

成人中等专业学校试用教材

(含岗位培训)

电子产品生产工艺

湖北省教育委员会 编

邓海清 主编



高等教育出版社

成人中专试用教材
(含岗位培训)

电子产品生产工艺

湖北省教育委员会编
邓海清 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是国家教委成人教育司和高等教育出版社共同组织编写的成人中专(含岗位培训)电子电器专业系列教材之一,主要内容有:电子材料、电子元件、半导体元器件与集成电路、电子产品生产基本知识、电子产品生产准备工艺、电子产品焊接工艺、电子产品质量检验。本书在阐述内容时,以常用电子材料、元器件结构、特性、命名方法及应用为主,同时对电子设备整机生产的关键工序、过程、加工方法和质量检验等内容均作了介绍。本书内容深浅适度,解说清楚,还可作为职业高中、技工学校电子电器专业教材,及供有关电子产品工程技术人员参考。

成人中专试用教材

(含岗位培训)

电子产品生产工艺

湖北省教育委员会编

邓海清 主编

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印装

开本 787 × 092 1/16 印张 10.25 字数 230 000

1993 年 4 月第 1 版 1993 年 4 月第 1 次印刷

印数 00,001—3,634

ISBN 7-04-004223-1/TN·186

定价 3.65 元

出版说明

随着教育体制改革的深化,成人中专的教学质量在不断提高。为了保证成人中专的办学质量,满足各类成人中专(包括广播电视中专、职工中专、函授中专等)对教材的要求,国家教委成人教育司组织制定了成人中专部分专业教学计划和教学大纲,并组织编写了配套教材,由高等教育出版社出版。

1990年12月,国家教委成人教育司和高等教育出版社在深圳组织召开了有17个省市代表参加的成人中专(含岗位培训)电子电器专业教材会议,拟定了为编写教材用的成人中专电子电器教材计划,审定了15门课程的教材编写提纲。本书是根据这次会议精神组织编写的全套教材中的一种。

本次组织编写的成人中专电子电器专业教材有:电工技术基础、电子技术基础、电机与拖动、机械制图、机械制图习题集、计算机语言与应用、微型计算机原理与应用、电力电子技术、无线电技术基础、电子仪器测量技术、电视机原理与维修、音响设备原理与维修、电子产品生产工艺、电动及电热器具原理与维修、制冷与空调设备原理与维修、家用录像机原理与维修。

教材在编写时,力求突出成人教育与岗位培训的特点。教材内容以应用为主,深入浅出,并注意必要的内容更新;在深浅度上,适合初中毕业生学习,相当全日制中等专业同类教材水平;在编排格式上考虑到便于自学的要求。

为了保证教材的质量,我们在全国内遴选了有丰富教学经验、较高专业水平和文字能力及有实际操作能力的教师、高级技师、高级工程师、教授参加编写和审稿工作。

参加本系列教材审定工作的有:北京、广东、上海、南京、辽宁、深圳、黑龙江、山东、湖北、四川、福建、成都、浙江、安徽、吉林、广州等省市教委、教育局派出的专业教师及教学研究人员。

本系列教材亦可供中等职业技术学校、技工学校及自学人员使用。

本批教材自93年秋季供应,并对主要教材陆续配套出版学习辅导书及声像片,欢迎广大读者选用,提出宝贵意见。

高等教育出版社职业成人教育部

1992年8月

前 言

国家教委成人教育司和高等教育出版社于1990年12月,在深圳组织召开了成人中专电子电器专业教材编审会议。本教材是根据该会议讨论通过的《电子产品生产工艺》编写大纲而编写的。

《电子产品生产工艺》是一门专业技术基础课程。全书共分二篇七章。教学参考时数为66学时。其中,第一章12学时;第二章23学时;第三章10学时;第四章3学时;第五章10学时;第六章5学时;第七章3学时。其主要内容介绍电子材料、电子元器件、集成电路和电子产品生产工艺等有关基本知识。

第一篇共三章,介绍电子元器件、材料的结构、性能、规格品种应用及计算。

第二篇共四章,介绍电子产品生产的关键性装配和焊接工艺、元器件加工、质量检验等基本内容。

电子材料及元器件是各种电子设备和电子仪器的主要组成构件。一切高性能与高可靠性的电子产品,均来源于优质的电子材料和高质量的元器件。本书的目的是使读者对电子材料、元器件、生产工艺等有一个基本的了解,这对于生产者和使用者都十分重要。

本教材由湖北省电子工业学校邓海清高级讲师编写,由华中理工大学张绪礼教授和王筱珍副教授及北京服务学校张连春高级讲师担任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1992.1.

