



ZHINENG DIANNENGBIAO YUANQIJIAN
JIANCE JISHU

智能电能表元器件 检测技术

杜蜀薇 主 编
陈 梅 张蓬鹤 杜新纲 徐英辉 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ZHINENG DIANNENGBIAO YUANQIJIAN JIANCE JISHU

智能电能表元器件 检测技术

杜蜀薇 主 编

陈 梅 张蓬鹤 杜新纲 徐英辉 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分为五章,第一章概述介绍元器件的现状及分立器件的作用;第二章阻性元件主要介绍普通电阻器和压敏电阻器,重点介绍普通电阻器的温度系数、压敏电阻器的冲击稳定性和耐受力试验;第三章容性元件主要介绍铝电解电容器和片式电容器,重点介绍铝电解电容器的低温试验;第四章半导体器件主要介绍瞬变二极管和光电耦合器,重点介绍二极管的电流冲击试验和光电耦合器的时间特性试验;第五章晶体谐振器重点介绍晶体谐振器的频率温度特性试验。

本书适用于元器件生产、设计和可靠性分析等相关人员,电能表、采集终端、检测仪表等设备的研发、设计、分析及元器件选型人员;初学电路设计的人员;分立器件的检测人员。

图书在版编目(CIP)数据

智能电能表元器件检测技术/杜蜀薇主编. —北京:中国电力出版社,2018.7
ISBN 978-7-5198-1812-8

I. ①智… II. ①杜… III. ①智能电度表-元器件-检测 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第045636号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:周天琦 马玲科(010-63412243)

责任校对:王小鹏

装帧设计:赵姗姗

责任印制:石 雷

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2018年7月第一版

印 次:2018年7月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:12

字 数:263千字

定 价:42.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

本书编写组

主 编 杜蜀薇

副主编 张蓬鹤 徐英辉

编写人员 薛 阳 成 达 张保亮 彭楚宁 王雅涛

陈 盛 袁翔宇 陈 昊 李 熊 石二薇

赵 越 李思韬 翟 峰 郑安刚 李先怀

都正周 王于波 何 昂 李 宁 郑 江

陈思禹 谭 琛

前言

自 2009 年以来，国家电网公司开始进行智能电能表的推广应用，传统的机械式电能表逐步更换为智能电能表，电力用户与电网的交互、感知更加智能化和信息化。智能电能表广泛应用于发电厂、变电站、工商业与居民用户，其质量直接关系到电力交易的公平公正、电网运行的安全可靠和用电服务的优质高效。分立元器件是组成智能电能表的基本单元，其质量和可靠性水平是决定智能电能表质量的根本因素，传统的电能表质量评价主要沿用机械表的方式，将问题定位于电能表本身，随着科技的发展，智能电能表的出现对质量评价提出了新的需求，从分立元器件的检测、失效分析入手，建立元器件与智能电能表映射关系，才能提升智能电能表的质量水平，使智能电能表的质量由符合性向高适用性、高可靠性转型升级，落实质量强国、制造强国战略。

国家电网公司颁布了一系列电能表用元器件技术规范企业标准，以期从分立元器件的选型、质量评定、技术要求、试验方法等方面规范智能电能表的生产和设计，以标准为引领，规范电能表分立元器件的标识尺寸、电气性能、机械性能、环境性能、安全性等要求，制订了分立元器件的检测方法和检验规则。本书共分为五章：第一章介绍元器件的现状及分立器件的作用；第二章～第五章分别介绍了阻性元件、容性元件、半导体器件和晶体谐振器，主要介绍其重要的技术参数，影响可靠性的主要因素，最后根据影响因素确定的检测项目及相关检测方法，介绍了某些特殊的检测设备。

当前，随着电子技术、纳米技术和计算机技术的蓬勃发展和突飞猛进，分立器件的技术研究日益深入。中国正从制造强国走向质量强国，其仪器仪表行业的核心器件——分立器件的质量也日益得到重视，分立器件的检测技术是质量评价的一个重要环节，因为在仪器仪表产品的生产、调试以及维修环节，都需要对电子元器件进行检测，准确地掌握分立器件的检测技术，是技术人员必须要掌握的技能。

