

Reliability Test to Lead Free Product

无铅产品可靠性测试

SGS通标标准技术服务公司

Crystal.yan@sgs.com

WHEN YOU NEED TO BE SURE



目录

■ 元器件可靠性测试

为什么要测试

质量及可靠性测试项目

相关项目测试方法及标准

■ 整机可靠性测试

为什么要测试

失效机理及相应的测试项目

相关项目测试方法及标准

■ 失效分析

主要测试方法



元器件可靠性--Why to test?

■ 元器件无铅化，将要求进行：

- 元器件端子镀层为无铅
- 元器件封装耐高温
- **RoHS**禁用物质的替代
-

■ 元器件无铅化，将要求满足：

- **RoHS**指令的化学物质符合性
- 焊接加工能力
- 批量稳定性
- 长期的可靠性

■ 元器件无铅化，常见问题：

- 可焊性
- 耐热性
- 锡须
-

元器件质量和可靠性测试项目

- 镀层检测 Qualification to Coating
- 可焊性 Solderability
- 耐热性 Heat Resistance
- 耐潮性 Moisture Sensitive
- 耐蚀性 Dissolutions
- 共面性 Coplanarity
- 抗锡须 Anti-Whisker
- 其它 Others

镀层检测：无铅镀层

镀层成份	厚度要求 (单位)
Au (底层为 Ni)	0.1-0.5um (Ni 层 2-6um)
Pd (底层为 Cu/Ni)	0.1-0.5um (Ni 层 2-6um)
Ag	>8um
AgPd、AgPt	>8um
Tin (底层为 Ag 或 Ni)	1-3 um (Ni/Ag 层 0.2-1.0um)
Tin	>8um (参考值 10um)
SnAgCu	>=5.1um
SnBi	>8um
SnCu	>=3um

- 成分
- 外观
- 厚度
- 结合力
- 空隙率
- 可焊性
- 接触电阻

典型无铅元器件封装种类的电极材料

封装类型	电极材料
插装类器件（如 PGA 和 连接器等）	锡/锡银铜
表面贴装有引脚器件（如 PQFP等）	镍钯金/锡/在镍或银层上镀锡
锡球类元器件（如 PBGA等）	Sn (3-4) wt%Ag (0.5-0.8) wt%Cu
CHIP类（如电容、电阻等）	锡/镍层上镀锡/锡铋

