罗彻斯特电子白皮书



# 长期储存对半导体元器件 机械完整性和电气性能的影响

美国罗彻斯特电子有限公司上海代表处

上海市浦东新区金科路 2889 弄 1 号长泰广场 A 座 602 室 | 邮编 201203 电话: +86.21.6288.1465 | 传真: +86.21.6288.1474

apacsales@rocelec.com | www.rocelec.cn



### 摘要

当前,半导体行业产能受限,许多元器件制造商(OCM)正在逐渐缩短产品的生命周期。相对的,许 多行业设备的运行和维护长达数十年。因此,元器件的持续供应对于维持这些设备的整个生命周 期至关重要。

在最后一次生产后,长时间储存半导体元器件是一种较为常见的解决方案。罗彻斯特电子自 1981 年成立以来,已成功地长期存储海量元器件,用以弥合长寿命应用的供应链中断。

当使用长期存储的元器件时,需要让客户确信储存环境是可靠的。在之前的白皮书中曾提到,罗 彻斯特电子的质量和可靠性团队研究了<u>长期储存对半导体元器件可焊性的影响</u>[1],均未检测到缺 陷问题。可焊性测试符合 IPC/JEDEC J-STD-002E 标准,并由独立第三方公司进行相关测试,证实 经正确的长期存储,并不会对器件产生不良影响。这些结果表明,日期代码不会对半导体元器件 的使用寿命产生限制性影响。

本文研究了长期储存*对半导体元器件机械完整性和电气性能*的影响。随机抽取的元器件样本存储 时间长达 17 年,并涵盖了各种封装形式,通过检查和分析以确定老化对其的影响。基于光学、X 射线、扫描电镜(SEM)成像、拆封、横截面检测和电气测试等一系列测试,证实了长期储存并没有 负面影响或导致失效。

# <u>目录</u>

- 1. 引言
- 2. 样本
- 3. 工序流程
- 4. PCB 组装的光学成像
- 5. PCB 组装和焊点横截面的 X 射线和 SEM 成像
- 6. 封装内部横截面的 X 射线和 SEM 成像
- 7. 拆封后裸片和焊线的检测
- 8. 电气测试结果
- 9. 结论



## 1. 引言

正如我们最初的白皮书[1]中所讨论的,元器件制造商(OCM)和传统授权分销商更倾向于储备 库存以备后续几年的需求。罗彻斯特电子自 1981 年成立以来,已成功地长期存储海量元器件, 用以弥合长寿命应用的供应链中断。罗彻斯特电子是原厂授权代理商,已取得 AS6496 航空航 天标准认证。

在 AS6496 标准中,确定了对于军用、商用和工业等每一件产品的可追溯性以及文档要求。军 用元器件需要制造商和经销商的合格证书,而商用只需要经销商的合格证书。此外,该标准 还规定了授权经销商合格证书的内容。

JEDEC 固态技术协会在 JEP 160 文档中发布了长期储存半导体晶圆、裸片和器件的最佳范例。 该文档于 2011 年首次发布,包括罗彻斯特电子在内的许多分销商已经存储了很久的元器件, 因此完全遵守这些新准则略有难度,特别是对于储存较久的元器件。

德州仪器发布的几份技术白皮书[2]、[3],研究了元器件在长期储存后的可靠性。最初的论 文强调,在受控环境中正确存储的半导体产品的保质期大于 15 年,而德州仪器随后撰写的论 文强调,在存储长达 21 年的元器件上并未发现任何故障机制。值得注意的是,这些研究是基 于存储在受控环境中的元器件。

罗彻斯特电子的调查研究使用了随机样本,覆盖在各种环境中存储长达 17 年的元器件,评估 了 8 种不同的产品,包括来自 5 家不同制造商的 3 种不同的含铅引脚。此外,我们对标准电路 板进行了可焊性分析,该电路板使用了回流焊工艺进行组装。通过独立的第三方电子制造公 司进行相关封装。该第三方通过 ISO9001 认证,且拥有超过 17 年的相关经验。

罗彻斯特电子的质量和可靠性团队对封装内部完整性、元器件-PCB 焊点质量和电气测试结果进行了分析,以验证半导体元器件在长期储存后不会退化。分析方法包括 X 射线成像、激光、酸解封装、横截面检测、扫描电镜 (SEM) 以及功能和时序电气测试。