本书第二章得到了北京博纳电气股份有限公司的于立华、宁波三星医疗电气股份有限公司的屠良东、广东风华高新科技股份有限公司的张俊、成都铁达电子有限公司

的李炬等专家的热情协助；第三章得到了威胜集团有限公司的熊杰、湖南艾华集团股份有限公司的黄远彬、东风华冠华公司的麦雪清等专家的热情协助；第四章得到了烟台东方威思顿电气有限公司的付鹏、江苏捷捷微电子股份有限公司的张超、光宝科技（常州）股份有限公司的谢星等专家的热情协助；第五章得到了舟山润达电子有限公司的马剑锋等专家的热情协助。

特别要感谢国家电网公司营销部以及国网福建省电力有限公司、国网浙江省电力有限公司、国网黑龙江省电力有限公司、国网新疆电力有限公司、国网西藏电力有限公司、河南许继仪表有限公司、北京智芯微电子科技有限公司对本书的支持。

限于作者水平，书中难免存在不足之处，殷切希望广大读者批评指正。

编写组

2018年3月

目 录

前言

第一章 概述	1
第二章 阻性元件	6
第一节 普通电阻器.....	6
第二节 压敏电阻器.....	19
第三章 容性元件	36
第一节 铝电解电容器.....	36
第二节 片式电容器.....	57
第四章 半导体器件	77
第一节 瞬变二极管.....	77
第二节 光电耦合器.....	95
第五章 晶体谐振器	116
附录 A 电能表用分立器件数据资料	146
附录 B 元器件的相关标准	159
附录 C 部分元器件失效图片	173
参考文献	180

第一章 概述

自 2010 年以来,智能电网在全球范围内得到了快速发展,美国、欧洲等都制订了智能电网的发展计划,智能电能表得到迅速推广,逐渐适应了智能电网的新要求,同时智能电网对智能电能表的质量也提出了更高要求。目前,智能电能表已成为自动抄表、二次计量回路监测、供电电压质量监测、停电统计、反窃电等工作中必不可少的设备,也是营销工作中不可缺少的数据源泉。智能电能表的可靠性直接影响电能计量的准确性,关系到千家万户的利益和公司的企业形象。我国智能电能表的产量已跃居全球第一,2016 年国家电网公司已经实现了智能电网的“全覆盖、全采集”,2017 年全国在运行的智能电能表达 5.4 亿。智能电能表等现场运行设备的质量检测和分析数据显示,智能电能表在长时间运行后会出现严重的质量下降现象,其长期运行的寿命随不同环境的变化呈现差异性。目前,智能电能表年故障率约为 0.4%,即平均每年有 200 多万只智能电能表需要更换或维修,仅北京市年运维费用就达 25 万元,运维人员数量约为 3000 人。现在,我国智能电能表的整体制造水平、设计工艺和可靠性水平相对于其他仪器仪表领域已经在稳步提高,在国际市场尤其是东南亚市场占据绝对领先的地位,但与国际知名品牌相比还有差距。为了有效防范智能电能表质量因素带来的风险,确保电能计量准确、公正、公平,急需从根本上提高智能电能表的质量,以有效应对智能电网带来的新挑战。

据统计,电子产品整机故障有 70%是由于个别元器件失效造成的,把住元器件质量关可以有效提高产品质量。高品质的元器件是智能电能表整机产品质量可靠的基础。实践证明,智能电能表 70%左右的故障也源自元器件失效,如辽宁省运行的智能电能表因内置继电器过热导致表计烧毁,黑龙江省运行的智能电能表发生电解电容器漏液等事故,北京市运行的智能电能表出现通信故障等。因此,抓住元器件的质量和可靠性就抓住了智能电能表质量的根本和重点。从目前整个仪器仪表制造行业来看,绝大部分供应商拥有全套的智能电能表测试设备,完全能按照 GB/T 17215《交流电测量设备》的系列标准进行检测,但是由于元器件检测设备比较专业且价格昂贵,对检测人员技术要求很高,而且电能表整机生产商对元器件质量控制与检测技术掌握不足,所以如果没有专门的元器件检测设备,很难开展元器件的检测,基本上未开展元器件可靠性评价试验,只能简单地采纳元器件厂家的出厂检测报告。因此,在智能电能表的设计过程中,元器件选型主要依靠技术人员的经验,没有元器件的合格供应商评价目录,难以保证智能电能表选用元器件的质量,存在较大的批次质量失效风险,从而直接影响智能电能表整机产品的可靠性。