镀层检测：成分检测

■ 基本要求

- RoHS限制物质含量不超标

■ 特殊要求

- RoHS限制物质含量不超标
- 各种合金成分定量分析

■ 主要方法

- X射线荧光检测XRF
- 化学溶解分析法Wet Method

■ 参考方法

- GB5926-86

■ 检测方法

- 光学放大镜3~5X

■ 考察项目

- 精饰度（如粗糙度、光亮度）
- 缺陷（如针孔、麻点、毛刺、斑点、起泡、裂纹、伤痕、雾状、阴阳面、无镀层区域等）

■ 测试目的

- 复合镀层如Ni/Au、Ni/Pd，表面镀层的厚度一般难以达到要求。
- 表面镀层的厚度影响可焊性防护效果。

■ 参考方法

- ASTM-B568-91 X射线光谱测量法，最大测量厚度15um。
- GB5929-86 金相显微法。
- ISO3868-76 干涉显微镜法。

镀层检测：其他项目

■ 结合力

- GB5270-85
- GB5933-86
- SJ20130-92
- 摩擦法、划格线法、弯曲法、拉伸法、热震法、等。

■ 空隙率

- GB5935-86 腐蚀法，国内常用。
- GB12305.3-90 电图象法。
- 浸渍法、涂膏法等。

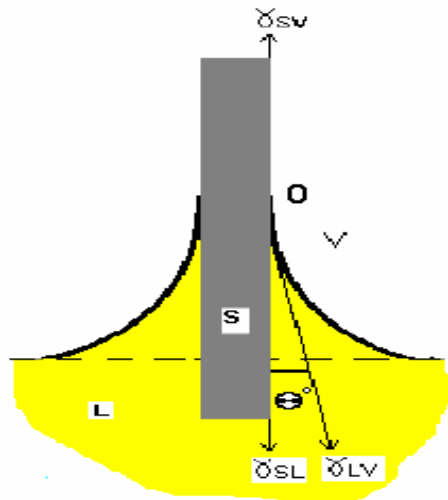
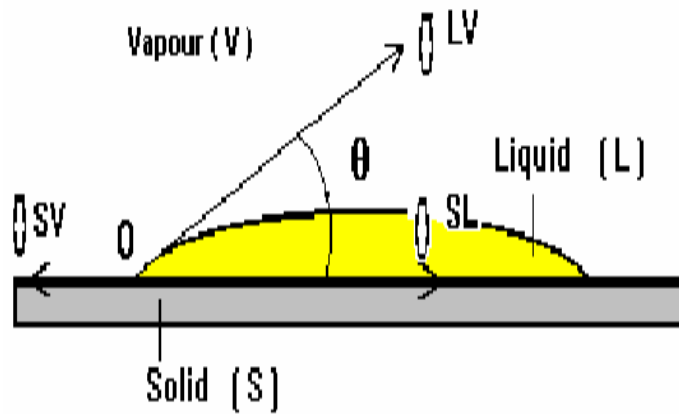
■ 可焊性

- IPC-TM-650
- J-STD-X
- IEC60068

■ 接触电阻

- 电桥法
- 伏安法

可焊性: 润湿模型



- 热力学 $\Delta F = \Delta U - T \Delta S$
- 液态金属在固体表面的铺展
- 液态金属对固体表面的浸润
- 液-固相之间金属的扩散
- Young公式 $F_{SV} = F_{SL} + F_{LV} \cos \theta$
- Fick定律

$$m = (-SDdc/dx) dt$$
- Arrhenious公式

$$D = A \exp (E_a / KT)$$

可焊性: 环境影响

GAS	OUTDOOR (ppb)	INDOOR (ppb)
O ₃	4-42	3-30
H ₂ O ₂	10-30	5
SO ₂	1-65	0.3-14
H ₂ S	0.7-24	0.1-0.7
NO ₂	9-78	1-29
HNO ₃	1-10	3
NH ₃	7-16	13-259
HCL	0.18-3	0.05-0.18
Cl ₂	<0.005-0.08*	0.001-0.005
HCHO	4-15	10
HCOOH	4-20	20

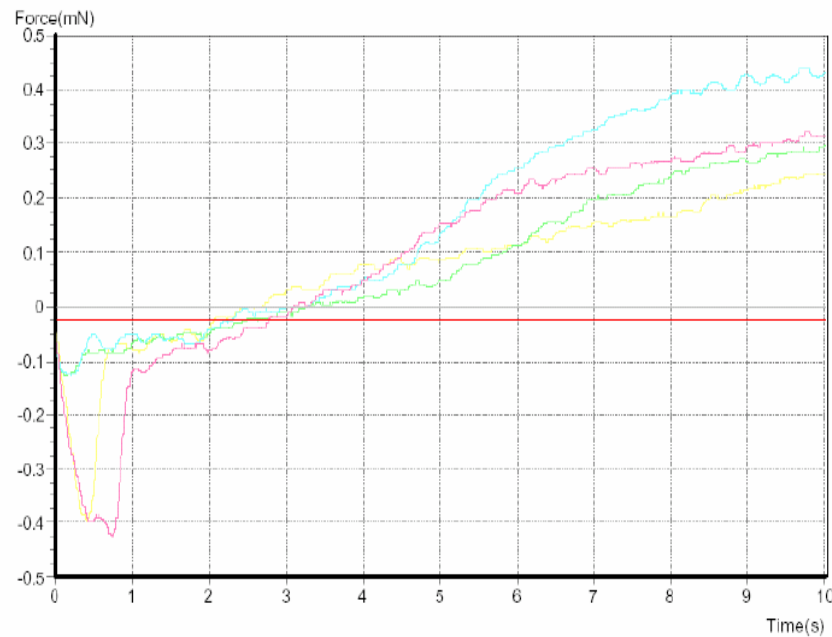
- 左为美国大气环境
- 镀层在环境中氧化
- 镀层在环境中硫化
- 元器件镀层表面污染将影响可焊性，生产缺陷增多，焊点长期运行可靠性将下降

* Corresponding to 5 wt% HCl.

