

电子工业技术词典

电子陶瓷与压电、铁电晶体

R
N1-61
/9

国防工业出版社

电子工业技术词典

电子陶瓷与压电、铁电晶体

《电子工业技术词典》编辑委员会 编



C257187

国防工业出版社

内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》(试用本)的基础上作了较大修改和增补而编写的。

本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照,书末附有英文索引,合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前,将先分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序,将视具体情况而定。

本分册是《词典》第九章电子陶瓷与压电、铁电晶体,内容包括:物理基础,电子陶瓷,压电、铁电晶体,工艺及应用等五节。

电子工业技术词典

电子陶瓷与压电、铁电晶体

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₁₆ 印张5¹/₄ 105千字

1977年6月第一版 1977年6月第一次印刷 印数:00,001—17,500册

统一书号:17034·29-32 定价:0.59元

前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- | | |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础； | 二、基本电子线路； |
| 三、网络分析与综合； | 四、电波传播与天线； |
| 五、信息论； | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路； | 八、磁性材料与器件； |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件； |
| 十一、电线与电缆； | 十二、电子管； |
| 十三、半导体； | 十四、电源； |
| 十五、其它元器件； | 十六、通信； |

- | | |
|----------------|------------------|
| 十七、广播与电视； | 十八、雷达； |
| 十九、导航； | 二十、自动控制与遥控、遥测； |
| 二十一、电子对抗； | 二十二、电子计算机； |
| 二十三、系统工程； | 二十四、电子技术的其它应用； |
| 二十五、微波技术； | 二十六、显示技术； |
| 二十七、红外技术； | 二十八、激光技术； |
| 二十九、电声； | 三十、超声； |
| 三十一、声纳； | 三十二、专用工艺设备与净化技术； |
| 三十三、电子测量技术与设备； | 三十四、可靠性。 |

各章互有联系，并尽量避免章节间词汇的重复，故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录，正文中各词汇后附有英文对照，最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版，各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作，自始至终是在毛主席革命路线的指引下，在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主，自力更生”的伟大方针，坚持了群众路线，实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学两个三结合，以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限，加上时间仓促，虽然作了很大努力，但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处，恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

目 录

一、物 理 基 础

晶系	9-1	谐振频率	9-6
点阵	9-1	反谐振频率	9-7
点群	9-1	基音频率	9-7
晶类	9-2	泛音频率	9-7
空间群	9-2	标称频率	9-7
三斜晶系	9-2	寄生频率	9-7
单斜晶系	9-2	频率稳定度	9-7
斜方晶系	9-3	频率老化	9-7
三方晶系	9-3	频率温度系数	9-7
四方晶系	9-3	零温度系数点	9-7
六方晶系	9-3	频率温度特性	9-7
立方晶系	9-3	频率误差	9-8
等轴晶系	9-3	传输线路法	9-8
原始格子	9-3	谐振-反谐振法	9-8
底心格子	9-4	压电效应	9-8
体心格子	9-4	正压电效应	9-8
面心格子	9-4	逆压电效应	9-8
钙钛矿型结构	9-4	电致伸缩效应	9-8
相图	9-4	热释电效应	9-8
自发极化	9-4	铁弹性效应	9-9
铁电性	9-5	弹性常数	9-9
铁电畴	9-5	弹性柔顺常数	9-9
电滞回线	9-5	弹性刚度常数	9-9
压电振子	9-5	机械品质因数	9-9
压电振子等效电路	9-5	压电振子的“优值”	9-10
最小阻抗频率	9-6	泊松比	9-10
最大导纳频率	9-6	纵横方向变形尺寸比	9-10
最大阻抗频率	9-6	铁电居里点	9-10
最小导纳频率	9-6	介质隔离率	9-10
串联谐振频率	9-6	自由介电常数	9-10
并联谐振频率	9-6	受夹介电常数	9-11