一、分立器件的定义

电子元器件是元件和器件的总称，是组成电子产品的基本单位，其性能往往决定着电子产品质量。电子元件指在工厂生产加工时，不改变分子成分的成品；电子器件是指在真空、气体或者固体中，利用和控制电子运动规律而制成的器件。而分立器件是最小的电路单元，内部没有集成的东西，主要包括简单的元件和半导体器件，如电阻器、电容器、晶体管和特种器件等。分立器件与集成电路的区别是，分立器件没有化学的变化，且内部电路较为简单，仅由几个或单一的PN结组成，或者仅为简单的元件，如电阻器、电容器等，或为2~3个PN结设计组成的简单电路，如二极管、光电耦合器等。

分立器件被广泛应用于消费电子、计算机及外部设备、网络通信、汽车电子、电力行业等，尤其是在智能电能表中应用更为广泛，主要包括电阻器、电容器、二极管、三极管、光电耦合器、晶体谐振器等。

二、分立器件的作用

在元器件市场，无论是技术还是营销，集成电路都普遍受到关注，往往忽略分立器件。实际上，由于分立器件应用的特殊性，如使用灵活、功率大、速度快、成本低、生产条件要求低等特点，在很多电子线路中仍有广泛应用，分立器件的市场总体保持稳步增长，而亚洲尤其是中国市场增长得尤为明显，随着中国质量强国建设目标的提出，分立器件作为电子产品的重中之重，其销售量呈明显上升趋势。分立器件的质量也逐渐被重视，各种新型的分立器件逐渐被研发，相关的检测机构的检测能力也逐渐完善。

阻性元件主要包括各种通用电阻器、特殊电阻器等。电阻器的主要物理特征是变电能热能，也可称其为耗能元件。电阻器在电路中通常起分压、分流的作用，交流与直流信号均可通过电阻器。

容性元件具有容纳电荷的本领，主要包括各种电容器，如瓷介电容器、云母电容器、有机电容器、电解电容器等，广泛应用于电路中起到隔直通交、耦合、旁路、滤波、调谐回路、能量转换和控制等作用。

半导体器件主要包括各种二极管、三极管以及由其组成的器件，如瞬变二极管、整流二极管、晶体三极管和光电耦合器等。二极管是一种具有两个电极的器件，大多数只允许电流由单一方向流过，很多电路应用其整流、钳位的功能。三极管是一种控制电流的半导体器件，其作用是把微弱信号放大成幅值较大的电信号，也可用作无触点开关。光电耦合器是以光为媒介来传输电信号的器件，通常把发射部分与接收部分封装在同一个管壳内。当输入端施加电信号时发射器发出光线，接收器接收到光线之后就产生光电流，从输出端输出，起到隔离传输信号的作用。

晶体谐振器是指用石英材料做成的石英晶体谐振器，俗称晶振，也称晶体。晶体谐振器起产生频率的作用，其产生的频率具有稳定性、抗干扰性良好的特点，广泛应用于各种电子产品中。

三、分立器件的检测现状

分立器件的检测主要包括与电流、电压、时间等相关的特性参数的检测，安全性（包括绝缘电阻、交流耐压、阻燃等）的检测，可靠性的检测。分立器件的检测可贯穿在分立器件的前期设计、生产过程和出厂验收等各个环节，可由第三方进行，也可由生产厂家的技术人员自行开展，根据需求的不同，检测的内容、频次和范围都不相同。目前，从事分立器件电参数检测设备的研发与生产的厂家较多，国外如泰克、安捷伦和 Quadtech 等，国内如北京泰思特、杭州中安和上海精仪等；从事可靠性检测的环境试验箱的研发与生产的厂家非常多，国外如 Q-Lab、Espec 和 Dage 等，国内如金鹰环试、上海增达和北京雅士林等。