可焊性: 无铅润湿

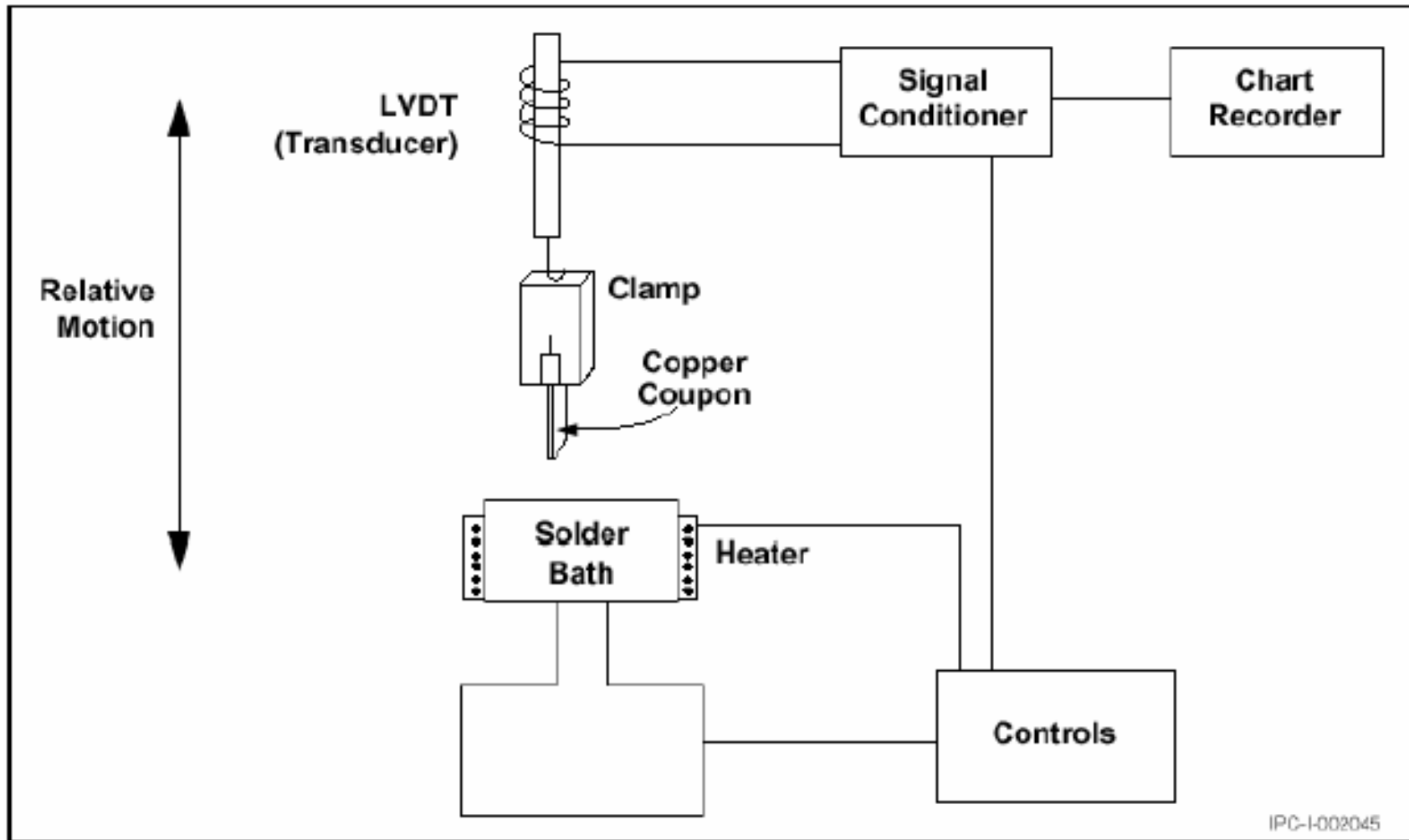
- Lead Free镀层相对SnPb镀层润湿能力弱
- Lead Free焊料相对SnPb润湿能力弱
- Lead Free镀层工艺目前还待改进完善

DELI HC-49S/SMD 6C1200006
Wetting Balance Force-Time Graph



※无铅元器件的可焊性问题应当重视!

