

半导体MOV SPD一体化封装技术

Integrated packaging technology of semiconductor MOV with SPD

肖小驹

深圳市辰驹电子科技有限公司 深圳 518034

摘要：压敏电阻 MOV 在瞬间过电压工作环境中，会遇到暂态、工频过电压的工作情况，引起拉弧起火的问题。MOV 采用高分子复合材料一体化封装技术，长时间耐受 1600°C 高温，无明火、不变形、无爆裂现象。

关键词：半导体，压敏电阻 MOV，电涌保护器 SPD，一体化，封装技术

1 引言

压敏电阻 MOV 在瞬间过电压工作环境中，会遇到暂态、工频过电压的工作情况，引起拉弧起火的问题。MOV 采用高分子复合材料一体化封装技术，与环氧封装 MOV、塑料封装 MOV、热熔丝 TMOV 作了对比实验，结果证实一体化封装 MOV 长时间耐受 1600°C 高温，无明火、不变形、无爆裂现象。改善封装电极结构，提高电磁场的均匀分布，提高耐受时间和强度。改善芯片配方、制造过程，提高芯片耐受程度。

2 半导体压敏电阻 MOV 特性

2.1 半导体与青铜器

在人类发展史中

(1) 青铜器时代

3000 年前就学会了使用铜器，在随后的使用过程中，偶然发现在铜里面掺杂 5% ~ 15% 的锡之后，可以得到硬度性能更好、熔点更低，更容易成形的青铜器，开创人类的青铜器兵器时代。

(2) 钢铁时代

在随后的近 200 年资本主义工业化进程中，人们大量使用铁，但也是偶然发现在铁里面掺杂 1% 的镍和钴之后，以及风箱发现和使用，使得冶炼温度更高，使得百炼成钢成为了可能，人类可以得到性能更好的钢，带动了后期资本主义大规模工业化的发展！

(3) 半导体时代

到了今天，我们常见的半导体芯片同样也是掺杂了 10 的 4 次方的杂质，才出现了导电性能的半导体芯片。这才有了我们现在五花八门的电话、电视、汽车、飞机等，电子器件、电子产品的时代。

从青铜器到钢铁时代、到半导体时代，它们共有一个

特征，就是“掺杂”。也就是说，“掺杂”它是人类从宏观到微观、从微观到宏观，认识环境、认识自然、认识自己、改变自己的人类进步发展史的重要特征和进步！

掺杂：

青铜器时代 = 铜 + 掺杂 锡 5 ~ 10 / 100；

钢铁时代 = 铁 + 掺杂 镍和钴 1 / 100；

半导体时代 = 半导体 + 掺杂 镍 1 / 10000。

2.2 过电压的瞬间性

做为半导体金属氧化物压敏电阻 MOV 元器件，它是一个瞬间过电压保护元器件，它不能处理类似于工频暂态的工作过电压，只能用于瞬态过电压的保护。不能针对所有的过电压起到保护作用！这里谈的瞬态过电压是指持续时间大大低于工频周期 (0.02s) 的瞬变过程的浪涌冲击过电压。

(1) 对瞬时过电压 (10^{-9} 秒 ~ 10^{-6} 秒) 具有很高的抑制能力。

(2) 对暂态或工频过电压 (10^{-3} 秒 ~ 10^{-1} 秒级) 浪涌冲击容易出现老化、起火的问题。

半导体金属氧化物压敏电阻 MOV 是一个瞬态功率元器件，而不是一个暂态、工频工作元器件。

过电压分类：

(1) 外部过电压

1) 直击雷过电压 (35kV 以下)

2) 感应过电压 (μ s 级别)

① 静电感应过电压；

② 电磁感应过电压。

(2) 内部过电压

1) 故障过电压 (s 级别)

① 单线接地故障过电压；

② 双线接地故障过电压；

③间隙性飞弧故障过电压。

2) 系统换路过电压 (ns / ms 级别)

