

IC 产品的质量与可靠性测试

(IC Quality & Reliability Test)

质量 (Quality) 和可靠性 (Reliability) 在一定程度上可以说是 IC 产品的生命, 好的品质, 长久的耐力往往就是一颗优秀 IC 产品的竞争力所在。在做产品验证时我们往往会遇到三个问题, 验证什么, 如何去验证, 哪里去验证, 这就是 what, how, where 的问题了。解决了这三个问题, 质量和可靠性就有了保证, 制造商才可以大量地将产品推向市场, 客户才可以放心地使用产品。现将目前较为流行的测试方法加以简单归类 and 阐述, 力求达到抛砖引玉的作用。

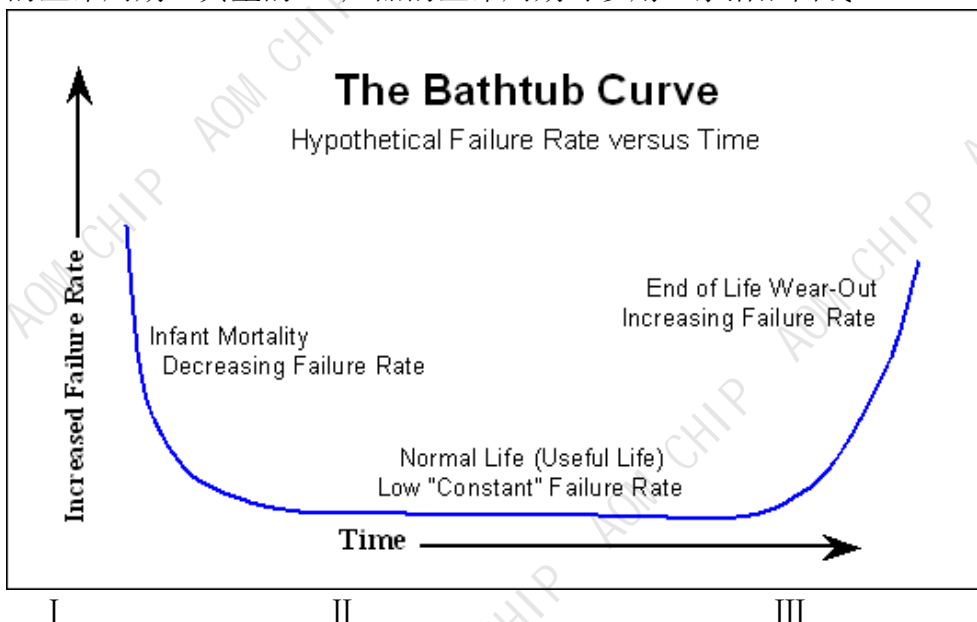
质量 (Quality) 就是产品性能的测量, 它回答了一个产品是否合乎规格 (SPEC) 的要求, 是否符合各项性能指标的问题; 可靠性 (Reliability) 则是对产品耐久力的测量, 它回答了一个产品生命周期有多长, 简单说, 它能用多久的问题。所以说质量 (Quality) 解决的是现阶段的问题, 可靠性 (Reliability) 解决的是一段时期以后的问题。知道了两者的区别, 我们发现, Quality 的问题解决方法往往比较直接, 设计和制造单位在产品生产出来后, 通过简单的测试, 就可以知道产品的性能是否达到 SPEC 的要求, 这种测试在 IC 的设计和制造单位就可以进行。相对而言, Reliability 的问题似乎就变的十分棘手, 这个产品能用多久, who knows? 谁能能保证今天产品能用, 明天就一定能用? 为了解决这个问题, 人们制定了各种各样的标准, 如 JESD22-A108-A EIAJED- 4701-D101

注: JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) 电子设备工程联合委员会, 著名国际电子行业标准化组织之一。

EIAJED: 日本电子工业协会, 著名国际电子行业标准化组织之一。

等等, 这些标准林林总总, 方方面面, 都是建立在长久以来 IC 设计, 制造和使用的经验的基础上, 规定了 IC 测试的条件, 如温度, 湿度, 电压, 偏压, 测试方法等, 获得标准的测试结果。这些标准的制定使得 IC 测试变得不再盲目, 变得有章可循, 有法可依, 从而很好的解决的 what, how 的问题。而 Where 的问题, 由于 Reliability 的测试需要专业的设备, 专业的器材和较长的时间, 这就需要专业的测试单位。这种单位提供专业的测试机台, 并且根据国际标准进行测试, 提供给客户完备的测试报告, 并且力求准确的回答 Reliability 的问题。