目 录

第一篇 电子材料及电子元器件

第一章 电子材料	1	2.3.1 电感器及型号命名方法	57
1.1 绝缘材料	1	2.3.2 电感器的结构类型与性能参数	58
1.1.1 绝缘材料的性质	1	2.3.3 电感量的计算	62
1.1.2 有机绝缘材料	5	2.4 变压器	66
1.1.3 无机绝缘材料	7	2.4.1 变压器的原理和参数	66
1.1.4 复合材料	10	2.4.2 低频变压器	67
1.2 导电材料	11	2.4.3 中频变压器	69
1.2.1 金属高导电材料	11	2.4.4 电视机行输出变压器	70
1.2.2 高电阻材料	13	2.4.5 变压器的制作、检查与测试	70
1.2.3 接触材料	15	2.5 电声器件	71
1.3 半导体材料	16	2.5.1 扬声器的工作原理及性能	71
1.3.1 半导体材料导电特性	16	2.5.2 扬声器种类、结构、选用及修理	73
1.3.2 半导体材料	16	2.5.3 传声器	76
1.4 磁性材料	18	2.6 电接触器件	77
1.4.1 概述	18	2.6.1 电接触概述及对电接触材料的要求	77
1.4.2 铁磁性材料的性质	18	2.6.2 开关及接插件	77
1.4.3 铁磁性材料的分类及应用	22	2.6.3 继电器	78
第二章 电子元件	26	2.7 显示技术与显示器件	83
2.1 电容器	26	2.7.1 显示技术	83
2.1.1 电容器的性能参数	26	2.7.2 显示器件	84
2.1.2 电容器型号命名方法及标志方法	32	2.8 敏感半导体器件	86
2.1.3 常用电容器	36	2.8.1 热敏半导体器件	86
2.1.4 电容器选用及质量检验	43	2.8.2 光敏半导体器件	88
2.2 电阻器	45	2.8.3 压敏电阻器	89
2.2.1 电阻器的性能参数及结构	45	2.8.4 湿敏电阻器	90
2.2.2 电阻器型号命名方法及标志方法	49	第三章 半导体管与集成电路	91
2.2.3 电阻器的质量检验与代用	54	3.1 半导体管型号命名方法及图形符号	91
2.2.4 电位器	55	3.1.1 半导体管型号命名方法	91
2.3 电感器	57	3.1.2 半导体管的图形符号	98

3.1.3 半导体管的判别及选用	93	3.3.2 可控硅的结构	104
3.2 半导体集成电路	99	3.3.3 可控硅的工作原理及特点	105
3.2.1 集成电路的分类	99	3.3.4 可控硅的选择与保护措施	107
3.2.2 半导体集成电路型号命名方法	102	3.3.5 用三用表检查可控硅的好坏	109
3.3 可控硅元件及其应用	103	3.3.6 单结晶体管	110
3.3.1 概述	103		

第二篇 电子产品生产工艺

第四章 电子产品生产的基本知识	112	5.4 印制线路板制造工艺	129
4.1 电子产品生产工艺的重要性	112	5.4.1 印制线路板的特点	130
4.2 电子产品装配步骤及基本要求	112	5.4.2 印制线路板的分类	130
4.2.1 电子产品装配步骤	112	5.4.3 印制板的加工工艺	131
4.2.2 电子产品装配工艺总技术要求	113	5.4.4 喷涂助焊剂	132
4.3 工具的使用及维护	114	5.4.5 阻焊剂	132
4.3.1 电烙铁	114	5.4.6 印制线路板的质量检验	132
4.3.2 尖嘴钳	115	5.5 屏蔽与散热	133
4.4 文明生产及安全生产	115	5.5.1 屏蔽	133
4.4.1 文明生产	115	5.5.2 散热、防热与热屏蔽	135
4.4.2 安全生产	116	第六章 电子产品焊接工艺	138
第五章 电子产品生产准备工艺	117	6.1 焊接的基本知识	138
5.1 电子产品机械装配工艺	117	6.1.1 焊接点的形成及必要条件	138
5.1.1 螺钉连接	117	6.1.2 电烙铁的使用	139
5.1.2 铆装和销钉连接	119	6.2 焊料与焊剂	140
5.1.3 粘接连接	120	6.2.1 焊料	140
5.2 电气安装的准备工艺	122	6.2.2 助焊剂	142
5.2.1 导线加工及引出线处理	122	6.2.3 阻焊剂	143
5.2.2 元器件引出线成形工艺	124	6.3 接点的焊接及合格焊点	143
*5.2.3 屏蔽线的加工	124	6.3.1 接点的焊接	143
5.3 元件引线及导线的安装	126	6.3.2 合格焊点	144
5.3.1 一般结构产品焊接前接点的连接方式	126	6.4 印制线路板的焊接	145
5.3.2 印制线路板上焊接点的连接方式	127	6.4.1 手工焊接法	145
5.3.3 印制线路板上焊接件的装置方法	127	6.4.2 机械焊接法	146
5.3.4 导线的安装	129	6.4.3 印制线路板清洗	146
		第七章 电子产品质量检验	148
		7.1 质量检验在装配中的意义	148
		7.1.1 提高电子产品质量的意义	148
		7.1.2 检验工作的基本方法	148