- ①空载时换路过电压；
- ②切断电流时过电压；
- ③不规则换路时过电压；
- ④电流换向时过电压；
- ⑤其他。

2.3 MOV 三大参数

半导体压敏电阻其重要电性能参数特征主要分为三大类：

(1) 电流冲击 I-t 特性

电流冲击的大小和冲击次数的多少，代表了芯片制造过程工艺材料均匀性的好坏，它是客户选择供应商入级门槛的基本电性能参数。

(2) 工频耐受 U-t 特性

工频耐受，其实质是元器件工频绝缘强度的特征参数，是指压敏电阻在工频电压作用下，工频短路电流击穿的抗受能力指标。

其计算公式： $\text{工频耐受比} = \text{加载的工频电压} / \text{压敏电压 AC 值}$ 。

一般，压敏电阻 MOV 工频耐受比在 1.13 ~ 1.18 之间，SPD 一般在 1.25 左右，其特征参数代表了器件在整机安装环境下，工作安全性能的指标。

(3) 残压输出 U-I 特性

残压也称最大限制电压，即压敏电阻导通后形成的电压，导通后电压要比导通前的压敏电压要高，故而压敏电阻无续流问题，这也是作为过电压防护元器件，MOV 是在太空卫星、对空导弹，唯一选用的固体过电压防护元器件。其反应速度快、无续流、抑制能力强、被广泛使用的根本原因。不像放电管导通前电压高于导通后电压，故而放电管导通后很难关断，有续流问题。很难单独使用，加上反应时间慢，使用环境范围比较窄。

另外，压敏电阻的残压比近乎是个定值（导通后电压 / 压敏电压）2.45，无论任何压敏电阻生产厂家，使用不同的配方材料和生产工艺，其残压比降幅不会超过 15%。这是由于半导体金属氧化物的晶格，其晶格体积电阻与面积电阻的特性所决定的，很难改变！

同时，残压的高低决定了保护线路用硅材料制成的半导体元器件：二极管、三极管、IC、桥堆等元器件，其反

向耐压值的选定和正比性成本高低的支出。所以压敏电阻的残压在某种意义上讲，它不仅仅是个过电压保护元器件，也是整机成本产品设计的“咽喉”。残压代表了客户产品性能和成本！

3 一体化封装新技术

3.1 行业解决方案分类

原有在压敏电阻 MOV 瞬间过电压工作环境中，也会碰到暂态、工频过电压的工作情况，引起拉弧起火的问题，所以行业中涌现出不同厂家不同的解决方案，按其解决思路分类，大致有三种思路：