在简单的介绍一些目前较为流行的 Reliability 的测试方法之前, 我们先来认识一下 IC 产品的生命周期。典型的 IC 产品的生命周期可以用一条浴缸曲线 (Bathtub Curve) 来表示。



Region (I) 被称为早夭期 (Infancy period)

这个阶段产品的 failure rate 快速下降,造成失效的原因在于 IC 设计和生产过程中的缺陷; Region (II) 被称为使用期 (Useful life period) 在这个阶段产品的 failure rate 保持稳定,失效的原因往往是随机的,比如温度变化等等;

U Region (III) 被称为磨损期 (Wear-Out period)

在这个阶段 failure rate 会快速升高,失效的原因就是产品的长期使用所造成的老化等。

认识了典型 IC 产品的生命周期,我们就可以看到, Reliability 的问题就是要力图将处于早夭期 failure 的产品去除并估算其良率,预计产品的使用期,并且找到 failure 的原因,尤其是在 IC 生产,封装,存储等方面出现的问题所造成的失效原因。

下面就是一些 IC 产品可靠性等级测试项目 (IC Product Level reliability test items)

一、使用寿命测试项目 (Life test items): EFR, OLT (HTOL), LTOL

①EFR:早期失效等级测试 (Early fail Rate Test)

目的:评估工艺的稳定性,加速缺陷失效率,去除由于天生原因失效的产品。

测试条件:在特定时间内动态提升温度和电压对产品进行测试

失效机制:材料或工艺的缺陷,包括诸如氧化层缺陷,金属刻蚀,离子玷污等由于生产造成的失效。

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准:

JESD22-A108-A

EIAJED- 4701-D101

②HTOL/ LTOL:高/低温操作生命期试验 (High/ Low Temperature Operating Life)

目的:评估器件在超热和超电压情况下一段时间的耐久力

测试条件:125°C, 1.1VCC, 动态测试

失效机制:电子迁移,氧化层破裂,相互扩散,不稳定性,离子玷污等

参考标准:

125°C条件下 1000 小时测试通过 IC 可以保证持续使用 4 年, 2000 小时测试持续使用 8 年; 150°C 1000 小时测试通过保证使用 8 年, 2000 小时保证使用 28 年。

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

MIT-STD-883E Method 1005.8

JESD22-A108-A

EIAJED- 4701-D101

二、环境测试项目 (Environmental test items)

PRE-CON, THB, HAST, PCT, TCT, TST, HTST, Solderability Test, Solder Heat Test

①PRE-CON:预处理测试 (Precondition Test)

目的:模拟 IC 在使用之前在一定湿度,温度条件下存储的耐久力,也就是 IC 从生产到使用之间存储的可靠性。

测试流程 (Test Flow):

Step 1:超声扫描仪 SAM (Scanning Acoustic Microscopy)

Step 2: 高低温循环 (Temperature cycling)

-40°C (or lower) ~ 60°C (or higher) for 5 cycles to simulate shipping conditions

Step 3:烘烤 (Baking)

At minimum 125°C for 24 hours to remove all moisture from the package

Step 4: 浸泡 (Soaking)

Using one of following soak conditions

-Level 1: 85°C / 85%RH for 168 hrs (储运时间多久都没关系)

-Level 2: 85°C / 60%RH for 168 hrs (储运时间一年左右)

-Level 3: 30°C / 60%RH for 192 hrs (储运时间一周左右)

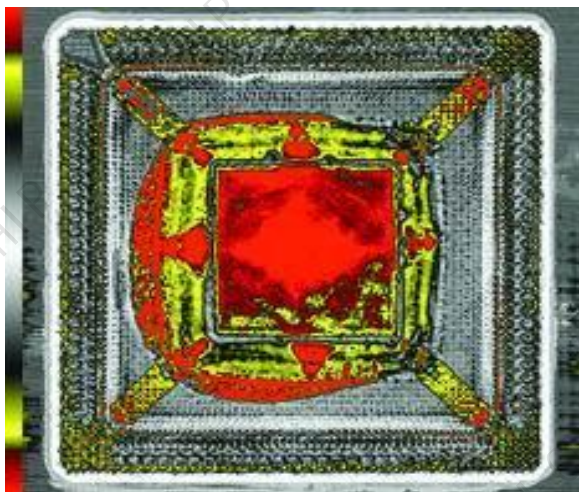
Step5: Reflow (回流焊)