在各种日期代码中,随机选择了三种封装进行详细分析,包括PLCC-28、TSSOP-14和VSON-8。 本文详细介绍了视觉检测和机械结构检测,以及电气性能评估。由于测试解决方案的限制, 使用了三个塑料双列直插式封装(PDIP)进行了电气特性的评估。



# 2. 样本

对三种不同封装的库存进行随机抽样,这些用于测试的样本具有不同的日期代码。这三种封装形式分别是 PLCC-28、TSSOP-14 和 VSON-8,如下图 1 所示。



图 1. 本次调查中使用封装的外部图像, (a) PLCC-28、(b) TSSOP-14 和(c) VSON-8。部分日期代码使用的产品裸片可能略有差异,但使用了相同的封装。

另一组随机样本是基于目前仍有可用测试设备的封装中,选取了图2中的三种不同塑料双列直插式封装(PDIP),用于电气测试。



**图 2.** 进行电气测试的元器件示意图: (a)9513APC(PDIP-40)、(b)27S21PC(PDI-16P)和(c)UC3835N(PDIP-8)。其中 9513APC 和 27S21PC 是数字器件,而 UC3835N 是模拟器件。



Product	Years of Storage	Lead Finish	Package Type
MC100E116	14	Matte Sn	PLCC
MC100E111	10	Matte Sn	PLCC
MC100E101	4	Matte Sn	PLCC
LCX02MTCX	13	NiPdAu	TSSOP
LCX32MTCX	9	NiPdAu	TSSOP
LCX02MTCX	6	NiPdAu	TSSOP
CSD16411	12	Matte Sn	VSON
CSD16340	11	Matte Sn	VSON
CSD25401	7	Matte Sn	VSON
9513APC	11	Matte Sn	PDIP
9513APC	3	Matte Sn	PDIP
27S21PC	9	SnPb	PDIP
27S21PC	6	SnPb	PDIP
UC3835N	17	NiPdAu	PDIP
UC3835N	9	NiPdAu	PDIP

表1. 样本器件及其关键特性

### 3. 工序流程

对选定的器件进行激光拆封,暴露裸片以检查缺陷。没有发现腐蚀、弹坑或焊盘开裂。罗彻 斯特电子与行业专家协作,设计制造了专用的 PCB 用来测试各种不同的表面贴装器件。所有器 件的回流焊接都是在第三方工厂进行的。罗彻斯特电子通过对焊点进行光学和 X 射线检查、沿 焊接引线长度进行横截面检测,以及对焊点截面进行 SEM 成像来验证这些结论。来自外部检查 的光学图像、来自单个设备和已组装元器件的 X 射线检查图像,以及来自横截面和拆封的 SEM 图像如下所示。

#### 4. PCB 组装的光学成像

12 种不同外形的 57 个塑料表面贴装器件组装在每块 PCB 的两侧,这些器件最早在 2006 年检查所有焊盘,未发现不良,进而确认 PCB 组装成功。图 3 和图 4 显示了本次调查研究中器件的焊点浸润图像。





图 3. 两个安装的 PLCC-28 器件(上)和 TSSOP-14 器件(右下)的光学图像。安装的 VSON-8 器件及其底层焊盘图 案的图像如左下角小图。空缺的图案是由于样品缺失;涂焊膏时没有适合安装的器件。



图 4. 光学图像显示所安装的 PLCC 和 TSSOP 器件的焊点浸润图像。



# 5. PCB 组装和焊点横截面的 X 射线和 SEM 成像

为了进一步了解被遮挡引脚上的焊点浸润情况,PCB 组件通过 X 射线在斜视图上成像。由于焊料覆盖的长度和密度,VSON 封装的成像无法看到更多细节。PLCC 和 TSSOP 封装的代表性图像如下图 5 和图 6 所示。



图 5. 安装在 PCB 上的 PLCC-28 器件的 X 射线图像。注意: 重复的焊盘是由于双面 PCB 的底面未使用造成的。



图 6. 安装在 PCB 上的 TSSOP-14 器件的 X 射线图像,焊接的引线清晰可见。



此外,通过引线进行横截面检测后捕获的 SEM 图像显示了焊点的精确轮廓和内部结构,如图 7 和图 8 所示。焊点的内部结构是可靠的,与外部检查相匹配,进一步验证了样品在 PCB 组 装时没有问题。