7.1.3 全面质量管理的特征	148	7.3.2 可靠性	151
7.1.4 装配检验的步骤	148	7.3.3 可靠性与经济性	151
7.2 电子产品的调试及防护	149	7.3.4 提高电子产品可靠性的方法	151
7.2.1 电子产品的调试	148	7.4 工艺文件编制	152
7.2.2 电子产品的防护	149	7.4.1 技术文件	152
7.3 电子产品的可靠性	150	7.4.2 工艺文件的编制原则	152
7.3.1 概述	150	7.4.3 装配工艺文件	152

第一篇 电子材料及电子元器件

第一章 电 子 材 料

电子材料系指生产、制造电子元器件所使用的主体材料、结构材料及辅助材料等。其中,结构材料、辅助材料是指绝缘材料、封装材料、涂覆材料及其他材料等。例如制造电容器的主体材料有介质材料、浸渍材料和电极材料。

电子工业是以电子材料为基础的工业,它所使用的材料的品种、规格、门类繁多。近代电子技术水平在很大程度上决定于材料科学的发展状况,所以,加速开发研制新材料、改进现有材料和元器件的性能已成为当务之急。任何从事这项工作的科技人员,都必须熟悉、掌握常用的电子材料,电子元器件以及整机生产装配的有关知识,并能达到正确应用的能力。

1.1 绝 缘 材 料

绝缘材料是一种限制或阻止电流通过的高电阻率的材料,如陶瓷、玻璃等。这种材料的电阻率高达 $10^{15}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上,因而适用于隔离相邻导体,或阻止导体之间可能发生电接触的材料。当绝缘材料作为电容器介质材料使用时,它有储存电荷的功能,因此往往又称绝缘材料为电介质材料(以下简称电介质)。

绝缘材料品种规格繁多,因而分类方法也不同,一般多从绝缘材料的物质形态和用途两方面分类:

(1) 按绝缘材料物质形态分为: 气体绝缘材料,如空气、氮气、氢气和六氟化硫;液体绝缘材料,如电容器油、变压器油等;有机固体绝缘材料,如电容器纸、聚苯乙烯等;无机固体绝缘材料,如云母、陶瓷、玻璃等。

(2) 按绝缘材料用途分为: 介质材料,如云母、电容器纸、涤纶等;装置材料,如装置陶瓷、酚醛树脂和聚四氟乙烯等;浸渍材料和涂覆材料等。

1.1.1 绝缘材料的性质

绝缘材料(以下称电介质)在电场的作用下将会产生电介质极化、电介质电导、电介质损耗和电介质击穿等现象。

一、电介质的极化

在电介质中电荷成对地结合。当电介质在电场作用下表面会出现净的正和负的电荷,就称为电介质的极化,这在电介质表面出现的净电荷称为极化电荷。对于非极性分子来说,它的

正、负电荷中心是重合的,在外电场作用下,原来重合的正负电荷中心发生相对位移,其表面出现极化电荷,电介质发生极化。对于极性分子来说,它原来就具有极性,但由于分子的热运动,使其排列取向混乱无规则,因此,电介质的内部和表面都没有净电荷,在外电场的作用下,极性分子将沿电场方向排列取向,于是在电介质表面出现极化电荷,电介质发生极化。

不同的电介质,其极化程度有很大的差异,通常用介电常数 ϵ 表示电介质的极化程度,如中性电介质的 ϵ 值一般小于 10,而极性电介质一般大于 10,甚至达到几千。表 1-1 是几种常用电介质的介电常数。

在外电场作用下电介质有下列几种极化形式: 电子弹性位移极化、离子弹性位移极化、偶极子取向极化和自发式极化等几种。

表 1-1 常温下几种电介质的介电常数(ϵ)值

电介质名称	空气	矿物油	云母	聚乙烯	聚苯乙烯	聚四氟乙烯	环氧树脂	地蜡	变压器油	氧化铝	金红石	钛酸钙	钛酸钡
介电常数(ϵ)	1.0	2.2	6~7	2.3	2.5	2.1	3.6	2.3	2.2	11.3	86	130	1700

电子弹性位移极化通常简称电子位移极化。电介质中原子、分子、离子等任何粒子在电场作用下都能感生一个沿电场方向的感应偶极矩。这是由于在电场作用下粒子中的电子云相对于原子核发生位移而引起的,因此这种极化称为电子位移极化。

电子位移极化对外电场的响应时间是极短的,约在 $10^{-14} \sim 10^{-16}$ s 范围。

在电场作用下,任何电介质都有电子位移极化发生。

离子弹性位移极化 在离子晶体和玻璃等无机电介质中,正、负离子处于平衡状态,其偶极矩的矢量和为零。但在电场作用下,这些离子除内部产生电子位移极化以外,本身还将发生可逆的弹性位移。正离子沿电场方向移动,负离子反电场方向移动,形成感应偶极矩。这种极化简称离子位移极化。