可焊性: 测试原理



IPC-I-002045

可焊性: 测试步骤

测试参考方法:

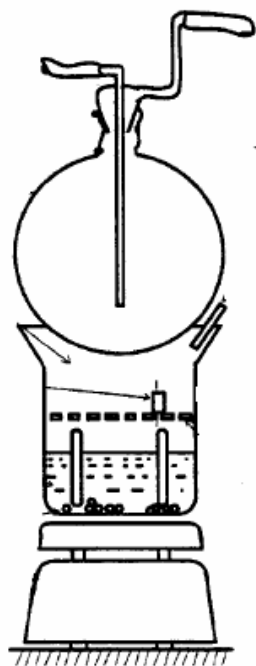
IPC-TM-650 2.4.14.2

J-STD-002

J-STD-003

IEC60068-2-54

SS00254-2/3



■ 蒸汽老化

(100° C, 100%RH, 8小时
相当于高温高湿条件下储存6个月)

■ 硫化老化

(H₂S+NO₂, 30° C, 70%RH)

可焊性:测试步骤

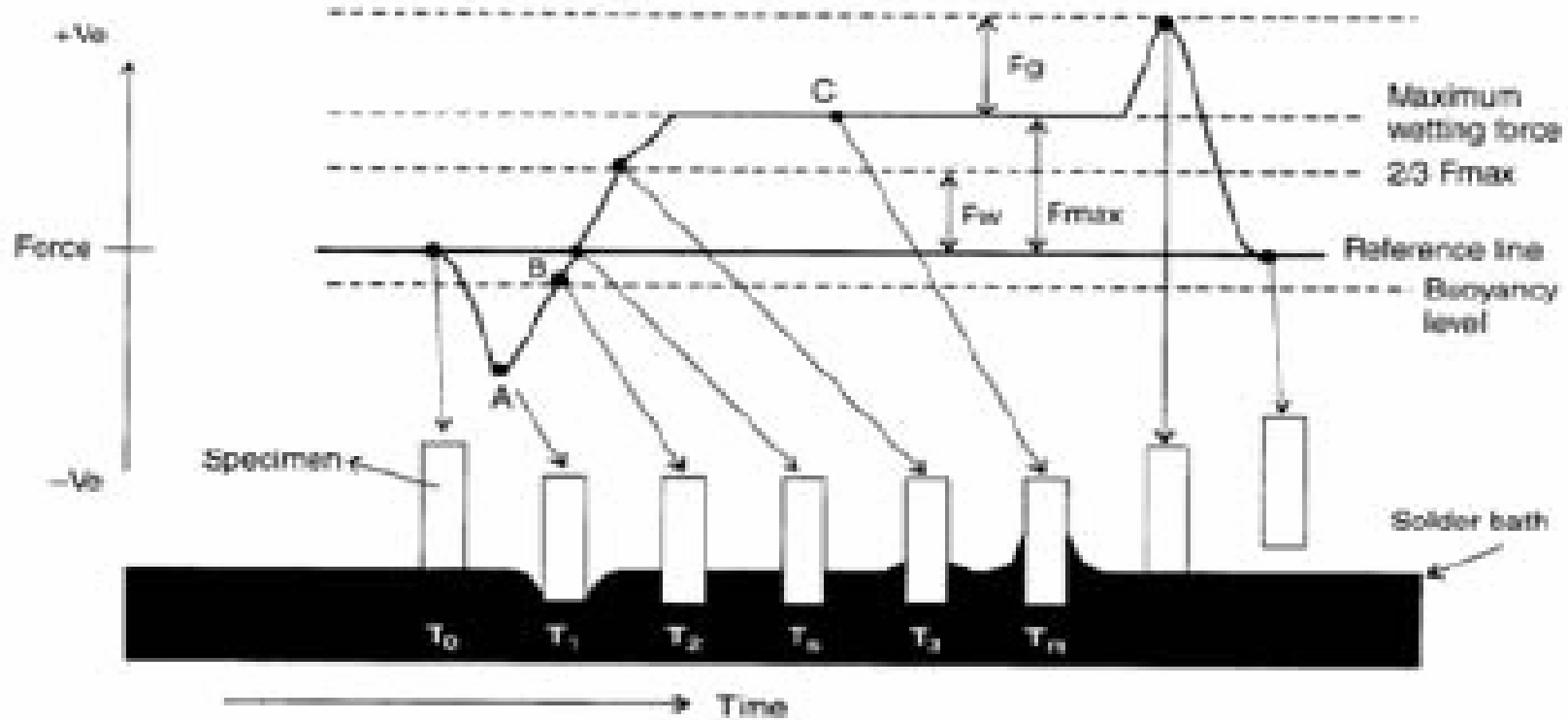
■ 润湿力测试



	Condition
Solder temperature	245 ± 3 °C
Immersion speed	1.75 to 2 mm/s
Immersion depth	2 mm
(Immersion depth for terminals of less than 2 mm solderable length)	(0.2 mm)