- 电学品质因数·····9-11
- 介质损耗·····9-11
- 损耗因子·····9-11
- 压电常数·····9-11
- 压电常数 d_{ij} ·····9-12
- 压电应变常数·····9-12
- 压电常数 g_{ij} ·····9-12
- 压电电压常数·····9-12
- 压电常数 e_{ij} ·····9-12
- 压电应力常数·····9-12
- 压电常数 h_{ij} ·····9-12
- 压电劲度常数·····9-13
- 机电耦合系数·····9-13
- 平面机电耦合系数·····9-13
- 横向机电耦合系数·····9-13
- 纵向机电耦合系数·····9-14
- 厚度振动机电耦合系数·····9-14
- 厚度切变振动机电耦合系数·····9-15
- 频率常数·····9-15
- 时间稳定性·····9-15
- 温度稳定性·····9-16
- 绝缘强度·····9-16
- 抗弯强度·····9-16
- 导热系数·····9-16
- 线膨胀系数·····9-16
- 振动模式·····9-17
- 径向伸缩振动模·····9-17
- 环电极径向伸缩振动模·····9-17
- 长度伸缩振动模·····9-18
- 纵向长度伸缩振动模·····9-18
- 横向长度伸缩振动模·····9-18
- 厚度伸缩振动模·····9-18
- 厚度弯曲振动模·····9-18
- 宽度弯曲振动模·····9-19
- 鼓形厚度弯曲振子·····9-19
- 开槽环形弯曲振子·····9-19
- 厚度切变振动模·····9-19
- 能阱振动模·····9-20

二、电子陶瓷

- 电子陶瓷·····9-21
- 装置瓷·····9-21
- 电真空瓷·····9-21
- 陶瓷原料·····9-21
- 高岭土·····9-22
- 膨润土·····9-22
- 滑石·····9-22
- 石英·····9-22
- 滑石瓷·····9-22
- 镁橄榄石瓷·····9-22
- 钡长石瓷·····9-23
- 刚玉-莫来石瓷·····9-23
- 低碱瓷·····9-23
- 氧化铝瓷·····9-23
- 氧化铍瓷·····9-24
- 氧化镁瓷·····9-24
- 氮化硼瓷·····9-24
- 氮化硅瓷·····9-25
- 四钛酸钡瓷·····9-25
- 锆酸盐瓷·····9-25
- 多孔陶瓷·····9-26
- 透明陶瓷·····9-26
- 蓝宝石·····9-26
- 电容器陶瓷·····9-26
- 金红石瓷·····9-26
- 钛酸钙瓷·····9-27
- 钛镁系瓷·····9-27
- 钛锆系瓷·····9-27
- 铁电陶瓷·····9-27
- 低温烧结陶瓷·····9-27
- 镁-钨-钛系统陶瓷·····9-28
- 钛酸钡-二钛钨-钛酸锶系统陶瓷·····9-28
- 半导体陶瓷·····9-28
- 压电陶瓷·····9-29

反铁电陶瓷·····	9-29	二元系陶瓷·····	9-30
透明铁电陶瓷·····	9-29	锆钛酸铅陶瓷·····	9-30
钛酸钡陶瓷·····	9-29	三元系陶瓷·····	9-30
钛酸铅陶瓷·····	9-29	铌酸盐系陶瓷·····	9-31

三、压电、铁电晶体

晶体·····	9-32	钛酸钡·····	9-38
压电晶体·····	9-32	钽铌酸钾·····	9-38
石英晶体·····	9-32	铌酸锂·····	9-39
β石英·····	9-33	钽酸锂·····	9-39
α石英·····	9-33	铌酸钡钠·····	9-39
左旋石英·····	9-33	铌酸锶钡·····	9-40
右旋石英·····	9-33	碘酸锂·····	9-40
石英的坐标轴·····	9-33	镓酸锂·····	9-40
光轴·····	9-33	锗酸锂·····	9-41
电轴·····	9-33	钛酸镧·····	9-41
机械轴·····	9-33	锗酸铋·····	9-41
光双晶·····	9-33	锗酸铅·····	9-41
电双晶·····	9-34	硅酸铋·····	9-42
石英元件·····	9-34	二氧化碲·····	9-42
石英振子·····	9-34	对位黄碲矿晶体·····	9-42
切型·····	9-34	氟化钡锰·····	9-42
切型符号·····	9-34	硫碘化铋·····	9-42
热释电晶体·····	9-35	钨酸钆·····	9-43
铁电晶体·····	9-35	锗钒酸铅·····	9-43
反铁电晶体·····	9-36	硫砷铈·····	9-43
电光晶体·····	9-36	钨酸铅·····	9-43
声光晶体·····	9-36	铈酸碲·····	9-44
酒石酸钾钠·····	9-36	氮化铝·····	9-44
罗息盐·····	9-36	硫化汞·····	9-44
息格涅特盐·····	9-36	朱砂·····	9-44
磷酸二氢铵·····	9-36	硫化镉·····	9-44
磷酸二氢钾·····	9-37	氧化锌·····	9-45
磷酸二氘钾·····	9-37	钛酸铋·····	9-45
砷酸二氘钾·····	9-37	硫酸三甘肽·····	9-45
铌酸钾·····	9-38	三甘氨酸硫酸盐·····	9-45

