

解析生产工艺对MOV产品特性发挥的重要作用

Analysis of important effect of production technology on MOV product characteristics

韩长生

795厂首席专家

中国电子学会传感与微系统技术分会电压敏专业学部三、四、五届秘书长 咸阳 712099

摘要：从MOV的生产工艺试验实践总结，论述了MOV配方与生产工艺的关系，配方具有独立性，配方与生产工艺具有相互之间的制约性。提出均匀性是MOV工艺操作中各道工序必需完成的共同任务，生产工艺具有系统工程性质。通过实例解析，改进烧结工序提高了压敏电压一致性，改进被银工序提高了产品性能。

关键词：解析；MOV；配方；生产工艺；生产工序；系统性；均匀性

0 前言

作为新兴的、具有特殊保护特性的边缘科学，从上世纪60年代末进入应用以来，历经半个多世纪的发展，今昔已不可同日而语。从被动推广应用、主动寻找用户、上门宣讲，转变为当今电子设备保护主动追求的器件，充分体现MOV独特的保护特性已被广泛认同。

虽然随着科技进步和保护特性要求愈来愈高，组合型的保护器件SPD、TMOV以及叠层片式MOV随遇而生，但MOV仍旧是最为基本的保护器件。

时至今日我国已成为MOV生产大国，厂家遍布神州大地。综合分析大致可归纳为下列几类产业状况：

第一类，MOV专业生产企业。

第二类，非专业生产企业，兼顾生产MOV。

那么，无论哪种企业，生产中都离不开MOV配方与生产工艺之间复杂的关系，从而影响企业MOV产品质量。

1 简述MOV配方与生产工艺

1.1 配方

撇开理论分析，所谓配方即是以具有半导体特性的氧化锌为主体的化学元素，添加多种各具不同物理特性的其他化学元素摩尔量的不同比例，科学组合而成的混合物，不同的化学元素摩尔量决定不同的物理特性，它们的综合特性是决定MOV特性的基础。

1.2 生产工艺

简单的说，生产工艺就是把配方体系中的各种化学

元素混合物经过复杂的、多工序的工艺制造过程，实现为MOV产品特性的特殊制造过程。

2 简述MOV配方和生产工艺之间的关系

2.1 各自的独立性

MOV配方一旦经试验验证通过，即具有独立性，一般情况下，不以人们的个人意志而随意改动。

生产工艺是通过各工序的独立操作，完成对配方中各化学元素混合物的加工过程，并最终制造出MOV产品。各工序有严格的操作规范，一经制定通过便成为生产中的法规文件，未经许可，不能随意改动。

2.2 相互之间的制约性

相同配方，不同的生产工艺制造过程，配方体系特性发挥的优劣程度则不同，也就是说，产品质量稳定性则不相同，生产工艺制约着配方。

如果配方体系出现化学元素配合不合理，也即配方不成熟，那么再好的生产工艺都无法实现MOV的基本特性，配方又制约着生产工艺。

因此，配方和生产工艺两者之间存在辩证的互为制约的关系。

3 实例说明

下面的实践充分说明上述理论的正确性。

华南某MOV专业生产企业，一段时间以来生产质量不稳定，企业陷入经济困境，受聘入职，担任主要技术负

责人。为摸清企业具体情况，做了如下工作：

第一：对企业技术状况进行调研。

配方体系调研：该公司采用的配方体系无瑕疵，是国内成熟的配方体系之一。

生产工艺调研：生产过程控制不够严谨。

生产设备调研：整体没有太大问题。

技术标准调研：压敏电压实测误差值规定为标称值的正负 10%，过于宽松。

第二：分析问题症结

宽松的技术标准导致生产过程控制不严，配方特性发挥有限。

第三：提出解决方案。

首先提高标准等级，进而完善生产过程控制。

说明：

静态三参数压敏电压、限压比、漏电流中的压敏电压，标准中一般给出的是标称值。为了国际统一，国际电工委员会（IEC）规定该标称值的偏差范围为 $\pm 10\%$ 。它有两个含义：一个是用户选择 MOV 时的参考数据，另一个是作为 MOV 动态负载试验后合格与否的判断值。但他不是表征压敏电压初始的实测值误差。标称值偏差和实测值误差，是完全不同的概念。

