

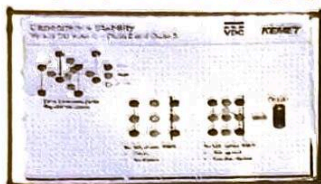
电介质陶瓷的分类和运用

电介质陶瓷是指在外加电场作用下能够发生极化，即极化过程，并通常不具有显著直流导电能力的一类陶瓷材料，广泛应用于电容器、微波通信、电子元件、传感器及储能器件等。

其分类主要依据介电性能、极化机制及功能用途，概括如下：

一、电介质陶瓷的分类和主要运用

○ 高介电常数陶瓷



代表材料： $BaTiO_3$ 、 $SrTiO_3$

具有极高的相对介电常数，部分材料随温度、电场变化其介电性能也会发生明显变化。

主要运用：多层陶瓷电容器 (MLCC)、陶瓷电容器、嵌入式电容及微型化电子元件。

○ 铁电与压电陶瓷



代表材料： $BaTiO_3$ 、PZT (锆钛酸铅)

铁电性陶瓷具有自发极化及电滞回线；压电陶瓷能实现机械能与电能之间的转换。二者有交集，但非同义概念。

主要运用：压电传感器、超声换能器、压电致动器、谐振器、非易失性存储器及铁电储能材料。

○ 微波介质陶瓷



代表材料： $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ 、 $Ba(Zr_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ 、部分氮化硅

具有适宜的介电常数，较低的介电损耗和优良的频率温度稳定性。

主要运用：微波谐振器、滤波器、介质天线、卫星通信以及 5G 射频器件。

○ 绝缘与低损耗介电陶瓷

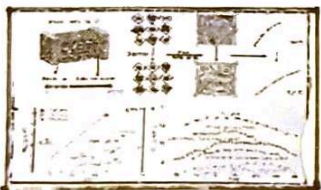


代表材料： Al_2O_3 、滑石粉、部分氮化硅及氧化铝陶瓷。

具有较高电阻率、良好的绝缘性能、一定的热稳定性及较低的介电损耗。

主要运用：高压绝缘子、电气绝缘基板、电子封装、绝缘支撑件、高频电路基板。

○ 弛豫铁电与储能介电陶瓷



代表材料：PMN、PMN-PT、 K_2 、部分改性锆钛酸铅体系

弛豫铁电体通常表现出弛豫相变和频率色散；部分体系具有较高极化强度、较低的剩磁极化或较高的介电损耗。

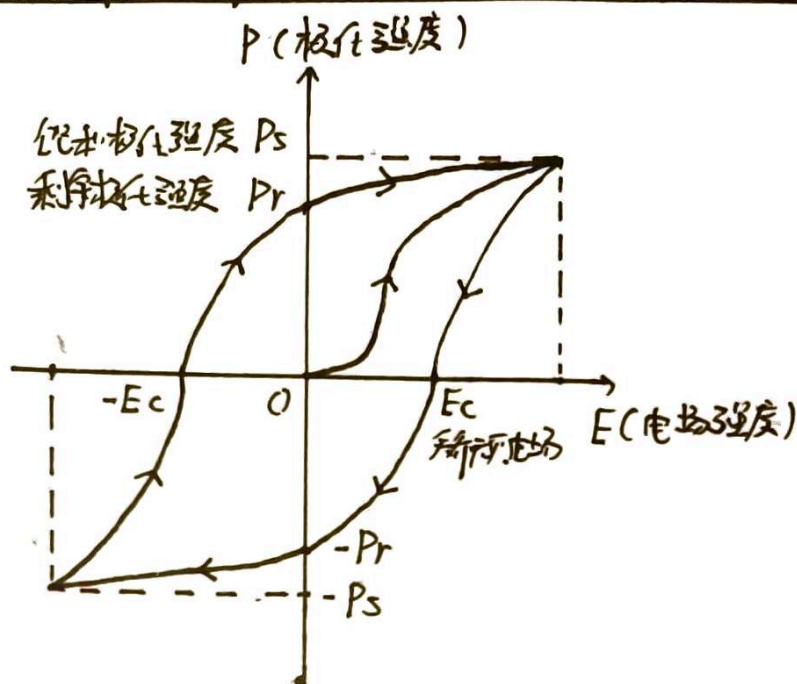
主要运用：脉冲功率电容器、高功率密度储能器件、精密致头器以及高性能介电器件。

二、按照介电性能进行归纳

分类	主要性能特点	典型应用
高介电常数陶瓷	介电常数高, 储存电荷能力强	MLCC、电容器
铁电陶瓷	自发极化, 极化可逆可转	存储器、传感器、致动器
压电陶瓷	机电耦合系数显著	超声换能器、传感器
微波介质陶瓷	低损耗, 频率稳定性好	通信滤波器、谐振器
绝缘介质陶瓷	高电阻率, 耐热, 绝缘性好	绝缘子, 封装基板
储能介质陶瓷	高机械强度, 较高击穿场强及储能效率	脉冲电容器 储能元件

这些分类并非完全相互排斥, 例如 BaTiO_3 既是高介电常数陶瓷, 又是典型铁电陶瓷; PZT 既具有铁电性, 也具有显著的压电性。因此, 应根据材料的主导性能 and 具体应用来归纳分类, 而不是认为严格地三分集合。

铁电体的电滞回线



P_s 饱和极化强度
 电场足够大时, 极化达到饱和的极化强度
 P_r 剩余极化强度
 当电场从正向减少到零时, 铁电体中保留的极化强度.
 E_c 矫顽电场
 使极化强度降为零所需施加的反向电场强度.
 饱和剩余极化强度的两倍
 反映铁电体可用的极化强度大小.