1. 国内检测现状

国内的军工、航空、航天等领域由于设备使用环境严酷、复杂，为保证产品能够在特殊环境下正常工作，对产品和内部元器件都有严格的性能要求，制定了“七专”7905 和“八专”8406 技术协议，并建立了相应的检测机构，专门从事产品的可靠性预计和元器件检测，如航天科工集团 203 所、北航元器件检测中心、中国赛宝实验室、中国标准化研究院等。但多数检测机构以本行业、本集团或本公司内部服务为主，其实验室建设情况和检测方法通常不对外公布，也不对外开展检测服务。目前元器件检测的技术依据主要包括相关标准、产品器件手册或使用单位技术文件三部分，标准以国家标准和军用标准为主。电力行业内，中国电力科学研究院于 1998 年建立了电力行业首家电能表可靠性试验研究室，近年来重庆、华北等电力公司也建立了电能表可靠性试验研究室。为加强产品质量监控，把好元器件质量关，从根源上保障智能电能表的可靠性，2009 年，国家电网公司在“计量、抄表、收费标准化研究”项目中，针对电子式电能表的特点以及现有电能表可靠性评价方法的局限性，提出了基于元器件应力法的电能表可靠性评价方法，同时在智能电能表技术规范中明确提出“订购的电能表具有国家电网计量中心出具 MTTF 平均无故障时间不少于 10 年的可靠性检测报告”，“制造单位应提供基于元器件应力法的电能表可靠性预计报告”。2012 年，中国电力科学研究院建成了电力行业首家元器件检测实验室，并通过 CNAS 和 CMA 的实验室认可。2015 年，国家电网公司制定了电能表用元器件技术规范系列标准，全面开展元器件检测，检测项目不局限于性能测试，还包括环境性能和可靠性等内容。2017 年，国家电网公司在黑龙江漠河、新疆吐鲁番、西藏羊八井和福建湄洲岛建立计量设备典型环境试验基地，能够开展高严寒、高干热、高海拔、高湿热和高盐雾的电子元器件现场自然环境带电运行试验，对元器件长期运行进行实时监测。

2. 国外检测现状

美国最早制定了全系列较为严格的 MIL 军工电子元器件产品质量等级体系 MIL-PRF-19500 标准, 规范了元器件的质量分级方法和各类总规范。同时与欧洲空间局制定了 ESA/SCC (Europe Space Agency/Space Component Cooperation) 5000 标准, 将元器件以可靠性失效率等级划分, 从低到高依次分为民用级到宇航级, 并制定了有可靠性指标的元器件失效率等级, 为各种场合的使用提供了测试标准。美国主要的元器件检测机构为美国保险商试验所 (UL)。

德国的西门子编写了 SN29500 标准, 涵盖了汽车、医疗、通信和民用等领域, 建立了常用元器件在典型情况下的失效率基础数据, 并定期进行更新, 其数据主要来源于现实使用情况及试验数据。德国主要的元器件检测机构为德国电子协会创始机构 (VDE)。

英国燃气和电气行业监管机构 OFGEM 依据 SN29500 标准建立了各类材料与元器件的指数分布实效模型数据库, 并运用该模型数据库编制了一套程序文件和软件分析工具。该工具能对送检各型计量仪器中所有与质量有关的环节进行详尽的可靠性分析, 并得出数值化的可靠性与使用寿命的理论关系曲线。国际电工委员会制定了 IEC 60115 系列标准, 包括对元器件各项性能的检测方法以及达到合格的标准。英国主要的元器件检测机构为英国标准协会 (BSI)。

日本的元器件标准体系是不断学习和完善过程的积累结果, 目前已经得到国际认可, 主要包括指导元器件生产和指导元器件保证、选用两大类, 规范了元器件的认证、鉴定、质量保证、管理和选用等内容, 使制造方和使用方形成统一的有机整体, 强调了使用方即最终客户的参与作用。