(1) 脱离思路

1) 过热脱扣

通过热熔丝熔断，进行脱离断开，如 TMOV。

2) 过流脱扣

通过监视电流增大实施断开，如漏电保护器。

3) 机械脱扣

通过不同膨胀系数的双金属并联焊接产生变形，实施断开脱扣 SPD。

(2) 泄放思路

1) 限压式间隙放电

达到一定的电压，实施间隙放电泄放能量，如间隙放电 SPD 和避雷器。

2) 限流式间隙放电

拉长拉细电弧，增加弧阻抗，限制断开弧电流。

3) 磁感应转移泄放

通过磁感应电流剧增，通过磁场感应转移泄放能量。

(3) 耐受思路

1) 封装材料

高分子复合材料封装一体化封装技术，长时间耐受 1600℃ 高温，无明火。

2) 封装电极

改善封装电极结构，提高电磁场的均匀分布，提高耐受时间和强度。

3) 灭弧吸热

改善芯片配方、制造过程，提高芯片耐受程度。

3.2 一体化封装技术

图 1 示出 MOV 工频耐受实验图。

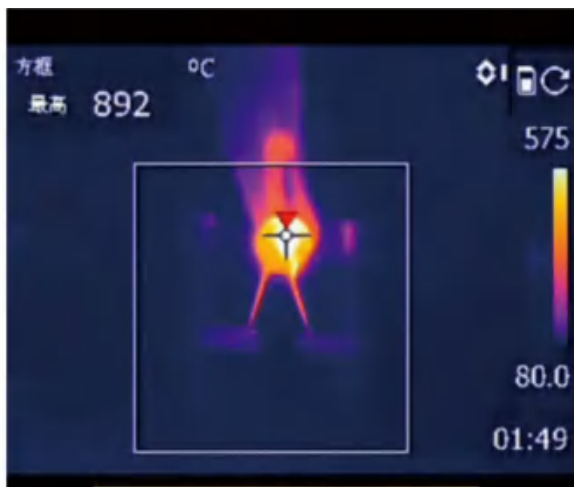


图1 MOV 工频耐受实验

3.3 TMOV 有效性防护分析

表 1 列出 TMOV 工频耐受有效性防护分析。

表 2 列出保护效能分析。

图 2 示出 TMOV 工频拉弧视频图。



图 2 TMOV 工频拉弧视频

4 行业技术展望

4.1 SPD 解决方案

(1) 举例 1: 半导体压敏电阻、避雷器防爆的技术特性分析

北京 ABB 高压开关设备有限公司和国家绝缘子避雷器质量监督检验中心早在 2011 年第 5 期 (总第 243 期)《电瓷避雷器》文章编号: 1003-8337 2011) 05-0049-06, 上就有明确性的结论: 即, 引用源论文结束语避雷器作为保护电气设备的产品, 它的防爆性能非常重要。任何避雷器均可过载, 导致过载的原因为极高的雷电电流, 多次放电, 操作过电压还有密封失效等原因。在此金属氧化物避雷器过载情况下, 或者发生闪络或者击穿, 在避雷器内产生电弧, 对于“设计 B”型避雷器, 因内部无空气间隙。如果氧化物电阻片的方波通流能力高且稳定性好, 当发生雷击或过电压时引起电阻片损坏而阻止避雷器外套的爆炸。但“设计 A”型避雷器必须保证避雷器内部有压力释放装置以避免避雷器的爆炸, 同时必须保证氧化物电阻片的稳定性。但如果发生更大的短路电流, 外壳可能会发生爆炸或粉碎。所以在选择避雷器时必须保证避雷器有防爆性能, 以起到保护电气设备的作用。

图 3 示出带有空气间隙的避雷器—“设计 A”型图, 图 4 示出“设计 A”型避雷器未通过短路电流试验图, 图 5 示出“设计 B”型避雷器通过短路电流试验图。

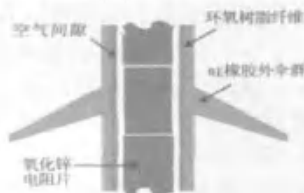
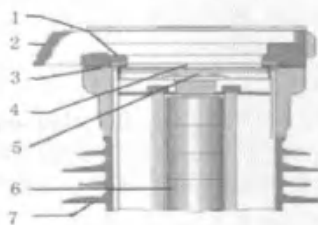


图5 带有空气间隙的避雷器—设计 A 型
Fig.5 MOA with air—design “A”



1—上盖板; 2—排气口法兰; 3—密封圈; 4—卸压膜; 5—压缩弹簧; 6—MOA 电阻体; 7—合成材料空心绝缘管。

图6 带空气间隙的避雷器—设计 A 型
Fig.6 MOA with air—design “A”

图 3 带空气间隙的避雷器—“设计 A”型

表 1 TMOV 工频耐受有效性防护分析

TMOV 工频耐受有效性分析逻辑结构示意图									
电流分类定义假设：小电流是指不能击穿芯片电流幅值；.大电流是指能够击穿芯片的电流幅值									
工频电流环境	TMOV			热量		熔断温度		可行性结果分析	
	热熔断	MOV芯片	热源	材料	环境	可能性	状况说明	统计	
工频电流冲击	断开 25%	击穿 12.5%	大电流	材料	高温区	有	芯片击穿后的持续拉弧产生的热量熔断热熔断丝实际占比10%	10%	
		完好 12.5%				无	不可能大电流的定义范围为击穿芯片的电流幅值与定义假设自相矛盾	0	
大电流冲击 50%	未断 25%	击穿 12.5%	大电流	芯片温度	高温区	有	热熔断丝属于热击穿时间长芯片击穿起火属于隧道击穿需要时间非常短实际占比10%	10%	
		完好 12.5%				无	不可能大电流的定义范围为击穿芯片的电流幅值与定义假设自相矛盾	0	
小电流冲击 50%	断开 25%	击穿 12.5%	小电流	熔断温度	中温区	无	小电流定义范围为不足以损坏芯片的电流幅值	0	
		完好 12.5%				有	热熔断丝断开芯片完好实际统计占80%	80%	
零电流	未断 25%	击穿 12.5%	小电流	材料	低温区	有	热熔断丝未熔断芯片损坏有可能芯片劣化长时间小电流有可能不在讨论范围	0	
		完好 12.5%				有	电流热量不足以断开任何材料不在讨论范围	0	
零电流	断开 50%	完好	波峰焊	材料	整机装配 215°-260°	有	红外回流焊 235°C -240°C 10s 气相回流焊 215°C ±5°C 40s 波峰焊 260°C ±5°C 5s 整机上线安装有可能虚焊断开不能正常工作在实际应用统计 20%的市场反馈	20%	
		完好				有	器件安装正常	80%	

