

电工材料

导电：导体内部存在可以自由移动的电子，电子定向运动形成电流

超导：材料低于某温度时，电阻率为零，称现象。这一温度称为超导转变温度(T_c)

导体材料：电阻率为 $1.5 \times 10^{-8} \Omega/m$ 金属

金属导体材料可分为：金属元素，合金，复合金属，特殊功能导体材料。

性能：1. 导体材料导电性主要用电阻率表征。

2. 影响电阻率的因素有温度，杂质含量，冷变形，热处理。

3. 温度影响以导体材料电阻率的温度系数表示 ($\alpha [1/K]$)

4. 除靠近熔点和超低温以外，在一般温度范围内，电阻率随温度呈线性关系。

复合型导体：由高分子材料与各种导电性物质通过填充复合，表面复合或层状复合等方法得到。有导电塑料，导电橡胶，导电纤维等。

超导材料

特性：1. 零电阻：超导材料处于超导态时电阻为0，能够无损地传输电能。

2. 抗磁性：超导材料处于超导态时，只要外加磁场不超过一定值，磁力线(磁场线)不能进入。超导材料内磁场恒为0。

3. 临界温度： T_c 值因材料不同而异，测得超导材料最低(T_c 是绝对零度下与其同位素质量 M 有关， $M \downarrow T_c \downarrow$)

例：铌(Nb) $T_c = 9.26K$ ，铌铝合金(Nb-75Zr)

半导体材料

- 具有半导体性能(电阻率 $10^8 \Omega/m \sim 10^{10} \Omega/m$)的材料。可分为
非晶半导体，无机化合物半导体，有机化合物半导体，固态与液态半导体。

1. 元素半导体：元素周期表 IIIA族至 IVA族分布 11 种 (B, Si, Ge, Te)

2. 无机化合物：二元系：SiC, GeSi 三元系：ZnSiP₂, ZnGeP₂

3. 有机化合物：萘，蒽，聚丙烯腈，一些芳香族化合物。

4. 固态与液态半导体：不具有严格周期性排列的晶体结构

半导体工艺大致可概括为：提纯，单晶制备，杂质与缺陷控制。

绝缘材料

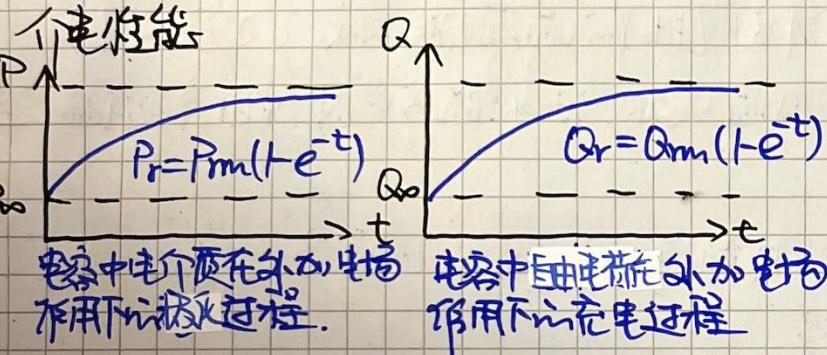
绝缘材料是允许电压下不导电的材料。但不是绝对不导电，在一定外加电场强度下也会发生导电、极化、损耗、击穿过程，长期使用还会老化。

绝缘材料的电阻率很高， $10^{10} \sim 10^{22} \Omega \cdot m$

分类

1. 气体绝缘材料：常温常压下气体具有良好的绝缘性能 空气、六氟化硫
2. 液体绝缘材料：通常为绝缘油 天然矿物油、天然植物油、合成油
3. 固体绝缘材料：绝缘漆、纤维制品、橡胶塑料制品、玻璃、陶瓷、云母

介电性能



物质描述的是电容特性。

在实际上表示束缚电荷能力

对于工程上希望越大一些，保证能够存储更高的能量。在电容器中

希望 ϵ_r 小一些 能够提高整体性能和绝缘系统稳定性。

绝缘材料的老化

1. 电老化：绝缘材料在高压作用下发生局部放电。(高压电器)

2. 热老化：在温度作用下绝缘材料内部成分氧化，裂解，劣质，与水发生水解反应而逐渐失去绝缘性能。(低压电器)

3. 环境老化：由紫外线，真氧，步聚，酸碱引起的老化性化学老化。

陶瓷：通常陶瓷不导电，是良好的绝缘体，在氧化物陶瓷中原子的外层电子通常受到离子核吸引力，束缚在各自的周围，不能自由移动。某些氧化物陶瓷加热后，原外层电子获得足够能量，可以自由移动，变成导电陶瓷。

绝缘陶瓷

1. $\alpha-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 75\%$ 用来制造超高频、大功率、真空器件的绝缘零件。