四、分立器件的可靠性标准

元器件的可靠性是指元器件在规定的条件下、在规定的时间内完成规定的功能的能力。可靠性试验分为研发阶段、试产阶段和量产阶段, 一般以寿命试验为主。

GB/T 5080.1—2012 可靠性试验 第 1 部分: 试验条件和统计检验原理

GB/T 5080.2—2012 可靠性试验 第 2 部分: 试验周期设计

GB 5080.4—1985 设备可靠性试验 可靠性测定试验的点估计和区间估计方法(指数分布)

GB 5080.5—1985 设备可靠性试验成功率的验证试验方案

GB 5080.7—1986 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB 5081—1985 电子产品现场工作可靠性、有效性和维修性数据收集指南

GB 7288.1—1987 设备可靠性试验 推荐的试验条件 室内便携设备——粗模拟

GB 7289—1987 可靠性、维修性与有效性预计报告编写指南

GB 7827—1987 可靠性预计程序

GB/T 7828—1987 可靠性设计评审

GB/T 24468—2009 半导体设备可靠性、可用性和维修性 (RAM) 的定义和测量规范

GJB/Z 27—1992 电子设备可靠性热设计手册

GJB/Z 299 C—2006 电子设备可靠性预计手册

GJB 813—1990 可靠性模型的建立和可靠性预计

GJB 899—1990 可靠性鉴定和验收试验

GJB 1407—1992 可靠性增长试验

EJ/T 888—1994 核电厂电气、电子和敏感元件可靠性数据的收集和提供导则

QJ 1556 A—1998 电子元器件质量与可靠性信息采集卡填写规定

SJ/T 10386—1993 电子工业专用设备 可靠性指标验证试验方法

SJ/T 10388—1993 电子工业专用设备 可靠性术语

五、分立器件的环境试验标准

元器件在设计、使用过程中,除性能满足要求外,还应能保证在一定的环境条件下性能变化不影响使用要求。环境试验即为了保证元器件在规定的寿命期间内,在预期的使用、运输或者贮存的所有环境下,保持功能可靠稳定而进行的试验。一般应用于元器件研究性时期、定型时期、生产检查期和验收期等。

GB/T 2423.3—2016 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Cab: 恒定湿热试验

GB/T 2423.18—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Kb: 盐雾, 交变 (氯化钠溶液)

GB/T 2423.28—2005 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 T: 锡焊

GB/T 2423.32—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ta: 润湿称量法可焊性

GB/T 2423.60—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 U: 引出端及整体安装件强度

第二章 阻性元件

电能表中的阻性元件主要包括普通电阻器与压敏电阻器。普通电阻器的主要物理特征是变电能为热能，也可称其为耗能元件，电流经过电阻器则产生内能，所以电阻元件的电阻值一般与温度、材料、长度及横截面积有关。普通电阻器在电路中通常起到分压、分流的作用，交流与直流信号均可通过普通电阻器。

压敏电阻器用来保护所有的电子产品或元件免受开关或雷击诱发所产生的突波的影响，呈非线性指数的特性。压敏电阻器的反应时间快、漏电流小，具有优越的电压比、宽广的电压与能量比、低备用电力且无后续电流、高效能的突波电流处理能力等特性以及抑制电压特性的稳定执行能力。

压敏电阻器的主要用途为防雷、过电压保护，在正常状态时，相对受保护的电子元件而言，压敏电阻器具有很高的阻抗，而且不会改变设计电路特性，但当突波电压瞬间出现时，压敏电阻器的阻抗会变低（仅有几欧姆），使原线路短路，保护电子产品或其他元件。智能电能表在电源输入端接入压敏电阻器，一旦电网电压升高，压敏电阻器就会迅速短路，从而有效地防止过电压进入线路板。

第一节 普通电阻器

电阻器在电路中常用作分压器、分流器或负载电阻；其与电容器一起组成滤波器及延时电路；在电源电路或控制电路中用作取样电阻或者去耦电阻；在半导体管电路用偏置电阻确定工作点，或者进行电路的阻抗匹配。

