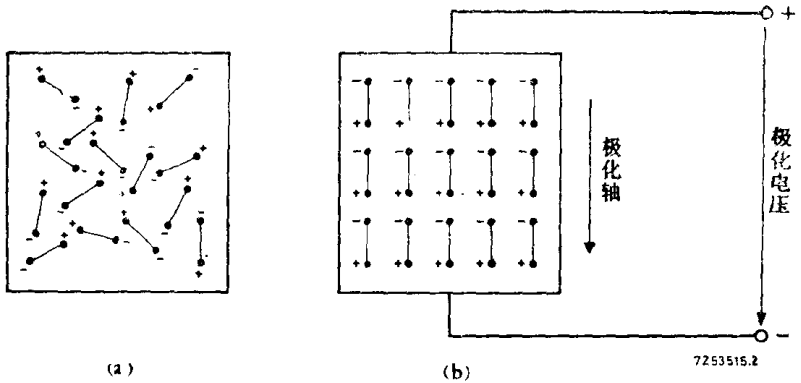


图 2.1 压电材料中(畴的)电偶极子 (a) 极化前 (b) 极化后(理想状态).

似于线性，而且是可逆的。这就是铁电材料中压电性的基础。

压电陶瓷可以看作是无规取向(图 2.1(a))的微晶群。由于这种无规取向和微晶中的畴结构，烧结后的陶瓷体(从宏观尺度来看)是各向同性的，同时不呈现压电效应。

元件通过极化处理可以在任意选择的极性方向上产生压电性，这种极化要在略低于居里点的温度下，将陶瓷置于强电场之中进行。

金属电极通常被敷在材料的表面，电压加在两电极之间。结果陶瓷体在电场方向伸长。由于微晶的无规取向和晶体内偶极子只能有某些允许的方向这一事实，因此，用电场作用来达到理想的偶极子排列(图 2.1(b))是不可能的。但是，在每个微晶内允许有几个方向，因此，用电场有可能获得适当程度的取向排列。

在产品冷却并除去极化电场后，偶极子不容易回转回到原来位置，我们将其称之为陶瓷材料的剩余极化。这时陶瓷体就变成了永久性的压电体，可将机械能转换为电能，或将电能

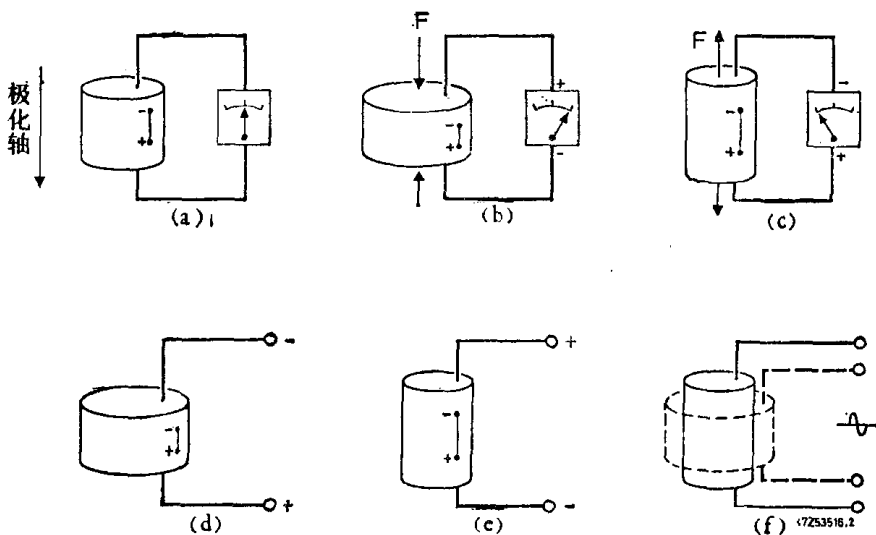


图 2.2 在一个压电陶瓷圆柱体上的压电效应(为清楚起见,只示出一个偶极子)。

转换为机械能。因此,极化处理对于这类材料是很必要的,通常这是最后的一道工序。

图 2.2 说明压电陶瓷圆柱体的压电效应。为了清楚起见,已将该效应加以放大。图 2.2(a) 表示在空载条件下的圆柱体。如果加上一个外力使材料产生压缩或伸张应变时,产生的形变就引起偶极矩变化,结果便在电极之间出现电压。如果机械应力使陶瓷体恢复到原来形态、即极化前的形态(图 2.2(b)),量得的电压就将与极化电压的极性相同。当机械应力反向时,电极上的电压也将反向(图 2.2(c))。

如果将与极化电压极性相反的电压加到电极上,圆柱体就会缩短(图 2.2(d))。若外加电压的极性与极化电压的极性相同,圆柱体就将伸长(图 2.2(e))。当加上交流电压时,圆柱体就将交替地伸长和缩短(图 2.2(f))。