2. 滑石瓷 ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 热膨胀系数大，用来制造开关、插座。

3. 氧化铍陶瓷 (BeO) 大功率晶体管。

4. 硼化硼 (高氮化硼) 随温度升高热导率降低较慢。

云母： $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 云母体具有层状结构，呈片状晶体，以六方片状晶体为主。

用途：高压应用，高温应用，磁铁。（溅射，电焊条）

特性：1. 高介电强度，2. 高介电电阻，3. 耐高温抗热震，4. 良好透光度
光学纯度，5. 耐腐蚀耐油，6. 良好的可加工性。

磁性材料：能被磁场取出某种方式反应的材料。按物质在外磁场中表现出的磁性分为三类：顺磁性物质，反磁性物质，及铁磁性物质和亚铁磁性物质与铁磁性物质。

顺磁性：材料对磁场的响应很弱，不磁化。用磁化率 $K = M/H$ 表示。
(M—磁化强度，H—磁场强度) $K > 0$ 。不磁化强度与磁场强度同向， $K = 10^{-6} \sim 10^{-3}$ (D)，过渡金属盐类，稀盐类

抗磁性：是一种弱磁性，产生与磁场强度方向相反的附加磁矩。 $K = -10^{-5} \sim -10^{-6}$ (惰性气体，Bi, Sb)

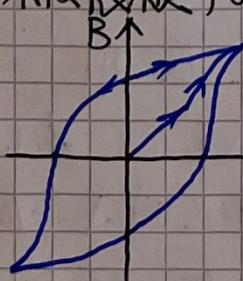
铁磁性：一种材料的磁性状态，具有自发的磁化现象。(空心以上：铁、钴、镍，钆)

亚铁磁性：在无外加磁场作用下，由于相邻原子间电子交换作用被它们的磁矩克服运动后，处于部分取消的有序排列状态。具有较强的铁磁性。

由于组成亚铁磁性物质的成分必须具有两种不同磁矩，且有化合物或合金才能表现出亚铁磁性。 (Fe_3O_4, Fe_2O_3)

反磁性： $K \approx -10^{-5}$ (水，大多数有机化合物)

磁滞现象：铁磁性材料在磁化和去磁过程中，铁磁质的磁化强度不仅依赖于外磁场强度，还依赖于原先磁化强度的现象。



当外加磁场施加于铁磁质时，其原子的偶极子按照外加场排列，即当外加场被撤除后，部分排列仍保持。此时该材料被磁化，一旦被磁化，其磁性会继续保留。施加相反的磁场即可消磁。(磁盘的写入原理)

磁路中心损耗：

1. 磁滞损耗：磁性材料每经过一个循环，就有能量输入至材料。能量用来振动材料中心偶极子。以发热方式在材料中

辐射。不带极耗正比于磁滞曲线的面积和材料的晶粒尺寸。

2. 铁损：在磁性材料中变化的磁场均导致感应电流，也称涡流。感应电流在铁芯中形成环流，并反抗材料中磁通量度的变化。 $P_{loss} \propto f^2$

$$P_{loss} \propto \Phi_{max}^2$$

无铅焊料：1. Sn-58Bi 139°C 熔点，手机，生活。

2. Sn-3.4Ag-4.8Bi 205~210°C 熔点，家用电器，汽车。

3. Sn-3.5Ag-0.5Cu-1In 221°C 熔点，家用电器，航空。

导电胶合剂：使用混合环氧树脂的导电材料，在印刷电路板上形成连接电子部件的导电性的接合部。替代了以前的焊锡。

环氧树脂 + Ag / 碳墨。

薄膜材料：厚度介于微米到几毫米之间的薄金属或有机物层。

膜的主要功能：1. 电气连接：电路板及膜与基板互为一体，元器件搭载在基板上达到导体端子相互连接。

2. 元件搭载：不采用引线键合还是倒装片方式，芯片装载流程直接在基板上需要焊接。

3. 表面改善：通过膜的使用可以使材料在某些性能上得到改善，如增强耐磨性，抗腐蚀性，耐高温性。

工艺：1. 导体薄膜主要用于形成电路图形，为半导体芯片，元件，电阻，电容等元件搭载部分提供金属化及相互引线。

2. 介质膜因其优良的光学性，机械强度及光学电性在电子元件，光学器件等领域有较广泛应用。成膜方法：MOCVD，粒子束沉积。

3. 绝缘膜：真空蒸镀，溅射沉积，电镀，热分解。

4. 功能膜：在传感器，太阳能电池，光集成电路，显示器，电子元件等领域。

厚膜技术：用丝网印刷的方法将导体浆料，电阴浆料或介质浆料等材料滴至陶瓷基板上，这些材料经高温烧成后，会在陶瓷电路板上形成牢固的膜。多次重复后，会形成多层互连结构的包层电阻或电容，或电路。

陶瓷基板：薄膜及厚膜技术中可以使用的基板材料有氧化铝，氮化铝，氧化镁，SiC，石英等。