本节主要介绍电能表中常用的采样电阻器。单相智能电能表中的电流采样，主要采用锰铜电阻器，属于特制电阻器；三相智能电能表中的电流采样前端主要为电流互感器，随后接入电阻器，该电阻器阻值较小，串联在电路中用于把电流信号转换为电压信号进行测量，即将电流信号转换为计量芯片电流通道可以采集的电压信号。电压采样主要采用片式电阻器，将电压信号转换为计量芯片电压通道可以采集的电压信号。电流采样电路中的采样电阻主要以片式电阻器为主，近期也出现了 MELF（metal electrode leadless face）电阻器。片式电阻器具有耐潮湿、耐高温、可靠度高、外观尺寸均匀、温度系数与阻值公差小等特点；MELF 电阻器具有有效面积大、耐高功率、散热好的特点。

一、电阻器简介

1. 电阻器分类

电阻器一般可分为固定电阻器与非固定电阻器，固定电阻器又可按照结构、材料、功能、伏安特性分类。另外，还有部分是特殊电阻器，如热敏电阻器、光敏电阻器、力敏电阻器、湿敏电阻器、压敏电阻器、磁敏电阻器与气敏电阻器等。

(1) 按结构分类。

a. 贴片电阻器（无脚电阻器或无引线电阻器），如图 2-1（a）所示。

(a) 陶瓷基体电阻器。以陶瓷基板为基体形成的片式电阻器，依电阻层材料的不同，可分为薄膜电阻器、厚膜电阻器、合金电阻膜电阻器等。

(b) 合金电阻器。以合金材料为基体形成的电阻器。

(c) MELF 电阻器。又称为圆柱形电阻器，以陶瓷棒为基体形成的柱状电阻器，如图 2-1（b）所示。

b. 插件式电阻器，如图 2-1（c）所示。

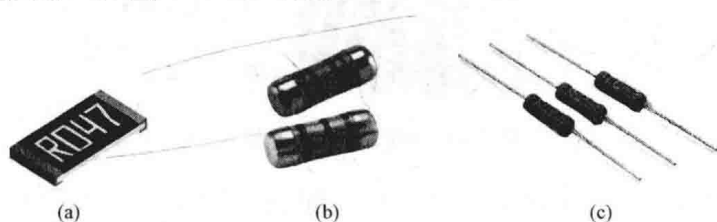


图 2-1 电阻外观

(a) 贴片式电阻器；(b) MELF 电阻器；(c) 插件式电阻器

(2) 按材料分类。可分为碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属箔电阻器、金属氧化膜电阻器、玻璃釉膜电阻器、水泥电阻器等。

(3) 按功能分类。可分为通用型、精密型、高阻型、超低阻型、功率型、高压型、高频型、抗浪涌型等。

(4) 按伏安特性分类。可分为线性电阻与非线性电阻。

2. 电阻器基本结构

(1) 片式电阻器基本结构。片式电阻器一般由基板、电阻层、保护层与电极组成，见图 2-2。

基板材料一般采用 96% 的三氧化二铝陶瓷。基板除应具有良好的电绝缘性外，还应在高温下具有优良的导热性、电性能和机械强度等特性。对于厚膜片式电阻器，电阻层用具有一定电阻率的电阻浆料印刷到陶瓷基板上，再经烧结而成。对于薄膜片式电阻器，电阻层用具有一定电阻率的电阻靶材通过真空溅射或真空蒸镀沉积而成。保护层覆盖在电阻层上，主要是为了保护电阻膜。它一方面起机械保护作用，另一方面使电阻器表面具有绝缘性，避免电阻器与邻近导体接触而产生故障。电极是电阻器的引