四、工 艺

- 原材料的混合·····9-46
 预烧·····9-46
 粉碎·····9-46
 气流粉碎·····9-46
 振动磨·····9-46
 球磨·····9-46
 助磨剂·····9-47
 颗粒度测定·····9-47
 筛分析法·····9-47
 沉降分析法·····9-47
 除铁·····9-47
 压滤·····9-47
 喷雾干燥·····9-48
 真空练泥·····9-48
 陈腐·····9-48
 捏练·····9-48
 打粉·····9-48
 预压·····9-48
 造粒·····9-48
 成型·····9-48
 干压·····9-49
 注浆·····9-49
 挤压·····9-49
 热压铸·····9-49
 流延法薄膜成型·····9-49
 轧膜·····9-50
 热压·····9-50
 等静压·····9-51
 高温等静压·····9-51
 干燥·····9-52
 修整·····9-52
 匝钵·····9-52
 排蜡·····9-52
 焙烧·····9-52
 烧成·····9-52
 烧后加工·····9-52
 上釉·····9-52
 高温釉·····9-53
 低温釉·····9-53
 金属化·····9-53
 极化·····9-53
 焰熔法·····9-53
 水热法·····9-53
 助熔剂提拉法·····9-54
 熔盐法·····9-54
 助熔剂法·····9-54
 水溶液降温析晶法·····9-54
 水溶液蒸发结晶法·····9-54
 晶体光轴的测定·····9-55
 光学晶体的切割·····9-55
 光学晶体的研磨·····9-55
 光学晶体的抛光·····9-55
 定向·····9-55
 X射线定向·····9-56
 腐蚀定向·····9-56
 光学定向·····9-56
 切割·····9-56
 外刃切割·····9-56
 内刃切割·····9-56
 研磨·····9-56
 行星研磨·····9-56
 粘板研磨·····9-56
 磨边·····9-56
 磨圆·····9-57
 磨球面·····9-57
 抛光·····9-57
 被电极·····9-57
 烧银点·····9-57
 金属层牢化·····9-57
 焊电极引线·····9-57
 调频·····9-57
 校频·····9-58

组装·····	9-58	排气·····	9-58
封口·····	9-58	测试·····	9-58

五、应 用

陶瓷滤波器·····	9-59	压电加速度计·····	9-65
低频陶瓷滤波器·····	9-59	压电高温计·····	9-66
中频陶瓷滤波器·····	9-59	压电流量计·····	9-66
高频陶瓷滤波器·····	9-60	压电陶瓷延迟线·····	9-66
多重模式滤波器·····	9-60	石英谐振器·····	9-67
压电陶瓷鉴频器·····	9-60	石英晶体滤波器·····	9-67
压电音叉·····	9-61	单片石英晶体滤波器·····	9-68
压电陶瓷气体火花塞·····	9-61	石英晶体振荡器·····	9-68
压电打火机·····	9-62	电压控制石英晶体振荡器·····	9-68
压电压力计·····	9-62	温度补偿石英晶体振荡器·····	9-68
压电厚度计·····	9-62	高稳定度石英晶体振荡器·····	9-69
陶瓷变压器·····	9-62	负载电容·····	9-69
陶瓷直流电源变换器·····	9-63	等效串联电阻·····	9-69
压电角速度传感器·····	9-64	等效并联电阻·····	9-69
压电陀螺·····	9-65	激励电平·····	9-69

一、物理基础

晶系

crystal system

根据晶体的宏观对称点，按坐标系的性质可以将各种晶体归纳为七大晶系，即：三斜，单斜，斜方（正交），三方（三角），四方（正方、四角），六方（六角），立方（等轴）晶系。