凡质量稳定，称得上国际领先的企业，压敏电压实测值误差基本控制在标称值的正负 1% 的范围内，这一数值也实际体现出企业生产过程的稳定程度，国外如松下、西门子及国内某些企业等。压敏电压误差越偏离 1% 的范围，说明生产过程控制越松散，质量越不稳定。

基于上述调研结果和说明，质量不稳定的根源已比较清楚。根据企业当时实际情况，暂将压敏电压合格判定值提高到不超过标称值的 $\pm 5\%$ 范围内。超过 5%，但在 $\pm 8\%$ 以内判为次品，但不允许超过批产量总数的 5%。其余为不合格。

标准提高，目的是对生产工艺过程控制提出严格要求，并明确工序的操作要点，建立合理的操作规范。历经半年磨合和适应，产品过程控制逐步稳定，静态三参数测试和动态负载性能逐步达到日本松下当年的企业产品样本水平，产销量直线上升。进一步提升标准水平，严格工艺操作，必有更好的结果出现。

必须强调的是，整个质量改进中，没有涉及到配方体系。说明不同生产工艺严格把控、工艺参数的科学选定，可以生产出质量不同的产品。标准提高只是奋斗目标，工艺改进才是需要完成的任务。

4 对工艺过程控制的几点看法

生产工艺过程非常繁琐复杂，问题方方面面。每一道工序都有其具体的操作内容。但基于长期的生产实践证明，生产工艺过程的基本工作内容和操作重点只能围绕下列两点进行：

(1) 均匀性是 MOV 工艺操作中各道工序必需完成的共同任务

分析 MOV 的配方体系，就可以理解均匀性的重要性。理想的 MOV 内部结构应是纵横向晶粒大小一致，晶粒串联和并联所形成的电压及通流面积稳定，MOV 特性将是绝对稳定。但要实现这种结果几乎是不可能的，影响这种结果的因素多而复杂，因而只能通过工艺过程控制尽可能的实现最佳结果。

产品内部晶体的不均匀程度是造成结构性缺陷的根源，而结构性缺陷来源于多方面的因素，如元素材料组份的均匀性、粉料颗粒度的均匀性、瓷片尺寸偏差及密度等操作均匀性，以及排胶、烧结等工序的排气及结晶过程晶粒的均匀性等。工序间操作的均匀性程度越高，产品最终体现的性能就越好。

(2) 系统工程性质是 MOV 生产工艺的灵魂

作为功能性陶瓷的 MOV 的生产工艺，必须认识到，工艺过程各工序之间必然互有影响，前一工序的成功操作是对后一工序甚至整个工艺过程成功的保证。如果前一工序操作不当，后一工序基本无法改变。比如喷雾造粒无法改变混料的不均匀性，压片工序又不能改变造粒的不均匀性，以次类推，最终将所有的不均匀性累积到烧结工序，给晶体的均匀性造成无法改变的实质影响。

因此，生产工艺的全过程是一个环环相扣、互有牵连的具有系统工程性质的操作，需要统筹兼顾、全面考衡、系统性的制定每一工序操作规范。

5 产品质量稳定提高的实例解析

在上述理论原则的指导下在实践中得以充分体现，并取得好的效果。受聘华东某企业建立 MOV 生产线，鉴于新建生产线的有利条件，有机会做完整的摸底试验工作。在长期的试验验证工作中，确认操作工序参数的合理选择对整体工艺生产过程的质量影响十分重要，对产品的质量水平也十分巨大，从而必须选择工序操作的优选参数。

限于篇幅不可能一一列举，仅举其中两例说明如下：

5.1 烧结工序改进提高压敏电压一致性

例一：烧结工序改进提高压敏电压一致性。

压敏电压一致性是生产工艺稳定的标志之一，同时也是未经试验先期判断动态性能特性的重要表征之一。MOV 结晶体的形成全部由烧结工序完成。结晶体均匀性将直接导致电压一致的程度。