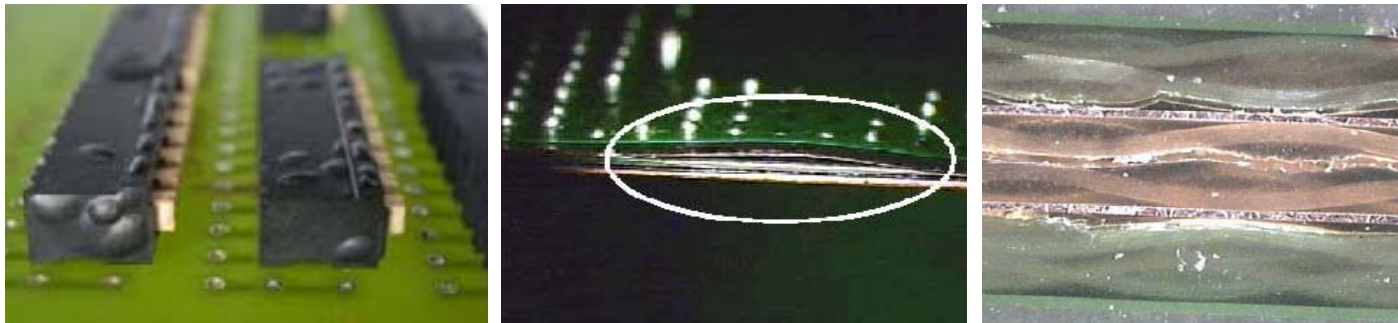
可焊性:测试步骤

■ 数据分析



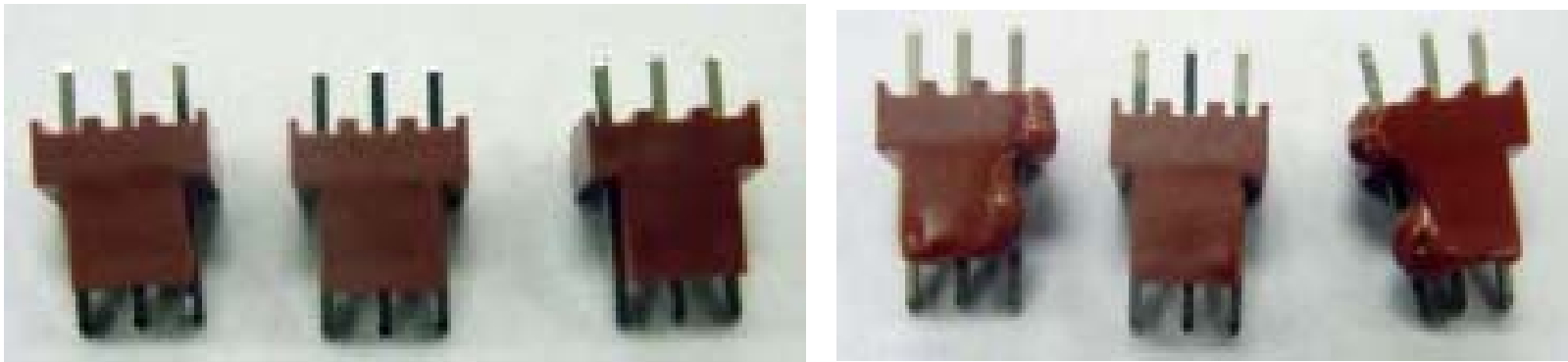
耐热性：工艺变化

- 无铅焊接工艺温度高，峰值温度达260℃。
- 常见封装耐热能力为240℃, FR4级别的PCB玻璃化温度约140℃。
- 易发生分层、变形及爆米花效应。



耐热性：测试要求

- SMT类元器件需满足260C， 10s， 三次回流的要求；
- THT类元器件需满足260C， 10s， 三次焊接的要求。
- 相关要求： MIL-STD-202G， method K；
IEC-60068-58