图 7. 通过 PLCC 器件上引线中心的横截面检测 SEM 图像,捕获 PCB 焊盘-焊料-引线界面。



图 8. 在 TSSOP 器件上捕获类似的横截面 SEM 图像。



# 6. 封装内部横截面的 X 射线和 SEM 成像

使用相同的成像技术,验证封装材料的完整性并检查内部是否存在缺陷。结果是未观察到缺陷。下面展示了每种封装形式的特征图像。



图 9. 整个 PLCC-28 器件的 X 射线图像。



图 10. 整个(a) TSSOP-14 和(b) VSON-8 器件的 X 射线图像。





图 11. 通过 PLCC 器件的横截面检测 SEM 图像,从上到下依次是:塑封外壳、球焊和焊线、裸片、裸片粘接剂(注意焊点浸润情况)、裸片粘接焊盘和密封底片。



图 12. 通过 TSSOP 器件的横截面检测 SEM 图像。请注意, TSSOP 封装要小得多, 具有比 PLCC 更低的间隙高度, 从 而能够捕获整个器件轮廓。与上图的内部结构相同, 器件的整个引脚和引脚焊锡的浸润情况也清晰可见。



图 13. 通过 VSON 器件的横截面检测 SEM 图像。(参见图 10b,单根焊线连接于单独的焊盘,在切面的成像中不可见。)放大图像以进行更清晰的检查,能够发现,在器件本体的散热片上表面与器件连接处,和散热片下表面与 PCB 焊盘间均显示出一层薄但不间断的焊料。这个完整连续的焊料覆盖表明没有不浸润的现象发生。此处指出,散 热片与 PCB 之间焊料的空洞,是由于这个大面积焊盘的独特热特性和回流焊工艺共同作用的结果。



# 7. 拆封后裸片和焊线的检测

所有器件都经过激光拆封,并且在短时间内完成了酸蚀。未观察到与环境压力一致的损坏或 长期储存后随之而来的降解机制。发现所有器件都没有开裂、分层和焊线缺陷。图 14 至图 22 显示了突出关键特征的代表性图像。



**图 14.** 激光和酸蚀拆封后裸片表面的光学图像。表面上的斑点是由于蚀刻过程中的酸接触造成的。完整图像经数 字拼接而成。



图 15. 拆封后 PLCC 裸片顶部的表面和裸片焊盘上的焊线的 SEM 图像。





图 16. 拆封后 PLCC 楔形焊接、焊线和球焊的 SEM 图像。



图 17. 并排比较: (a)拆封的 PLCC 球焊以及焊接和未焊接焊盘的 SEM 图像; (b)球焊和焊线的横截面检测 SEM 图像。



图 18. 拆封后 PLCC 引线上的楔形焊线细节的 SEM 图像。





图 19. TSSOP 裸片顶面、楔形焊线、焊线和拆封后球焊的 SEM 图像。



图 20. 并排比较: (a)拆封后的 TSSOP 球焊和底层焊盘的 SEM 图像: (b)通过球焊和焊线的横截面检测 SEM 图像。



图 21. 拆封后 TSSOP 引线上的楔形焊线细节的 SEM 图像。





图 22. VSON 封装拆封后单独焊线的 SEM 图像。裸片被散热片遮挡。

# 8. 电气测试结果

两种不同日期代码的三种产品已根据各自的数据表要求进行了测试。这些样品距今约 15 年; 结果如表 2 所示。测试了每个日期代码的 9513APC-20、27S21PC-25 和 UC3835N-50。所有 样品均符合其各自的数据表规范限制,并且跨日期代码的数据分布没有显著差异。

Product	Years of Storage	Lead Finish	Electrical Test Yield
9513APC	11	Matte Sn	100%
9513APC	3	Matte Sn	100%
27S21PC	9	SnPb	100%
27S21PC	6	SnPb	100%
UC3835N	17	NiPdAu	100%
UC3835N	9	NiPdAu	100%

表 2. 样本器件的电气测试性能



# 9. 结论

本文中的数据表明,半导体元器件在存储数十年后仍能保持内部和外部的完整性,包括上 PCB 焊接的可靠性。元器件没有表现出腐蚀、裂纹或分层的迹象。测试的元器件通过了所有适用 的功能和时序测试。

这突出表明,长期存储是一种可行的解决方案,可在汽车、医疗、工业、航空航天和国防等 长生命周期应用中维持半导体元器件的持续供应。

## 参考文献:

[1] <u>长期储存对半导体元器件可焊性的影响</u>, 罗彻斯特电子, Semiconductor Packaging News, 2021 年 12 月 6 日

- [2] Component Reliability After Long Term Storage, Texas Instruments, 2008年5月
- [3] Long Term Storage Evaluation of Semiconductor Devices, Texas Instruments, 2021年9月