晶体外形的这种规律性乃是晶体内部微观对称的表现形式。晶体内部微观质点在空间作有规律的排列，呈点阵结构。在七大晶系中共有 14 种空间点阵。

点阵

lattice

晶体的内部结构可以概括为由一些相同的化学质点在空间有规律地作周期性的无限分布。这些化学质点（代表原子、离子、分子或其集团的重心）的分布总体叫做点阵，也称格子。见“晶系”。

七大晶系中共有 14 种空间点阵，即：原始三斜，原始单斜，底心单斜，原始斜方，底心斜方，体心斜方，面心斜方，六方（六角），三方（三角），原始四方（原始四角），体心四方（体心四角），原始立方，体心立方，面心立方。

点群

point group

晶体的宏观对称性可用存在于晶体外形上的对称要素表示。宏观对称要素包括：对称面（用国际符号 m 表示）、对称心（ i ）、对称轴（ n ）和反轴（ \bar{n} ）等。晶体可只存在一个对称要素，也可有多个对称要素按一定方式的组合。由于晶体外形是有限的空间，在对

晶体的 32 种点群符号

晶系名称	点群符号	
	国际符号	熊夫利符号
三斜	1	C_1
	$\bar{1}$	C_1
单斜	2	C_2
	m	C_s
	$\frac{2}{m}$	C_{2h}
斜方 (正交)	2 2 2	D_2
	2 m m	C_{2v}
	$\frac{2}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}$	D_{2h}
	3	C_3
三方(三角, 菱形)	$\frac{3}{3}$	C_{3i}
	3 2	D_3
	3 m	C_{3v}
	$\frac{3}{3} \frac{2}{m}$	D_{3d}
	4	C_4
四方(四角, 正方)	$\frac{4}{4}$	S_4
	$\frac{4}{m}$	C_{4h}
	4 2 2	D_4
	4 m m	C_{4v}
	$\frac{4}{4} \frac{2}{m}$	D_{2d}
	$\frac{4}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}$	D_{4h}
六方(六角)	6	C_6
	$\frac{6}{6}$	C_{3h}
	$\frac{6}{m}$	C_{6h}
	6 2 2	D_6
	6 m m	C_{6v}
	$\frac{6}{6} \frac{2}{m}$	D_{3h}
	$\frac{6}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}$	D_{6h}
立方(等轴)	2 3	T
	2 $\bar{3}$	T_h
	$\frac{4}{4} \frac{3}{3} \frac{2}{2}$	O
	$\frac{4}{4} \frac{3}{3} \frac{2}{m}$	T_d
	$\frac{4}{m} \frac{3}{3} \frac{2}{m}$	O_h

● 晶体的电光效应、光弹性效应、声光效应、非线性光学效应等特性，参见第二十八章激光技术。振动模式方面，除本节所列外，另参见第三十章超声。

称要素组合时, 必须通过一公共点(即至少有一点不动)。另外, 晶体是一种点阵结构, 对称要素组合的结果不允许产生与点阵结构不相容的对称要素(即 $n = 1, 2, 3, 4, 6; \bar{n} = \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{6}$)。故晶体宏观对称要素组合, 可以得到 32 种对称类型。称之为 32 种点群。点群是指与点操作相应的对称要素群, 其中最少有一点不动。

表示 32 种点群的符号有两种, 一种称为熊夫利符号, 一种为国际符号(见上表)。两者可以连用, 例如属于三方晶系的铈酸锂, 点群对称性为 $C_{3v}-3m$ 。本词典采用国际符号。

晶类

crystal class

即“点群”。

空间群

space group

空间群是晶体结构内部由宏观对称要素和微观对称要素组合而成的对称群。除宏观对称要素外, 晶体的微观对称要素还有平移轴、滑移对称面和螺旋对称轴等。将全部对称要素进行组合可以产生 230 种对称类型, 称为 230 种空间群, 它们分属于 32 种点群中。

常用的空间群符号有两种:

(1) 熊夫利符号: 在熊夫利点群符号的上方加一个指数。

(2) 国际符号: 在国际点群符号前面加一个点阵类型符号。点阵类型符号及意义如下:

- P 代表简单点阵;
- A 代表(100)底心点阵;
- B 代表(010)底心点阵;
- C 代表(001)底心点阵;
- F 代表面心点阵;
- I 代表体心点阵;
- R 代表三方简单点阵。