电滞回线包围的面积, 记为 ω , 反映了单位体积在一次电场循环中损耗的能量 (能量损耗密度).

电滞回线的形状反映了铁电体极化随电场变化的滞后特性, 回线越饱满通常表示铁电性能越好 (P_r , P_s 越大, E_c 越小, 损耗越小).

改善 BaTiO_3 铁电陶瓷介质的耐电场强度讨论

改善铁电陶瓷的击穿强度，核心是抑制局部电场集中，减少缺陷和提高微观结构的均匀性从而延缓电击穿的发生。

影响因子	改善方向	主要作用机制
气孔、微裂纹	提高致密度	减少局部电场集中
晶界及晶粒	细化晶粒，均匀组织	优化局部电场与导电通道
点缺陷	控制氧空位及杂质缺陷	降低漏电流和局部发热
烧结工艺	优化温度、时间及气氛	提高绝缘性和组织均匀性
电极界面	改善接触与边缘结构	降低界面缺陷及边缘击穿风险
表面与测试	减少加工损伤，规范测试	降低表面击穿并保证结果可比性

提高 BaTiO_3 铁电性陶瓷介质的击穿强度，应从提高致密度、细化晶粒、合理掺杂、控制氧空位、优化烧结气氛、改善电极界面以及规范试样加工测试与测试条件等方面入手。其本质是降低在缺陷引起的局部电场集中和漏电流，抑制局部热失控和电击穿。

BaTiO₃ 陶瓷半导体化途径有哪些?

BaTiO₃ 陶瓷的半导体化途径主要有施主掺杂、还原气氛烧结和化学计量比控制等,其核心是提高材料中可参与导电的载流子浓度,使原本具有良好绝缘性的 BaTiO₃ 陶瓷转变为半导体。

1. 施主掺杂法

用高价离子取代 BaTiO₃ 晶格中的低价离子,引入施主缺陷,促进电子载流子的产生。

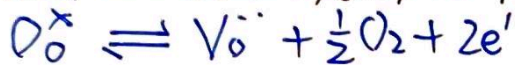
· A位施主掺杂: 以 La^{3+} , Y^{3+} 等取代 Ba^{2+}

· B位施主掺杂: 以 Nb^{5+} , Sb^{5+} 等取代 Ti^{4+}

例如, La^{3+} 取代 Ba^{2+} 后,在电荷补偿条件下,使陶瓷呈现 n 型半导体特性。

2. 还原气氛烧结法

在低氧分压或还原性气氛中烧结,这使部分 Ti^{4+} 还原为 Ti^{3+} ,同时开链键并且产生电子载流子。典型的缺陷反应写为:



其中, $\text{V}_\text{O}^\bullet$ 是带两个有效正电荷的氧空位, e^- 为电子。

3. 控制化学计量比法

通过调整 Ba/Ti 比及相关缺陷平衡,改变陶瓷中的本征缺陷浓度和载流子浓度,从而影响导电率。

这一方法通常要配合烧结和再氧化工艺,调整晶粒内部与晶界的电学性质,可获得晶粒半导体、晶界高电阻的结构。才能有效实现,属于 辅助工艺!

4. 复合掺杂与再氧化处理

采用施主、受主复合掺杂,并结合烧结和再氧化工艺,调整晶粒内部与晶界的电学性质,可有效获得晶粒半导体、晶界高电阻结构。

相比掺杂的联合工艺,这种工艺是 BaTiO₃ 基正温度系数热敏电阻 PTCR 的重要技术路线。

功能陶瓷的定义和种类

定义

功能陶瓷是指利用材料的电、磁、光、热、声、化学或生物等特性，实现能量转换、信息传递、检测、存储以及控制等功能的一类陶瓷。

与主要用于承载、耐磨、而抗虫等用途的结构型陶瓷不同，功能陶瓷主要利用其特殊的物理或化学效应实现特定功能。

种类	特点	经典材料
<u>介电陶瓷</u>	高介电常数；铁电性	BaTiO_3
<u>压电陶瓷</u>	具有压电效应	PTZ (锆钛钡酸铅)
<u>半导体陶瓷</u>	具有半导体效应	掺杂 BaTiO_3
<u>绝缘陶瓷</u>	高电阻率	Al_2O_3 , MgO
<u>磁性陶瓷</u>	可能具有铁电性有磁性能	铁氧体
<u>光学陶瓷</u>	主要指有一定透明性能	透明氧化铝, 透明铁电陶瓷
<u>离子导电陶瓷</u>	具有离子传导能力	稳定的氧化锆 ZrO_2 .
<u>超导陶瓷</u>	超导电阻	钇钡铜氧系超导体材料.
<u>生物陶瓷</u>	羟基磷灰石等生物相容材料, 主要骨骼材料.	