出端，为了保证电阻器具有良好的可焊性和可靠性，一般采用三层电极结构，即内、中、外层电极。

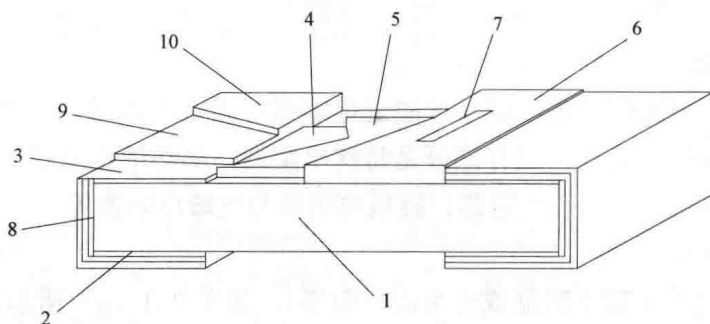


图 2-2 片式电阻器结构

1—基板；2—背面电极；3—正面电极；4—电阻层；5—第一保护层；6—第二保护层；7—字码；
8—侧面电极；9—Ni 电镀层；10—Sn 电镀层

(2) MELF 电阻器基本结构。MELF 电阻器一般由瓷棒、合金电阻膜层、保护漆与电极组成，见图 2-3。



图 2-3 MELF 电阻器结构

瓷棒、合金电阻膜层、保护漆与片式电阻器结构基本相同，MELF 电阻器的电极是由铁帽制成的。

3. 电阻器制造工艺流程

(1) 片式电阻器工艺流程。厚膜片式电阻器制造工艺流程见图 2-4，主要包括烧结、修整、印刷、电镀和测试包装等环节。

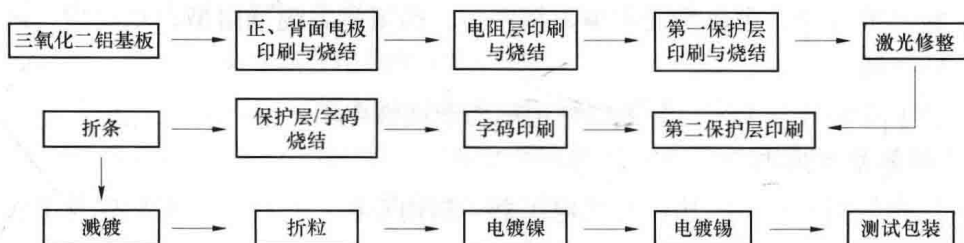


图 2-4 厚膜片式电阻器制造工艺流程

电极印刷：采用丝网印刷的方法将导体浆料印刷在陶瓷基板上，包括正面电极和背面电极，并烧结成型。

电阻层印刷：采用丝网印刷的方法将电阻浆料印刷在陶瓷基板上，并烧结成型。

第一保护层印刷：采用丝网印刷的方法在电阻层上印刷并烧结一层玻璃材料，保护电阻层，也可做调整阻值使用。

激光修整：测量电阻，同时采用激光对电阻体进行烧灼，调整电阻值达到设计要求。

第二保护层印刷：经过激光调阻后，采用玻璃体或树脂材料在电阻体上印刷一层保护膜，达到绝缘的效果，同时可使电阻器耐潮湿。

字码印刷：在保护层上印刷字码（0603 以上尺寸）以辨识电阻值。

折条：将基板由纵向折成条状以方便制作侧面电极。

溅镀：在基板侧面采用真空溅渡方式制作连通正面电极和背面电极的侧面电极。

折粒：将侧导溅镀后的条状基板再按照产品尺寸折成粒状。

电镀：在粒状电阻的端电极上镀一层镍，作为中间电极，最后再镀一层可焊性良好的锡。

测试与包装：电阻器经过测试后包装入库。

薄膜片式电阻器制造工艺流程见图 2-5，主要包括烧结、遮罩印刷、修整、电镀和测试包装等环节。

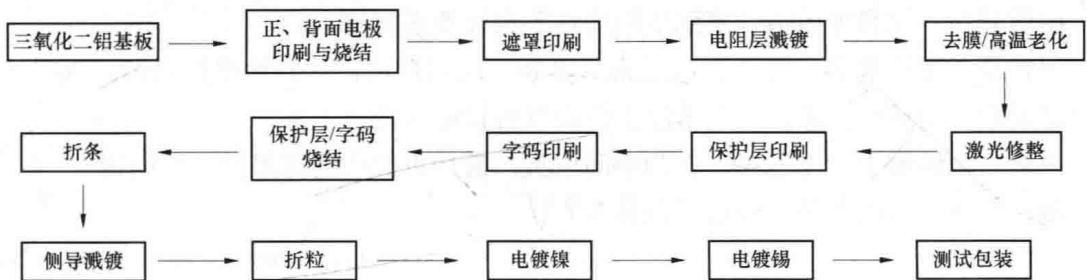


图 2-5 薄膜片式电阻器制造工艺流程

电极印刷：采用丝网印刷，将导体浆料印刷在陶瓷基板上，包括正面电极和背面电极。

遮罩印刷：在电极上印刷一层保护膜并将电阻层图形露出以方便电阻层成型并与电极层隔离。

电阻层溅镀：采用真空溅镀的方式将合金电阻膜沉积成型在陶瓷基板上。

电阻层老化：运用不同的老化条件使电阻层的 TCR（温度系数）特性达到设计要求。

激光修整：测量电阻，同时采用激光对电阻体进行烧灼，调整电阻值达到设计要求。