1, 2, 3, 4, 6 代表对称轴;
 $\bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{6}$ 代表象转轴, $\bar{1}$ 为对称中心, $\bar{2}$ 为对称面;

m 代表对称面, 当对称面垂直结点轴时以 $\frac{2}{m}, \frac{3}{m}, \frac{4}{m}, \frac{6}{m}$ 等表示;

$b_1, b_2, b_3, \dots, 4_1, 4_2, 4_3, \dots$ 等代表螺旋对称轴;

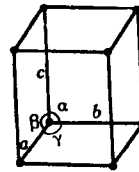
a, b, c, d, n 代表滑移反映面。

习惯上两种符号连用, 例如, 属于体心等轴晶系的钇铝石榴石, 其空间群为 $O_h^{10}-Ia3d$ 。

三斜晶系

triclinic system

三斜晶系的晶体构造为: $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 。此晶系有长短不等三个晶轴, 互相斜交(见图)。

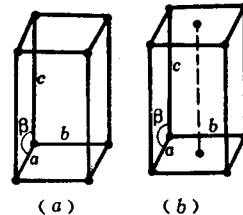


三斜晶系结构简图

单斜晶系

monoclinic system

单斜晶系的晶体构造为: $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$ 。单斜晶系包括有原始单斜和底心单斜二种结构(见图)。



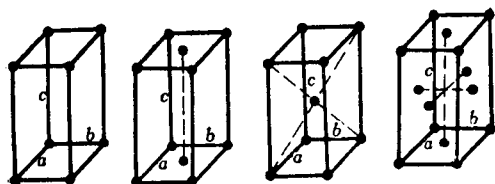
单斜晶系结构简图

a—原始单斜; b—底心单斜。

斜方晶系

orthorhombic system

斜方晶系又称正交晶系，其结构形状和火柴盒相似，其晶体构造为： $a \neq b \neq c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。斜方晶系包括有原始斜方、底心斜方、体心斜方和面心斜方四种结构（见图）。



(a) (b) (c) (d)

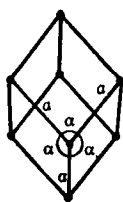
斜方晶系结构简图

a—原始斜方；b—底心斜方；
c—体心斜方；d—面心斜方。

三方晶系

trigonal system

三方晶系又称三角晶系，其晶体构造为： $a = b = c$ ， $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ （见图）。

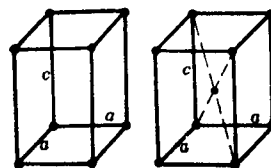


三方晶系结构简图

四方晶系

tetragonal system

四方晶体又称四角晶系，也称正方晶系，其晶体构造为： $a = b \neq c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。四方晶系包括有原始四方和体心四方两种结构（见图）。



(a) (b)

四方晶系结构简图

a—原始四方；b—体心四方。

六方晶系

hexagonal system

六方晶系又称六角晶系，其晶体构造为： $a = b \neq c$ ， $\alpha = \beta = 90^\circ$ ， $\gamma = 120^\circ$ （见图）。

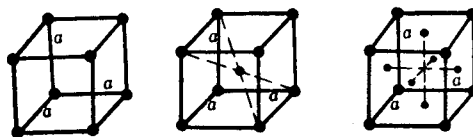


六方晶系结构简图

立方晶系

cubic system

立方晶系又称等轴晶系，其晶体构造为： $a = b = c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。立方晶系包括有原始立方、体心立方和面心立方三种结构（见图）。



(a) (b) (c)