Solder Heat Resistance- Reflow

耐热性- 测试方法-回焊炉

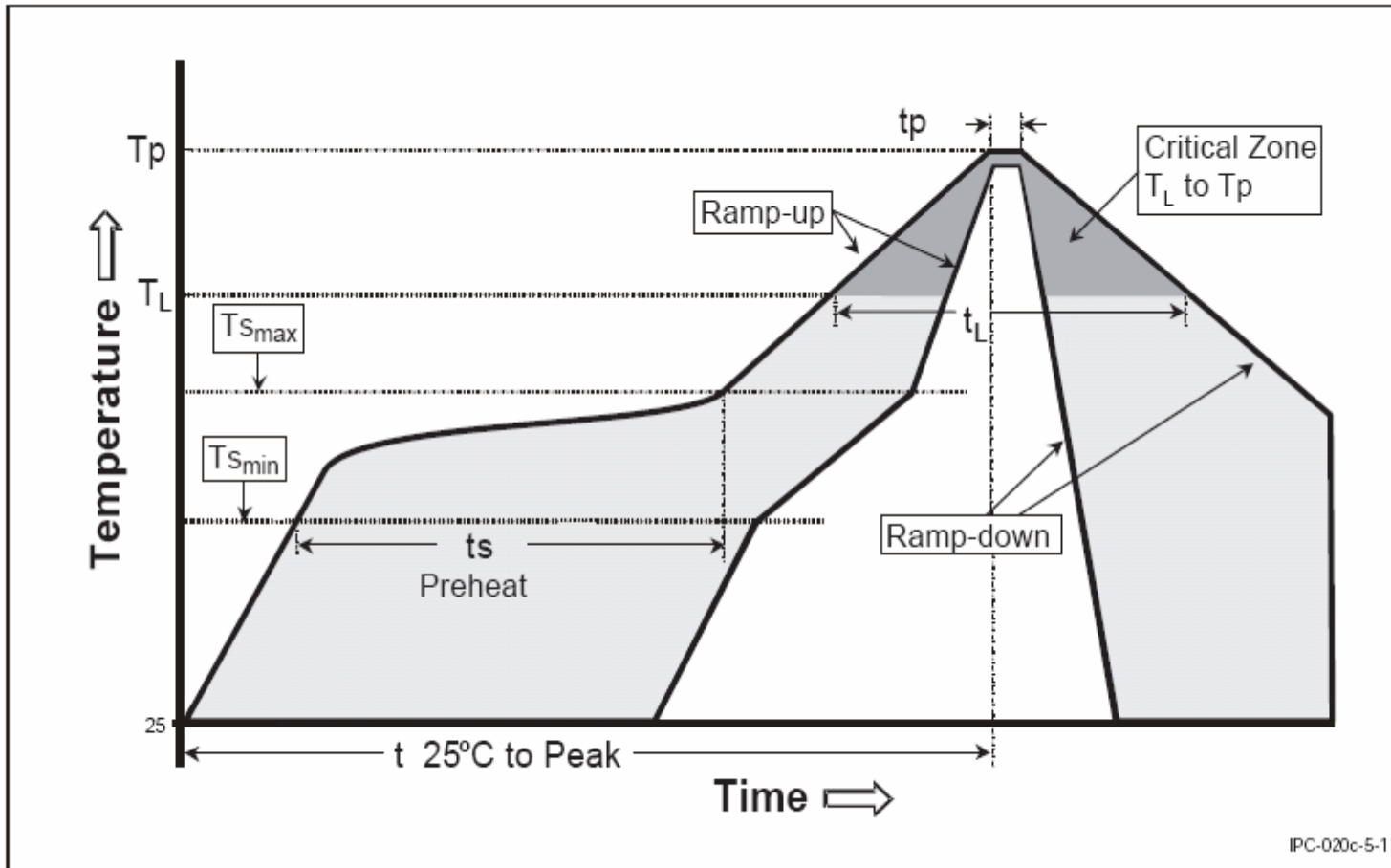
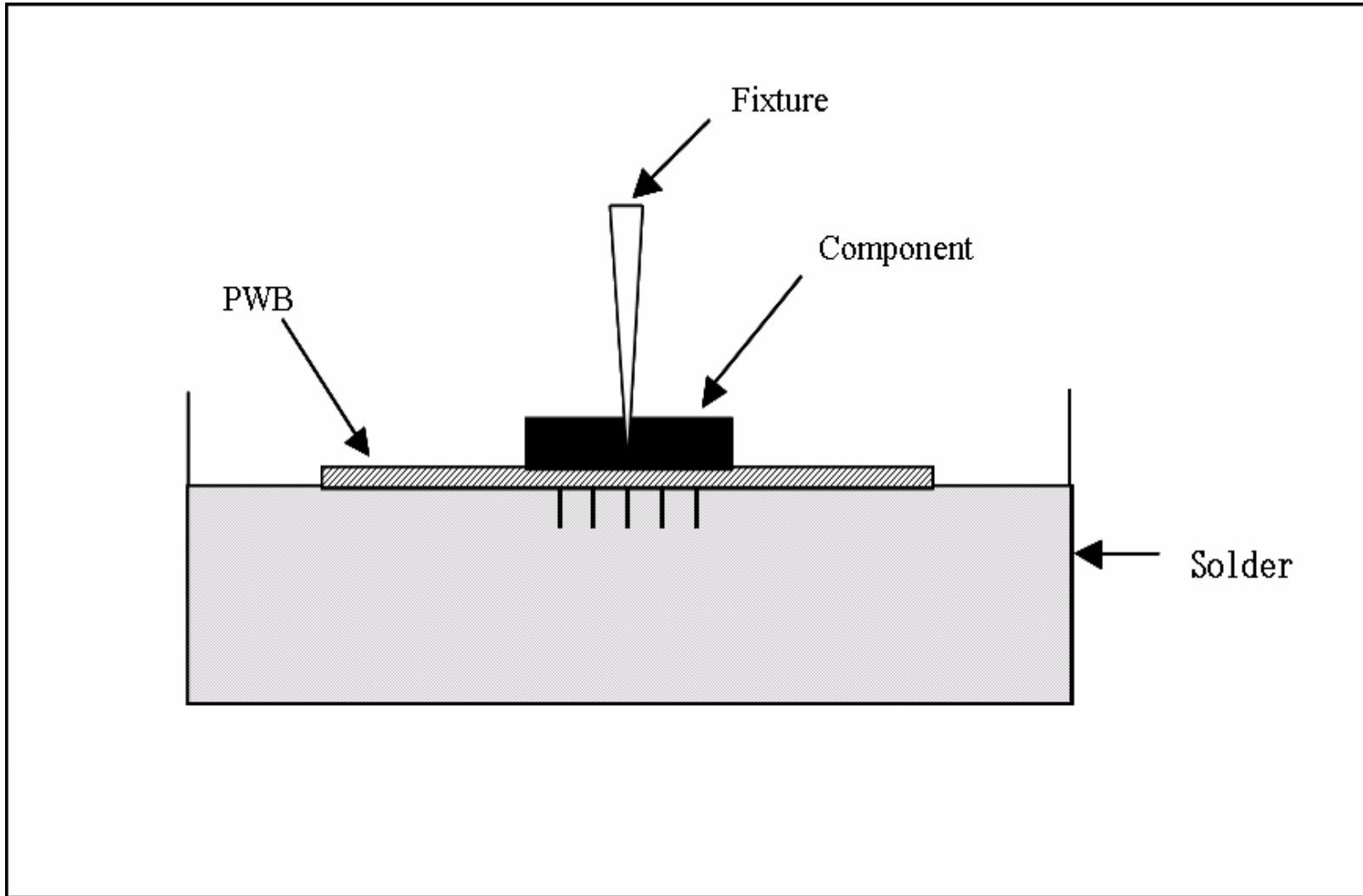