240°C (- 5°C) / 225°C (-5°C) for 3 times (Pb-Sn)

245°C (- 5°C) / 250°C (-5°C) for 3 times (Lead-free)

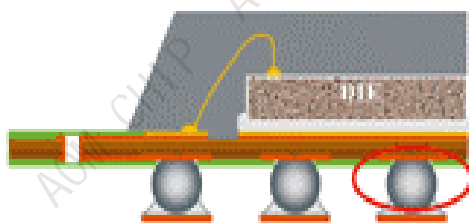
* choose according the package size

Step6: 超声扫描仪 SAM (Scanning Acoustic Microscopy)

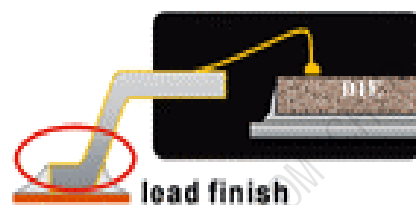


红色和黄色区域显示 BGA 在回流工艺中由于湿度原因而过度膨胀所导致的分层/裂纹。

Sn-Pb interconnection  Pb-free interconnection



Laminated package



Leaded package

失效机制: 封装破裂, 分层

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

JESD22-A113-D

EIAJED- 4701-B101

评估结果: 八种耐潮湿分级和车间寿命(floor life)

请参阅 J-STD-020。

- 1 级 - 小于或等于 30° C/85% RH 无限车间寿命
- 2 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 一年车间寿命

- 2a 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 四周车间寿命
- 3 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 168 小时车间寿命
- 4 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 72 小时车间寿命
- 5 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 48 小时车间寿命
- 5a 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 24 小时车间寿命
- 6 级 - 小于或等于 30° C/60% RH 72 小时车间寿命 (对于 6 级, 元件使用之前必须经过烘焙, 并且必须在潮湿敏感注意标贴上所规定的时间限定内回流。)

提示: 湿度总是困扰在电子系统背后的一个难题。不管是在空气流通的热带区域中, 还是在潮湿的区域中运输, 潮湿都是显著增加电子工业开支的原因。由于潮湿敏感性元件使用的增加, 诸如薄的密间距元件(fine-pitch device)和球栅阵列(BGA, ball grid array), 使得对这个失效机制的关注也增加了。基于此原因, 电子制造商们必须为预防潜在灾难支付高昂的开支。吸收到内部的潮气是半导体封装最大的问题。当其固定到 PCB 板上时, 回流焊快速加热将在内部形成压力。这种高速膨胀, 取决于不同封装结构材料的热膨胀系数(CTE)速率不同, 可能产生封装所不能承受的压力。当元件暴露在回流焊接期间升高的温度环境下, 陷于塑料的表面贴装元件(SMD, surface mount device)内部的潮湿会产生足够的蒸汽压力损伤或毁坏元件。常见的失效模式包括塑料从芯片或引脚框上的内部分离(脱层)、金线焊接损伤、芯片损伤、和不会延伸到元件表面的内部裂纹等。在一些极端的情况中, 裂纹会延伸到元件的表面; 最严重的情况就是元件鼓胀和爆裂(叫做“爆米花”效益)。尽管现在, 进行回流焊操作时, 在 180°C ~200°C 时少量的湿度是可以接受的。然而, 在 230°C ~260°C 的范围中的无铅工艺里, 任何湿度的存在都能够形成足够导致破坏封装的小爆炸(爆米花状)或材料分层。必须进行明智的封装材料选择、仔细控制的组装环境和在运输中采用密封包装及放置干燥剂等措施。实际上国外经常使用装备有射频标签的湿度跟踪系统、局部控制单元和专用软件来显示封装、测试流水线、运输/操作及组装操作中的湿度控制。

②THB: 加速式温湿度及偏压测试 (Temperature Humidity Bias Test)

目的: 评估 IC 产品在高温, 高湿, 偏压条件下对湿气的抵抗能力, 加速其失效进程

测试条件: 85°C, 85%RH, 1.1 VCC, Static bias

失效机制: 电解腐蚀

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

JESD22-A101-D

EIAJED- 4701-D122

③高加速温湿度及偏压测试 (HAST: Highly Accelerated Stress Test)