偶极子取向极化 非晶态极性有机电介质的分子或分子链节具有一定的固有偶极矩,可以把它们看成是偶极子。在电场作用下,偶极分子或链节要受到电场转矩的作用,驱使它们沿电场方向取向。

晶体的自发极化 在某些所谓的铁电晶体中,由于其晶胞的极性和极性晶胞之间的强相互作用,能使大量晶胞的固有电矩沿着同一方向整齐排列,从而形成一个处于高度极化状态,这种在外电场为零时自发地建立起来的极化状态,称为自发极化。

二、电介质的电导

实践表明,任何电介质都不是理想的绝缘体,在电场作用时,总有一定的电流流过,这就是电介质的电导。

在电场作用下,流过电介质的电流很小,故常称漏导电流或漏导。电介质的电导特性一般用电阻率 ρ 或电导率 γ 来定量地表示,其中 $\gamma = 1/\rho$ 。若电介质试样长度为 $l(\text{cm})$ 、截面积为 $A(\text{cm}^2)$ 、电阻为 $R(\Omega)$,则该电介质的电阻率

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

其单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$, 电导率 γ 的单位则为 $\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ 。电阻率或电导率是定量描写电介质电导的物理量, 是电介质电性能的基本宏观参数之一, 其大小直接表征电介质绝缘性能的优劣。对理想绝缘体来说, 显然 $\rho = \infty$ 。实际电介质的电阻率约为 $10^9 \sim 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ 数量级范围, 视各种不同的介质材料而异。

在实际电介质中, 总是或多或少存在着一定量的能够自由迁移的正或负带电粒子。在没有外电场时, 它们作紊乱的热运动, 因此不形成电流。在加上外电场以后, 这些载流子受到电场力的作用, 便在不规则的热运动上叠加了沿电场方向的定向迁移, 从而形成了电流。电介质的电导率等于

$$\gamma = qn(\mu_+ + \mu_-)$$

式中 μ_+ 和 μ_- 是比例常数, 分别为正、负载流子的迁移率, 它表示在单位电场强度作用下, 正和负载流子在电场方向平均的迁移速率, 单位是 $\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ (米²/伏·秒)。 n 为载流子浓度, q 为载流子带电量。这表明, 在电场强度不高的情况下, 电介质的电导服从欧姆定律。这个结果与实际事实相符合。

气体是一类电介质。其中空气是最普遍存在和广泛利用的一种天然电介质, 大多数的电子和电气设备以及电力系统是以空气作为绝缘介质的。有时其他一些气体, 例如氟里昂, 六氟化硫 (SF_6) 等也被用作电介质。处于正常状态并隔绝光、热、辐射等外电离因素作用的气体是完全不导电的。但实际上气体中总存在着少量带电粒子, 例如大气中总是存在着约 $10^9/\text{m}^3$ 的正、负离子。在电场作用下, 这些载流子沿电场方向定向迁移, 形成电导电流, 因此气体通常并不是理想的绝缘体。但当电场较弱时, 由于载流子浓度极小, 所以气体还是优良的绝缘体。气体的电导率可用下式表示:

$$\gamma = nq(\mu_+ + \mu_-) = \sqrt{N/\beta} \cdot q(\mu_+ + \mu_-)$$

式中 β 为复合系数, 在常温和大气压下气体的复合系数 β 约为 $10^{-12} \text{m}^3/\text{s}$ (米³/秒)。 N 为带电粒子减少速率。由此式可见气体在电场较弱时, 电导率 γ 为一常数 (空气的 $\gamma = 7.8 \times 10^{-14} \text{s/m}$, 或电阻率 $\rho = 1/\gamma = 1.3 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$)。

液体电介质在纯净的情况下, 电阻率很高, 约在 $10^{14} \sim 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$ 。工程液体电介质由于纯净度低, 有杂质存在, 其电阻率通常较低, 约在 $10^{11} \sim 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围。极性液体电介质的电阻率通常较非极性液体电介质的低 (如强极性的水和乙醇的电导率 γ 为 10^{-9}s/m 和 10^{-10}s/m)。

固体电介质的电导是很复杂的, 往往多种类型的电导同时并存或转化。材料的电导及其规律与材料的化学组成、结构、杂质及环境有很大的关系。

一般来说固体电介质的电导按照载流子的类型不同可以分成三种:

(1) 离子电导或电解电导 这种电导的载流子是材料本身的本征离子或杂质离子及其空格点。

(2) 离化分子电导或电泳电导 这类电导是由于离化了的分子或分子团引起的。在固体中, 这种电导比较少见, 主要出现在玻璃和无定形固体中。

(3) 电子电导 该电导是由自由电子和空穴引起的。载流子来自光电效应、电极注入、漏

• • •

主或受主掺杂。

三、电介质的损耗

电介质处于交变电场中时,由于电介质极化的进程与返程有差别而形成滞后现象,这时所产生的能量损耗称为介质损耗。通常频率愈高,损耗也愈大,因此在高频场中只能应用低损耗的电介质。