立方晶系结构简图

a—原始立方；b—体心立方；c—面心立方。

等轴晶系

isometric system

即“立方晶系”。

原始格子

primitive lattice; simple lattice

结点只分布于晶胞的角顶的空间格子称

为原始格子(P), 或称简单格子。见“斜方晶系”图 a。

底心格子

base centred lattice

结点只分布于晶胞的角顶和一对面的中心的空间格子称为底心格子(C)。见“斜方晶系”图 b。

体心格子

body centred lattice

结点只分布于晶胞的角顶和平行六面体的中心的空间格子称为体心格子(I)。见“斜方晶系”图 c。

面心格子

face centred lattice

结点只分布于晶胞的角顶和每个面的中心的空间格子称为面心格子(F)。见“斜方晶系”图 d。

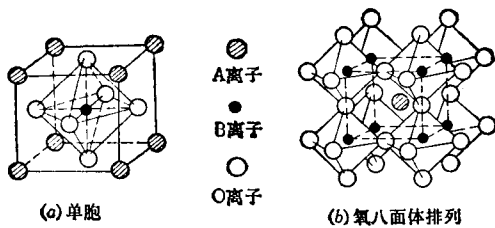
钙钛矿型结构

perovskite structure

目前压电电陶瓷中应用最广泛的BaTiO3, PbTiO3, Pb(ZrxTi1-x)O3, KxNa1-xNbO3 等都属于钙钛矿型结构。这种结构可用ABO3的形式来表示: 其中A代表二价的正离子(如Pb2+, Ba2+)或一价的正离子(如K+, Na+); B代表四价的正离子(如Ti4+, Zr4+)或五价的正离子(如Nb5+)。

钙钛矿型结构可以看成是“氧八面体”组成的(见图)。

钙钛矿型结构各离子最密堆积(各离子



钙钛矿型的晶格结构

之间的空隙最小) 的条件为:

$$r_A + r_O = \sqrt{2}(r_B + r_O)$$

为了使它与实际相符必须为:

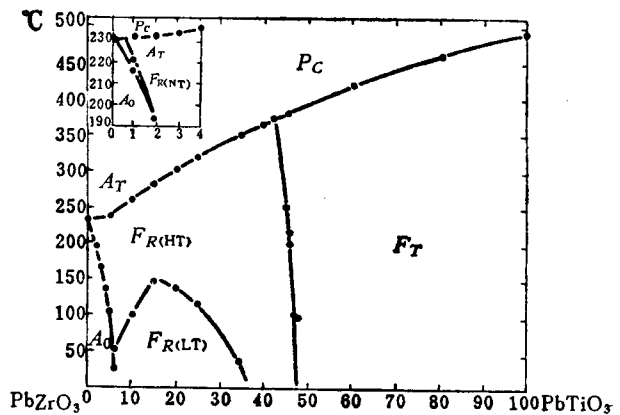
$$r_A + r_O = t\sqrt{2}(r_B + r_O)$$

式中, rA, rB, rO 分别为 A 离子、 B 离子和 O 离子的半径。 t 为容限因子, 其值为 0.9~1.1。

相图

phase diagram

用来表示在化学平衡的条件下, 组份、相结构和温度的变化关系的图, 称为相图(见图)。



PbTiO3-PbZrO3系相图

自发极化

spontaneous polarization

在没有外电场的作用时, 某些晶体中存在着电偶极子的规则排列而产生的极化, 称为自发极化。自发极化是个向量。自发极化与感应极化不同, 它是物质本身特殊的内部结构所固有的电极化, 不是由外电场的作用而发生的。只有在结构上属于十种点群对称性的晶体, 才可能有自发极化。这十种点群是: 1, m, 2, 2mm, 4, 4mm, 3, 3m, 6, 6mm。

在垂直于极化轴的表面上, 单位面积的自发极化电荷量称为自发极化强度, 多以 P, 表示, 实用制单位是库仑/米²。

铁电性

ferroelectricity

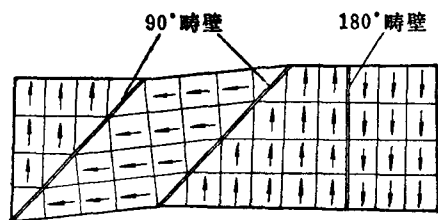
某些晶体在一定温度范围内具有自发极化，而且其自发极化方向可以因外电场而反向，晶体的这种特性称为铁电性。具有铁电性的晶体称为铁电体，之所以称为铁电体，是因为它与铁磁体在许多物理性质上具有一一对应之处（如电滞回线对应磁滞回线，电铸对应磁铸，顺电-铁电相变对应顺磁-铁磁相变，电矩对应磁矩等）。铁电体的介电性能随温度变化的关系呈现异常特性，在居里温度处，介电常数出现极大值，在居里温度以上，介电常数随温度的变化遵从居里-外斯定律。