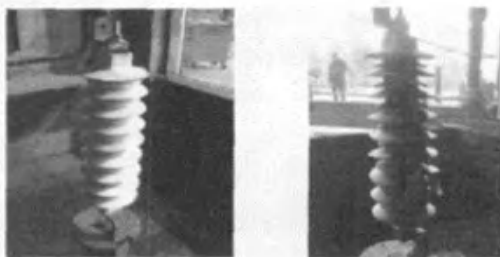
表2 防护效能分析

结果说明						
保护效能分析	整机装配	一产线安装	二 电路环境	三 TMOV 防护	保护效能	保护效能 = 概率 x 统计
	100%	虚焊 20%	0	无过电压 防护	无效保护	1 - 32% = 68%
		正常80%	大电流 50%	工频 拉弧起火 20%		
			小电流 50%	热熔丝断开 芯片完好 80%	有效保护	80% * 50% * 80% = 32%



图9 “设计 A”型避雷器未通过短路电流试验
Fig.9 Design “A” surge arrester did not pass the short-circuit test

图4 “设计 A”型避雷器未通过短路电流试验



试验前 试验后

图10 “设计 B”型避雷器通过短路电流试验
Fig.10 Design “B” surge arrester has passed the short-circuit test

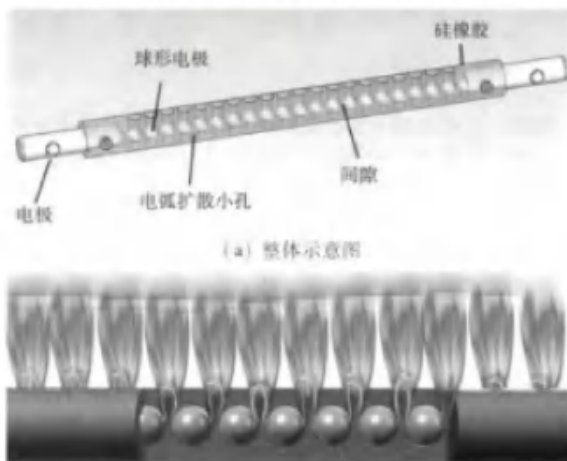
图5 “设计 B”型避雷器通过短路电流试验

(2) 举例 2: 杰尔·卡布专利

限流间隙的再发现用于避雷器的限流间隙是由一个名叫杰克·卡尔 (Jack Kalb) 的人在 50 多年前发明的。限流间隙原理是当两个点之间的电弧由于空气的压力或者由于磁场的作用被迫远离间隙时，它将变弱而且电阻变大。电阻增加会使电流减少，电流减少到一定程度即当电压穿过零电压点时，电流通路被消灭。

卡尔接着叙述，当他试图制作一个使用间隙但不串联碳化硅阀片的避雷器时，他才知道什么叫做失败。他相信其新发明的限流效应会提供足够的电阻，允许一旦电压穿过零点时避雷器内的续流会被消除。但是，在他的最初试验期间所发生的事却令人震惊。这是因为他还没有认识到在他的装置使用的 230kV 和 345kV 的系统内，浪涌阻抗是如此的低。