在交变电场作用下,电介质都有电能的损耗,它以热能的方式耗散在电介质自身的温升和周围环境中。电介质的损耗主要由电介质电导损耗和电介质极化损耗组成。通常用电介质损耗角正切($\text{tg}\delta$)值表示。实际上电介质损耗是由其功率的有功分量和无功分量的比值来表示。

对于电子材料,或是电子元器件,总要求介质损耗再尽量地小些为好。例如云母介质材料 $\text{tg}\delta = (1\sim 3) \times 10^{-4}$ 范围之间。因而它是一种优质的电介质(绝缘)材料。

四、电介质的击穿

置于电场中的电介质,当电场强度的增加超过某一容许值时,电介质将变为电流的通路,即电介质丧失绝缘性能的现象,称为电介质的击穿。气体电介质和液体电介质一旦被击穿后,当电场强度降低到它们的击穿电场强度以下时,电介质的绝缘性能还可恢复原来的绝缘状态。如果是固体电介质,一旦被击穿,它就完全被破坏,不可能再恢复,例如陶瓷击穿破裂、橡胶击穿烧焦等。

电介质击穿的原因相当复杂,而且受诸多因素的影响。固体电介质击穿有以下几个特点:一是固体介质击穿强度比气体和液体电介质高,约比气体的高两个数量级,比液体的高一个数量级左右;二是固体通常总是在气体或液体环境介质中,首先常是这些媒质放电击穿,这是一种边缘效应;三是固体电介质击穿一般是破坏性的。

一般说来,固体电介质的击穿大致可以分为电击穿、热击穿、局部放电击穿以及树枝化击穿等几种机制。表 1-2 所列是电介质击穿电场强度的参考值。

表 1-2 部分电介质击穿电场强度值

介质名称	击穿电场强度 (kV/mm)	介质名称	击穿电场强度 (kV/mm)
空气	3.0	电板纸	9.0~14.0
矿物油	5.0~15.0	聚丙烯膜	150
电容器油	<20	聚酯薄膜	130
地蜡	15	聚苯乙烯膜	110
电容器纸	35~40	聚四氟乙烯膜	40~60
云母	80~200	松香	10~15
玻璃	10~40	环氧树脂	45
酚醛树脂	1.4	瓷	6.0~15.0

五、绝缘电介质的防潮性

绝缘电介质在工作时总会受到环境中潮气(湿度)的影响。水是一种强极性物质,它会引起电介质的介电常数 ϵ 增加、绝缘电阻值下降、损耗角正切值增大和承受电场作用的能力降低。如何提高电介质的防潮性能就显得意义重大。

绝缘电介质吸潮方式大体上有表面吸潮和体积(内部)吸潮两种。常用防潮方法有下列几种:一是在介质表面涂覆一层增水性膜予以保护;二是用 80*或 100*地蜡进行浸渍处理;三是用环氧树脂或其他材料对电介质进行灌封处理。上面三种方法不能彻底根除潮气的影响,要使被保护的电介质和空气完全隔绝,必需采用全密封装置结构。

六、绝缘电介质的耐热性

在交变电场作用下,电介质总是存在电能的消耗。这些消耗的电能使电介质温度升高,如果超出它容许承受的温度时,将产生热击穿而造成电介质破坏。因此每种电介质都有一个极限工作温度。电介质材料的耐热等级见表 1-3。

表 1-3 电介质材料耐热级别表

级 别	材 料	极限工作温度(℃)
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品,以醋酸纤维和聚乙烯为基础的纺织品,以及易于热分解和熔点较低的塑料(聚醛树脂)	90
A	工作于矿物油中的和用油或油树脂复合胶浸过的 E 级材料,漆包线:漆布,油性漆,沥青漆等	105
E	聚酯薄膜和▲级材料复合,玻璃布,油性树脂漆,聚乙烯醇缩醛高强度漆包线,乙酸乙烯耐品漆包线	120
B	聚酯薄膜,经合适树脂浸渍处理的云母、玻璃纤维、石棉等制品,聚酯漆包线	130
F	以有机纤维材料增强和石棉带增强的云母片制品,玻璃丝和石棉,玻璃漆布,以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品,以无机材料作增强和石棉带增强的云母粉制品,化学热稳定性较好的聚酯和醇酸类材料,复合有机聚酯漆,无增强或以无机材料为增强的云母制品	155
H	加厚的 E 级材料复合云母,有机硅云母制品,硅有机漆,硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布,复合薄膜,聚酯树脂漆等	180
C	耐高温有机粘合剂和浸渍剂,无机物如石英,石棉,云母,玻璃和陶瓷材料等	180以上