目的: 评估 IC 产品在偏压下高温, 高湿, 高压条件下对湿度的抵抗能力, 加速其失效过程

测试条件: 130°C, 85%RH, 1.1 VCC, Static bias, 2.3 atm

失效机制: 电离腐蚀, 封装密封性

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

JESD22-A110

④PCT: 高压蒸煮试验 Pressure Cook Test (Autoclave Test)

目的: 评估 IC 产品在高温, 高湿, 高压条件下对湿度的抵抗能力, 加速其失效过程

测试条件: 130°C, 85%RH, Static bias, 15PSIG (2 atm)

失效机制：化学金属腐蚀，封装密封性
具体的测试条件和估算结果可参考以下标准
JESD22-A102
EIAJED- 4701-B123

*HAST 与 THB 的区别在于温度更高，并且考虑到压力因素，实验时间可以缩短，而 PCT 则不加偏压，但湿度增大。

⑤TCT: 高低温循环试验 (Temperature Cycling Test)

目的：评估 IC 产品中具有不同热膨胀系数的金属之间的界面的接触良率。方法是通过循环流动的空气从高温到低温重复变化。

测试条件：

Condition B: -55°C to 125°C

Condition C: -65°C to 150°C

失效机制：电介质的断裂，导体和绝缘体的断裂，不同界面的分层

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

MIT-STD-883E Method 1010.7

JESD22-A104-A

EIAJED- 4701-B-131

⑥TST: 高低温冲击试验 (Thermal Shock Test)

目的：评估 IC 产品中具有不同热膨胀系数的金属之间的界面的接触良率。方法是通过循环流动的液体从高温到低温重复变化。

测试条件：

Condition B: - 55°C to 125°C

Condition C: - 65°C to 150°C

失效机制：电介质的断裂，材料的老化（如 bond wires），导体机械变形

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准：

MIT-STD-883E Method 1011.9

JESD22-B106

EIAJED- 4701-B-141

* TCT 与 TST 的区别在于 TCT 偏重于 package 的测试，而 TST 偏重于晶圆的测试

⑦HTST: 高温储存试验 (High Temperature Storage Life Test)

目的：评估 IC 产品在实际使用之前在高温条件下保持几年不工作条件下的生命时间。

测试条件：150°C

失效机制：化学和扩散效应，Au-Al 共金效应

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

MIT-STD-883E Method 1008.2

JESD22-A103-A

EIAJED- 4701-B111

⑧可焊性试验 (Solderability Test)

目的：评估 IC leads 在粘锡过程中的可靠度

测试方法：

Step1: 蒸汽老化 8 小时

Step2: 浸入 245°C 锡盆中 5 秒

失效标准 (Failure Criterion): 至少 95% 良率

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

MIT-STD-883E Method 2003.7

JESD22-B102

⑨SHT Test: 焊接热量耐久测试 (Solder Heat Resistivity Test)

目的: 评估 IC 对瞬间高温的敏感度

测试方法: 侵入 260°C 锡盆中 10 秒

失效标准 (Failure Criterion): 根据电测试结果

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

MIT-STD-883E Method 2003.7

EIAJED- 4701-B106

三、耐久性测试项目 (Endurance test items)

Endurance cycling test, Data retention test

①周期耐久性测试 (Endurance Cycling Test)

目的: 评估非挥发性 memory 器件在多次读写算后的持久性能

Test Method: 将数据写入 memory 的存储单元, 在擦除数据, 重复这个过程多次

测试条件: 室温, 或者更高, 每个数据的读写次数达到 100k~1000k

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准

MIT-STD-883E Method 1033

②数据保持力测试 (Data Retention Test)

目的: 在重复读写之后加速非挥发性 memory 器件存储节点的电荷损失

测试条件: 在高温条件下将数据写入 memory 存储单元后, 多次读取验证单元中的数据

失效机制: 150°C

具体的测试条件和估算结果可参考以下标准:

MIT-STD-883E Method 1008.2

MIT-STD-883E Method 1033

在了解上述的 IC 测试方法之后, IC 的设计制造商就需要根据不同 IC 产品的性能, 用途以及需要测试的目的, 选择合适的测试方法, 最大限度的降低 IC 测试的时间和成本, 从而有效控制 IC 产品的质量和可靠度。