铁电畴

ferroelectric domains

在铁电晶体的内部，自发极化方向一致的区域称为铁电畴，两个畴之间的界面称为畴壁。某些铁电体（例如铌酸锂）的自发极化仅具有两个可能的（反平行）取向，故畴壁所分开的是反平行畴，这种畴壁称为 180° 畴壁（见图）。某些铁电体（例如钛酸钡）的自发极化具有两个以上的可能取向，因此可能出现更复杂的畴结构。分开自发极化方向互成直角的两个畴的畴壁，称为 90° 畴壁。晶体如果仅由一个畴组成，则称为单畴晶体。但是，通常晶体是多畴的。多畴晶体通过极化处理，可变成单畴晶体。

铁电畴可以用化学腐蚀法、偏光显微镜法、带电粉末沉淀法、液晶法等多种方法来



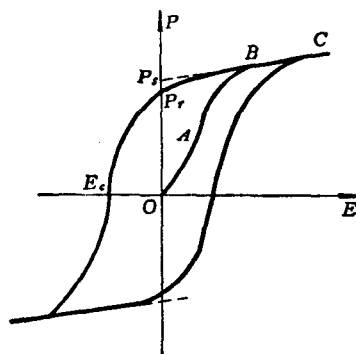
四角晶体的 90° 畴壁和 180° 畴壁示意图
(箭头表示自发极化方向)

观察。

电滞回线

ferroelectric hysteresis loop

当对铁电晶体施加外电场 E 时，在电场较强的情况下，铁电体的极化强度 P 并不是随外电场作线性变化的，而是在一定温度范围内， P 表现为 E 的双值函数，呈现出滞后回线的关系，如图所示。这个 $P-E$ 回线就称为电滞回线。



铁电体的电滞回线

由电滞回线可以测量出铁电体在外电场为零时的剩余极化强度 P_r （回线在纵轴上的截距）和矫顽场强 E_c （回线在横轴上的截距）。矫顽场强 E_c 就是使极化强度重新为零所需要的外电场强度。

压电振子

piezoelectric vibrator

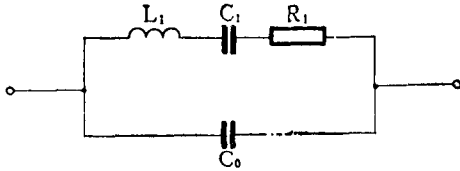
被覆激励电极的压电体称为压电振子。

压电振子是弹性体，具有固有谐振频率 (f_0) 。当施加在压电振子上的激励信号频率等于压电振子的固有谐振频率 f_0 时，压电振子就产生谐振。此时输出的振幅最大，弹性能也最大。压电振子通过逆压电效应而产生机械谐振；这种机械谐振又可使压电振子通过正压电效应而输出电信号。

压电振子等效电路

equivalent circuit of piezoelectric vibrator

用机电类比的方法，将压电振子在谐振频率附近的参数和特性用一相应的电路来表示，这个电路称为压电振子的等效电路（见图）。



压电振子的等效电路

C_0 —并联电容（相当于静电容）； L_1 —动态电感； C_1 —动态电容； R_1 —动态电阻（或称串联谐振电阻）。

最小阻抗频率

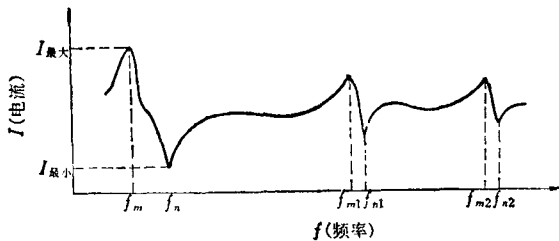
minimum impedance frequency

对压电振子施加交变信号，当振子阻抗出现最小值（或电流出现最大值）时的频率，称为最小阻抗频率，或称最大导纳频率，以 f_m 表示。

压电振子的阻抗随频率变化的特性，也可用振子的电流随频率变化的特性来表示（见图）。

如图所示，当信号频率等于 f_m 时，振子的电流最大而阻抗最小；当信号频率等于最大阻抗频率 f_n 时，振子的电流最小而阻抗最大。

如继续提高输入信号的频率还可有规律地出现一系列电流次最大值和次最小值。其相应的频率为 f_{m1} 和 f_{n1} ， f_{m2} 和 f_{n2} ，…。



压电振子的电流频率变化的示意图

图中，第一次出现的 f_m 和 f_n 称为基音频率；其后依次出现的 f_{m1} 和 f_{n1} ， f_{m2} 和 f_{n2} ，…，则按相应次数分别称为一次泛音频率，二次泛音频率，…。