1.1.2 有机绝缘材料

由共价键结合,并以碳原子为基本骨架组成的高分子化合物,常称有机绝缘材料,又叫有机电介质。自然界有天然有机电介质,如:松香、琥珀;还有合成有机电介质,如:电容器纸、乙烯类材料、环氧树脂等。由于有机电介质材料具有许多优良性质,所以在电子工业和其他工业中得到广泛的应用。

一、地蜡

指地蜡矿或含蜡石油经加工而得的固体石蜡烃混合物。其精制品是白色,粗制品是黄褐色至黑色。有提纯地蜡和合成地蜡两种。

地蜡在常温下有滑腻感,熔化温度较低(有 67、75、80℃三种),冷却时有较大收缩性,介质损耗角正切值较小($\text{tg}\delta \leq 2 \times 10^{-3}$),绝缘电阻在 $10^{16} \sim 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间,吸潮性很小,是一种增水性材料。

在电子产品生产中,地蜡常用来浸渍、灌封电容器、封固电感线圈和微调磁芯位置。另外,

用于蜡纸、绝缘材料等。

二、松香

俗称熟松香或熟香，为透明的玻璃状脆性物质，浅黄色至黑色。松香不溶于水，但溶于乙醇、乙醚、丙酮、苯、二硫化碳、松节油和碱溶液。其主要成分松香酸和松脂酸酐是不饱和化合物，活性较大。松香的品质，根据颜色、酸度、软化点、透明度等而定。一般颜色愈浅，品质愈好；松香酸含量愈大，酸度愈大，软化点愈高。

松香有较强的溶解氧化铜的能力，电性能较好，常用来配制松香酒精助焊剂，是一种优质中性焊剂。另外还用于肥皂、造纸、油漆、颜料、橡胶等工业。

三、电容器油

电容器油用作浸渍和注入电容器的绝缘油料，可以提高电容器的绝缘电阻，增强散热效果，提高电容器的功率。

四、电容器纸及电解电容器纸

1. 电容器纸

电容器纸有优良的特性：一是可以制得很薄，一般为 $6\mu\text{m}$ 左右，最薄可达 $4\mu\text{m}$ ；二是密度大，结构致密，一般在 $1\sim 1.25\text{g/cm}^3$ ；三是透气率小，一般小于 $1\sim 2\text{ml/min}$ ，表明其穿透性气孔少；四是灰分少，灰分小于 $(0.2\sim 0.5)\%$ 。

电容器纸主要是制造纸介电容器和金属化纸介电容器的电介质材料，也是复合介质电容器主要材料，另外还是优质的绝缘纸。

2. 电解电容器纸

简称电解纸，是铝电解电容器中用来吸附工作电解液的材料，起着工作电解液承载体的作用，同时兼作箔间隔离层。

此外，还有电缆纸、电工绝缘纸和纤维板等。

五、聚苯乙烯薄膜

由苯乙烯经聚合而成的高分子化合物，具有热塑性、耐化学腐蚀性、耐水性和优良的电绝缘性。缺点是耐热性较低，最高使用温度不超过 $90\sim 95^\circ\text{C}$ ，机械强度较小，易老化发脆。另外它可溶于芳香烃、氯化烃脂肪族酮和酯等。

聚苯乙烯的介电性能相当优异，介电常数和损耗角正切值在很宽的温度和频率范围内变化很小；绝缘电阻很高，其电阻率大于 $10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$ ；抗电强度也很好（击穿强度在 $50\sim 60\text{kV/mm}$ ）；它又是一种透明材料，机械加工方便，机械强度较好。

聚苯乙烯是一种优异的高频、超高频电介质。常用来制造电容器、高频电感线圈骨架和聚苯乙烯漆等。另外还用于制硬质泡沫塑料、薄膜、日用品、耐酸容器等，也可用作涂料的原料。

六、环氧树脂

含有环氧基团树脂的总称。主要由环氧氯丙烷和酚类（如双酚 A）等缩聚而成。根据不同配方和制法，可得到分子量不同的产品。低分子量的是黄色或琥珀色高粘度透明液体。高分子量的是固体，熔点一般是 $145\sim 155^\circ\text{C}$ ，溶于丙酮、环己酮、乙二醇、甲苯和苯乙烯等，无臭、无

碱,耐碱和大部分溶剂。

环氧树脂与多元胺、有机酸酐或其他固化剂等反应,变成坚硬的体型高分子化合物,耐热性、绝缘性、硬度和柔韧性都好。

环氧树脂可用作金属和非金属材料(如陶瓷、玻璃、木材等)的粘结剂,粘合力强,俗称万能胶。又因它固化收缩性小,适合浇铸精密构件、密封件,也用于灌封电容器、包封或涂覆电容器。同时它又能抗腐抗霉,适合压制各种层压板和制泡沫塑料,是良好的耐寒防震防冲击材料。另外,低分子量的环氧树脂可用作聚氯乙烯的稳定剂。