通过十几条烧结曲线的反复试验验证，证明电压一致性与烧结曲线的合理设计密不可分，而电压一致性取决于烧结工艺结晶体的一致性，从中总结出烧结曲线设计的基本原理。

图 1 示出烧结曲线示意图。

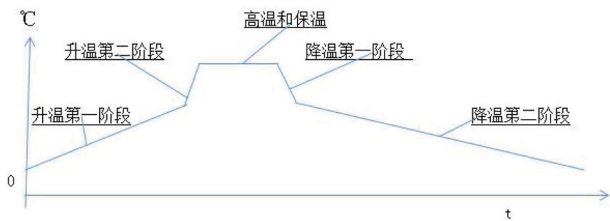


图 1 烧结曲线示意图

5.1.1 升温曲线的设计理念

升温曲线的设计理念：分为两个阶段，分别完成两个任务。

第一阶段主要是给瓷基体加热，同时辅助完成在排胶工序中未被完全排出的气体，升温速度以慢为主，逐步加快，并综合考虑生产效益。

第二阶段主要是从开始到完成各化学元素的物理变化、结晶体形成的过程。

这一阶段是烧结过程最为复杂和难以掌控的，为了达到结晶体均匀化的目的，业界有许多理论性的分析，此处不一一详述。经大量微观结构分析证明，为使结晶体尽可能均匀，并且不出现结构性缺陷，升温速度应适当比第一阶段要快，快慢以配方不同而有一定差异。

但共同的一点是确定两阶段变温的过渡点，这一点十分关键。当达到各元素开始物理变化的温度时，即为升温速度加快的过渡点，过早或过晚均对结晶体形成造成影响。

5.1.2 最高温度和保温时间的设计理念

最高温度主要是考虑确定电压梯度。

保温时间决定结晶体稳定的程度，以及随着氧化铋液化、残留气体随氧化铋液道排出和氧化铋的流失量来决定。时间长短由配方体系不同以及烧结后微观结构分析以及动态负载试验结果来决定。

5.1.3 降温曲线的设计理念

降温曲线的设计理念：同样分两个阶段。

第一阶段，快速降温。主要是保证高温时形成的结晶状态不回返。可使用反转升温的快速曲线。

第二阶段，慢速降温。速度慢而适中，以瓷体不产生裂纹和内应力为目的，最终也是以动态负载试验结果来确定。

不同的烧结曲线设计得出的结果各不相同，经过多条曲线对比，最理想的烧结曲线产生的烧结结果，95% 以上产品的电压实际值误差保持在标称值偏差的 2% 变化率范围内，而其中又有 30% 产品变化率可达 1%。继续研发，压敏电压变化率绝大部分稳定在 1% 以内不成问题。

5.2 工序参数对产品动态性能的影响

例二：工序参数对产品动态性能的影响（以瓷片被银工序为例）。

被银工序很简单，就是刷银、烘银、银还原。

被银工序改进：实践二次被银、二次银还原的工艺。

结果有二，一是压敏电阻两端极性大大降低，几乎为零，静态三参数稳定。二是动态负载耐脉冲冲击能力比一次被银、一次银还原工序提高数十倍乃至数百倍。在 TMOV 组合中同样显示出优越性。

分析原因有三：

(1) 二次还原再次清除了银层所含杂质，提高银的纯度，降低负载冲击时电流阻力，减小电流流过时产生的热量，因而耐脉冲能力大大提高。

(2) 二次还原并加大还原时间，使银层更加深入瓷片内部，提高银层的附着力，同样降低负载冲击时的电流阻力。

(3) 二次还原客观上起到了瓷片的回火作用，消除了残留在瓷片内部的应力甚至是裂纹，提高了产品的抗冲击能力。

6 后记

本文并无高深理论，只是实践总结。常言道实践出真知，大概也是这个意思吧。上述概念理论及实例说明只是工艺改进的部分内容，实际上每一道工序的改进都有其具体的内容，限于篇幅，不一一赘述。

当然，对某些企业或技术人员来说，上述内容可能并不新鲜，甚至有更为出色的成就，但鉴于鲜有文章发表和讨论，本文全当抛砖引玉，以飨读者，希望有更精彩的文