保护层印刷：经过激光调阻后，采用玻璃体或树脂材料在电阻层上印刷一层保护层，达到绝缘的目的，同时可使电阻器耐湿、耐环境。

字码印刷：在保护层上印刷字码（0603 以上尺寸）以辨识电阻值。

折条：将基板由纵向折成条状以方便制作侧面电极。

侧导溅镀：在基板侧面采用真空溅渡方式制作连通正面电极和背面电极的侧面电极。

折粒：将侧导溅镀后的条状基板再按照产品尺寸折成粒状。

电镀：在粒状电阻的端电极上镀一层镍，作为中间电极，最后再镀一层可焊性良好

的锡。

测试与包装：电阻器经过测试后包装入库。

(2) MELF 电阻器制造工艺流程。MELF 电阻器制造工艺流程如图 2-6 所示。

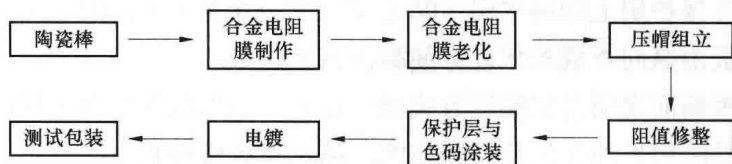


图 2-6 MELF 电阻器制造工艺流程

合金电阻膜制作：采用具有较高热传导性的三氧化二铝陶瓷棒，使用真空溅镀方式制作电阻膜。

合金电阻膜层老化：运用不同的老化条件使合金电阻膜的 TCR 特性达到设计要求。

压帽组立：在合金电阻膜处理后的瓷棒两端盖上铁帽形成端电极。

阻值修整：调整电阻值，直到电阻值达到设计要求为止。

保护层与色码涂装：在合金电阻膜层涂装一层保护层，达到绝缘的目的，同时可使电阻器耐湿、耐环境。保护层上再涂上色码以辨识电阻值。

电镀：在铁帽上镀一层镍，作为中间电极，最后再镀一层可焊性良好的锡。

测试包装：电阻器经过测试后包装入库。

二、电阻器主要技术参数

电阻器的主要技术参数有标称阻值、允许偏差、额定功率、额定电压、温度系数与脉冲负载能力等。

1. 标称阻值 (rated resistance)

在电阻器上标出的电阻值称为标称阻值，通常由设计所确定，单位为 $m\Omega$ 、 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 。电阻值与电阻器本身的材料、长度、截面积和温度相关，即

$$R = \rho(L / S) \quad (2-1)$$

式中 ρ ——电阻率， $\Omega \cdot m$ ；

S ——横截面积， m^2 ；

L ——材料的长度， m ；

R ——电阻值， Ω 。

标称阻值一般根据 GB/T 2471—1995《电阻器和电容器优先数系》确定，常用电阻器的标称阻值有 E24 与 E96 系列，见表 2-1。使用时将表 2-1 中的数值乘以 0.1、1、10、100……直到 $10n$ (n 为整数) 就可以成为这一系列阻值，即其十进倍数或约数。如 E24 系列中的 15 就有 1.5 、 15 、 150Ω 和 1.5 、 15 、 $150k\Omega$ 等。在选择电阻器的阻值时，如果系列中没有，建议选择系列中的相近值。