最大导纳频率

maximum admittance frequency

即“最小阻抗频率”。

最大阻抗频率

maximum impedance frequency

对压电振子施加交变信号，当振子阻抗出现最大值（或电流出现最小值）时的频率，称为最大阻抗频率，或称最小导纳频率，以 f_n 表示（见“最小阻抗频率”）。

最小导纳频率

minimum admittance frequency

即“最大阻抗频率”。

串联谐振频率

series resonance frequency

当压电振子加上交变信号，呈现串联谐振时的频率，称为串联谐振频率，以 f_s 表示。理想的无损耗（ $R_1 = 0$ ， $Q_m = \infty$ ）的压电振子的串联谐振频率由下式决定（见“压电振子等效电路”图）。

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

并联谐振频率

parallel resonance frequency

当压电振子加上交变信号，呈现并联谐振时的频率，称为并联谐振频率，以 f_p 表示。理想的无损耗（ $R_1 = 0$ ， $Q_m = \infty$ ）的压电振子的并联谐振频率由下式决定（见“压电振子等效电路”图）。

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}}}$$

谐振频率

resonance frequency

当压电振子加上交变信号在最小阻抗频

率(f_m)附近,存在一个电抗分量为零,信号电压与电流同相位的频率,这个频率称为压电振子的谐振频率,通常以 f_r 来表示。

反谐振频率

anti-resonance frequency

当电压振子加上交变信号,在最大阻抗频率(f_a)附近,存在一个电纳分量为零,信号电压与电流同相位的频率,这个频率称为压电振子的反谐振频率,通常以 f_a 来表示。

基音频率

fundamental frequency

对于给定的振动模,最低的谐振频率,称为基音频率(或简称基频)。见“最小阻抗频率”。

泛音频率

overtone frequency

对于给定的振动模,基频以外出现的谐振频率,称为泛音频率。见“最小阻抗频率”。

标称频率

nominal frequency

石英谐振器频率的标称值。

寄生频率

unwanted frequency

石英谐振器标称频率以外的谐振频率。

频率稳定度

frequency stability

在一定时间间隔和一定温度下,由于电路参数,工作条件和石英振子性能的变化,所引起的谐振器频率的相对变化,称为频率稳定度。

频率老化

ageing of frequency

石英谐振器在长期工作和存放中,谐振频率随时间的变化,称为频率老化。

频率温度系数

frequency-temperature coefficient

频率温度系数是温度的函数。在某一温度下,温度变化 1°C 时,频率的变化数值与

该温度下的标称频率的比值,称为频率温度系数。其数学表示式为:

$$\text{频率温度系数} = \frac{1}{f} \frac{df}{dT}$$

其中 f 为给定温度下的标称频率, df 为当温度变化 dT 时频率的变化值。

石英晶体的频率温度系数主要取决于切型,也与石英片的尺寸有关,所以适当的选择切型和石英片的尺寸,可以在一个较宽的温度范围内,使频率温度系数等于零或趋近于零。

在实际应用中一般使用的是固定温度范围内平均温度系数的概念。

零温度系数点

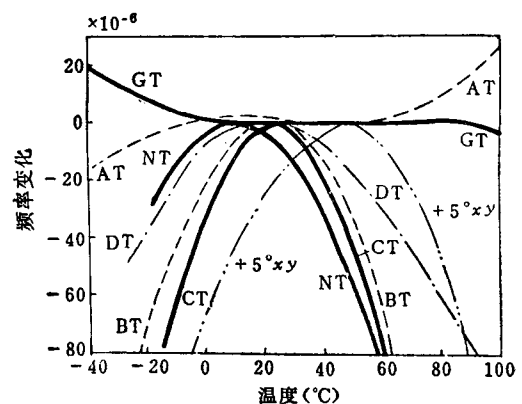
zero temperature coefficient point

频率温度系数等于零的温度,称为零温度系数点。高精度的石英谐振器必须在零温度系数点下进行工作。

频率温度特性

frequency temperature characteristics

用来表示石英谐振器的谐振频率随温度而变化的关系称为频率温度特性。常用切型的频率温度特性如图所示。



常用切型的频率温度特性

从图中看出,AT切型的频率温度特性是一个三次曲线,频率温度特性比较好,在较宽的温度范围内频率变化比较小,是目前广泛采用的切型之一。特别是高精度石英谐