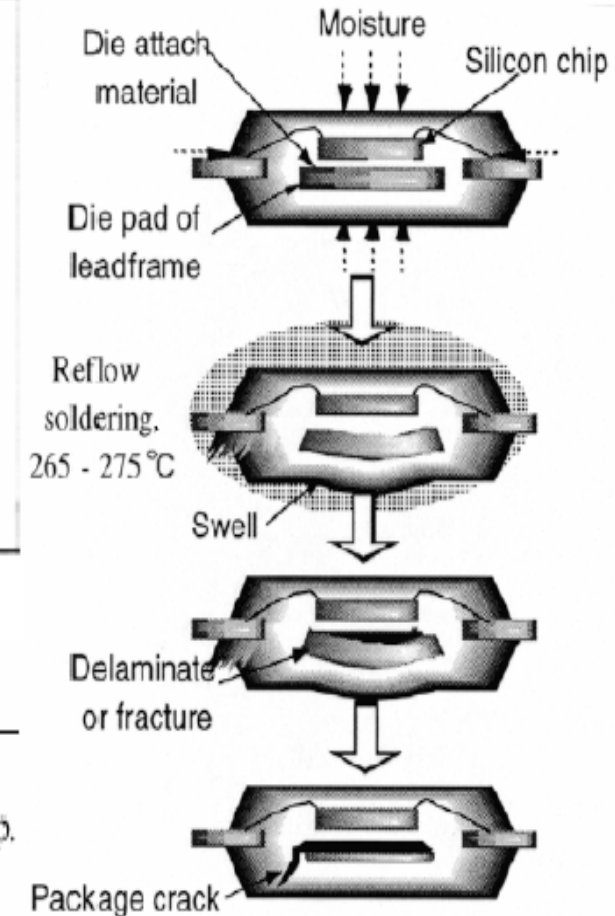
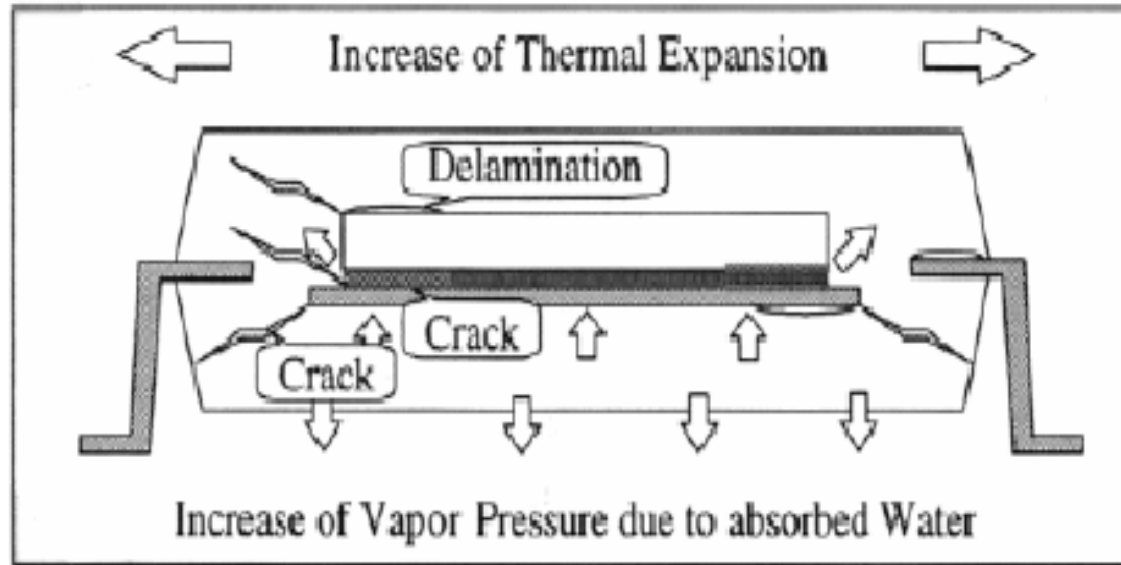
Figure 5-1 Classification Reflow Profile