七、聚酯薄膜

聚酯薄膜(商品名涤纶),全名是聚对苯二甲酸乙二酯纤维。一般由二元醇和芳香二羧酸缩聚或聚酯后,压制不同厚度的薄膜。最有代表性的是由乙二醇和对苯二甲酸合成的涤纶,是一种线性高聚物,有极性。

聚酯薄膜的特性:

(1) 机械特性 这种薄膜有高强度和高回弹性,抗拉强度优于大多数有机材料。可以制成很薄的聚酯膜,最薄可达 $1.5\mu\text{m}$,且耐磨性很好。

(2) 耐热性和化学稳定性好 这种薄膜的熔点高达 260°C ,在 125°C 的空气中长期(100h)加热,其抗拉强度仅仅降低 $10\sim 15\%$;在低温下仍有良好的韧性, -60°C 才开始变脆。故聚酯薄膜的工作温度范围为 $-60\sim 125^{\circ}\text{C}$,短期可达 155°C 。

聚酯薄膜吸湿性很小,在 25°C 的水中浸泡七天后,吸水率仅有 0.3% 。它的化学稳定性也较好,能耐受矿物油、硅油、氯化联苯等浸渍料的长期作用。

(3) 介电性能 聚酯薄膜的电阻率在 $10^{17}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下;击穿电场强度可达 400kV/mm 。

聚酯薄膜由于性能优良,是有机电介质电容器的主要介质材料之一。它可在直流、脉冲电路中应用;还可和其他薄膜复合构成复合介质使用;也广泛用于电动机、变压器的层间绝缘,以及制造录音带、录像带等。

1.1.3 无机绝缘材料

无机绝缘材料的分子主链含有碳以外的其他元素的原子,侧链含有非有机基团的高分子,又称无机高分子。其中,天然的有石棉、云母和石墨等,合成的有聚氯化磷腈、缩合磷酸盐、硼酸高分子、合成云母以及无线电玻璃和电子陶瓷等。

无机绝缘材料在自然界中原料丰富,制造工艺较简便。它不燃烧、不易老化、耐高温、化学稳定性高,耐酸、碱、盐的作用,电性能优异,广泛用于电子工业、无线电通讯和其他领域中。

一、云母材料

云母是一种天然矿物,在我国四川、陕西、河南、新疆、内蒙古以及西藏等地区,都有比较丰富的矿藏。云母具有良好的解理性能(即能沿其解理面劈成或剥成很薄、很柔软而富有弹性的薄片),同时还具有优良的介电性能和机械性能,以及良好的耐热性、化学稳定性、不燃和防潮性,使云母在电容器的生产中得到广泛的应用。

1. 云母的分类

云母是一种碱金属或碱土金属的含水铝硅酸盐。云母的主要成分为三氧化二铝 (Al_2O_3) 和二氧化硅 (SiO_2)，除此之外还含有一定量的结晶水和某些杂质金属氧化物。由于云母中含有金属氧化物，对其性能有很大的影响，因此，常以云母所含金属氧化物的种类分为下列几类：

(1) 白云母 含钾的铝硅酸盐云母，亦称钾云母。其化学组成为： $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(2) 钠云母 含钠的铝硅酸盐云母，其化学组成为： $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(3) 金云母 含钾与镁的云母，其化学组成为： $\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

此外，还有锂云母和黑云母。以上云母中只有白云母的介电性能最优越，广泛用于制造云母电容器和电真空器件(如电子管、显示管等支持材料)。

2. 白云母的性质

(1) 物理性质 纯净的白云母有玻璃光泽、无色透明，有时略呈淡红玉色，有良好的解理性，耐热性好，白云母最高工作温度可达 640°C ，化学稳定性也很好，不易吸潮。

(2) 介电性能 优质的白云母介电常数为 7.3 ± 0.3 左右；介质损耗角正切值很小，一般 $\text{tg}\delta \leq (1 \sim 3) \times 10^{-4}$ ，而且随电压频率的增高而降低。在温度升高时，这种性质更为突出，如图 1-1 所示。故云母电容器适宜高频下使用。白云母片的电阻率一般约大于 $1 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ ，即绝缘电阻高；此外，承受电压的能力也很强。

云母也适用于作高压、低压各类电容器介质，而且是优质的绝缘介质，适用于电机绝缘等。

二、玻璃及玻璃釉介质

玻璃是由多种金属氧化物在高温下熔融后经冷却获得的一种无定形物质。玻璃黏就其微观结构而言，就是玻璃，它具有玻璃所固有的许多性质。所不同的是在熔制的冷却阶段处理方法各异。玻璃釉是在熔炼结束后，立即将熔融玻璃液体迅速注入冷水中，产生很大内应力使它破碎，所以玻璃釉又称淬火玻璃，还称低温玻璃。