来自输电线路的故障电流太高以至于限流间隙不能工作，它仅仅熔化，主要是因为它在瓷套内部，且在断路器



(a) 整体示意图

(b) 电弧被拉长示意图

图6 电弧被拉长示意图

最后结束这个事件之前只是保持电弧放电。卡尔告诉我他极其沮丧地从试验室返回。当把不带碳化硅阀片的限流间隙用于输电线时对他来说似乎正是不能走向成功的原因。

图 6 示出电弧被拉长示意图。

4.2 能量转换与时间常数

对于行业中不同解决思路 and 方案，都有设计者一定的道理，和实际应用中的优缺点，能用不能代表就是最完善合理的解决方案，完善的解决方案应遵循以下几个重要的原则：

(1) 作为保护性元器件，如同一个保镖，不能因为子弹来了或自己的原因，只考虑自己扔下总统，自己跑路了不解决根本问题。

(2) 大禹治水 都江堰工程，分流、泄洪是都江堰治水的两个最基本的思路。

(3) 能量法则 能量转换与转换时间常数的匹配。

(4) 电流与电压的变化率。

半导体压敏电阻 MOV 在导通时，其电流和电压的变化率差异非常大，电流从 1 毫安到十几安培，甚至更高 10^4 级别，而电压变化率只有 10^1 级别。电流变化引发的磁场变化率，远远大于因电压变化引发的电场变化率有 10^4 的差异！这说明在解决半导体 MOV 所遭遇的难题，必须从电磁场能量转换的过程中，寻求其时间常数的合理匹配，才是解决问题的根本之道：(1) 延缓磁场的转换时间，(2) 增加电场耐受的时间。

半导体技术的迅速崛起，是电力电子产品技术快速发展的根源。半导体的快速开关动作，对整个电子电力系统的安全运行提出了挑战，几乎 80% 电子电力系统的失效，都是发生在瞬间状态，而不是稳态运行过程中。系统的可靠性取决于不同器件之间的相互作用，能量转换与时间常数的匹配，否则由于能量转换时间常数的不匹配，引起能量的局部集中，形成器件以至于整机的失效和破坏！能量法则要求，能量在生成存储过程中的保持均衡，能量要守恒、能量要连续！

表 3 列出系统能量转换的时间常数。

表 3 系统能量转换的时间常数

序号	时间常数	系统的能量转换
1	10^{-6} 微秒级别	功率半导体控制模块
2	10^{-3} 毫秒级别	无源元件的换流回路
3	10^{-3} 毫秒 ~ 10^{-1} 秒级别	电动机机械负载

4.3 一体化封装技术性能对比

表 4 列出一体化封装技术性能对比。

5 结论

一体化封装 MOV 对比实验，结果说明：

(1) 一体化封装压敏电阻器，无论在工频电压高低的加载 ($1.13 \sim 1.50$) 工频短路电流可达 15A 的情况下，都可以坚持 3 分钟以上的长耐受工作时间，本体全程无明火、引线不发红，只伴有淡色白烟冒出。本体发红的现象特征即使在 1600°C 的高温下，引线瞬间熔断，也可以保证产品本体无任何明火，且外形保持完整不变形，无爆裂现象的发生！

(2) 长时间大电流的耐受能力的坚持，给在整机线路主回路中的过流保护装置（保险丝、熔断器、继电器等）提供了足够的时间和空间，实施从容的断开动作！

(3) 也可以应客户的要求（通讯线路要求主回路电源供电不得中断），给压敏电阻串联高温熔断保险丝 ($300^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$) 实施二次回路宽范围的断开防护动作！一来可以完全排除类似 TMOV 在整机安装焊接时形成的虚焊！二来可以完全排除高温拉弧金属引线瞬间熔断的现象出现！

(4) 一体化封装压敏电阻器结构简单、耐用，其封装材料的优越性完全可以胜任各种复杂用电环境下的安全工作！

参考文献

(略)

表 4 一体化封装技术性能对比

一体化封装产品对比实验示意图						
产品名称		环氧封装压敏 MOV	塑封压敏 MOV	热熔丝 TMOV1	热熔丝 TMOV2	一体化封装 MOV
设计机理	封装技术	环氧封装	塑壳封装	环氧封装	环氧封装	高分子复合材料
	技术特征	耐压 绝缘	绝缘 阻燃 绝氧	高温熔断断开	高温熔断断开	抗工频 无明火
直流老化	加载条件	125°C/1000H	125°C/1000H	125°C/1000H	125°C/1000H	135°C/1000H
	加载温度	750°C	780°C	750°C	750°C	950°C-1000°C
工频耐受	工频耐受比	1.13-1.18	1.15-1.20	1.13-1.18	1.32	1.32
	工频短路电流	14A	14A	0.3A	12.1A	14.8A
	工频耐受时间	3-5 秒	60 秒	3-5 秒	3 秒	4分20秒
	产品本体	拉弧起火 剧烈燃烧	明火 不完全燃烧	无明火	拉弧起火 剧烈燃烧	全程无明火 发红 淡烟
	产品引线	发红熔断	发红熔断	完整	完整	1600° 瞬间熔断 不发红
产品封装	开裂 变形	完整 变形	完整	开裂 变形	完整 不变形	