玻璃釉是在熔炼结束后，立即将熔融玻璃液体迅速注入冷水中，产生很大内应力使它破碎，所以玻璃釉又称淬火玻璃，还称低温玻璃。

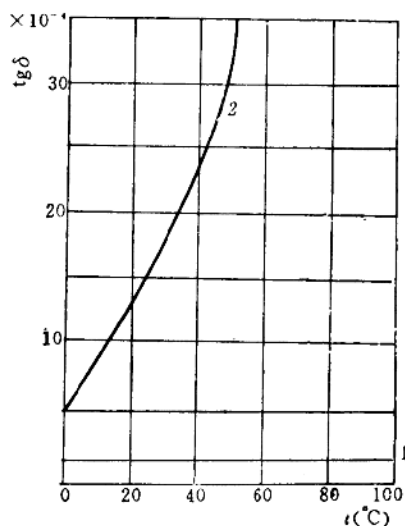


图 1-1 白云母片的 $\text{tg}\delta$ 与温度的关系
 $1-f=2 \times 10^6 \text{Hz}$; $2-f=50 \text{Hz}$

1. 玻璃的性质和成分

玻璃是一种无定形透明物质，没有明显的熔点；化学性稳定，耐热性好，有良好的热塑性，易加工成各种形状的产品；具有优异的气密性和焊接性，热胀系数很小，结构致密。不过，玻璃釉介质没有透明性。

绝缘玻璃有装置玻璃、电真空玻璃、电容器玻璃等等。

制造玻璃的各种氧化物原料有两点：一类是形成玻璃主体的材料，即决定玻璃主要性能的

氧化物,如氧化硅、氧化硼、氧化铝等;另一类是用来改善玻璃性能或改善熔制过程的添加剂,它们的用量少,不是玻璃中不可少的物质,属于这类的氧化物有:

澄清剂——硝酸钠、硝酸铵、氯化铵等。

加速剂——氧化硼、氧化砷、氟化钙等。

脱色剂——氧化锰、氧化砷、硝酸钾等。

着色剂——氧化铬、硝酸银等。

2. 玻璃和玻璃釉的用途

在电子工业中,玻璃和玻璃釉是常用的绝缘材料和介质材料。玻璃或玻璃釉作为绝缘材料可制造各种用途的绝缘子、混合集成电路的基片、电真空器件(如电子管和显像管等),还可在电子元件工业中,用来制造电容器及厚膜混合电路中印刷(制)电容。

玻璃或玻璃釉作为介质材料,可用来生产玻璃膜电容器、玻璃独石电容器、玻璃管状微调电容器以及玻璃釉电容器等产品。

三、电子陶瓷

陶瓷是由粘土、长石和石英等无机物质的混合物经成型、干燥、烧成而得制品的总称。包括陶器和瓷器等。

电子陶瓷或称电子工业用陶瓷,它在化学成分、微观结构和机电性能上,与一般的陶瓷相比有着本质的区别。这些区别是电子工业对电子陶瓷所提出的一系列特殊技术要求而制成的,其中最重要的性能是须具有高的机械强度,耐高温高湿,抗辐射,介电常数需在很宽的范围内变化,介质损耗角正切值小,电容量温度系数应可以调整(或电容量变化率可调整),抗电强度和绝缘电阻值高,以及老化性能优异等。

电子陶瓷品种规格繁多,按其特性可分为高频和超高频绝缘陶瓷、高频高介陶瓷、铁电和反铁电陶瓷、压电陶瓷、半导体陶瓷、光电陶瓷、电真空陶瓷、电容器陶瓷和电阻陶瓷以及超导陶瓷等。

利用陶瓷材料的高频或超高频和低频电气物理特性可制作各种不同形状的固定零件、陶瓷电容器、电真空陶瓷零件、碳膜电阻基体等。它们在通讯、广播、电视、雷达、仪器仪表等电子产品中是重要组成部分。另外,随着激光、计算集成、光学等新技术的发展,电子陶瓷的用途已深入到电子科学技术的各个领域,前景日益扩大。

1. 装置瓷

该瓷主要是用于制造电子元件、部件和电路中各种基体、结构件、绝缘零件(如各种线圈骨架、绝缘子、高频瓷轴、半导体器件和集成电路基片、电子管绝缘结构零件等)等的陶瓷,通称装置瓷(或称低介瓷)。

装置瓷品种,主要有滑石瓷、氧化铝瓷、镁橄榄石瓷、刚玉-莫来石瓷、氧化铍瓷等。其主要特点是具有较高的绝缘电阻、高机械强度以及低的介质损耗角正切值。

2. 电真空瓷

用于电真空器件的密封和绝缘结构零件,称为电真空瓷。资料有氧化铝瓷、氧化铍瓷和氮