Solder Heat Resistance- Dip Soldering

耐热性-测试方法-锡炉法

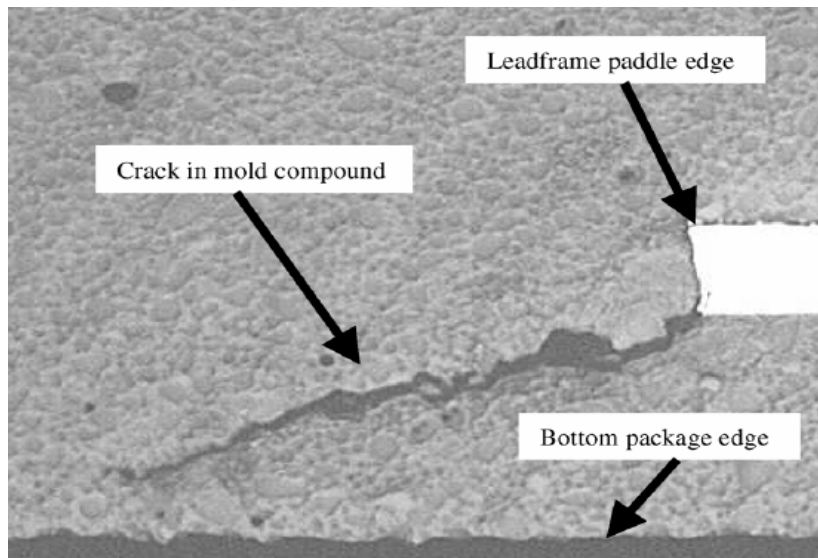


耐潮性: 潮湿机理

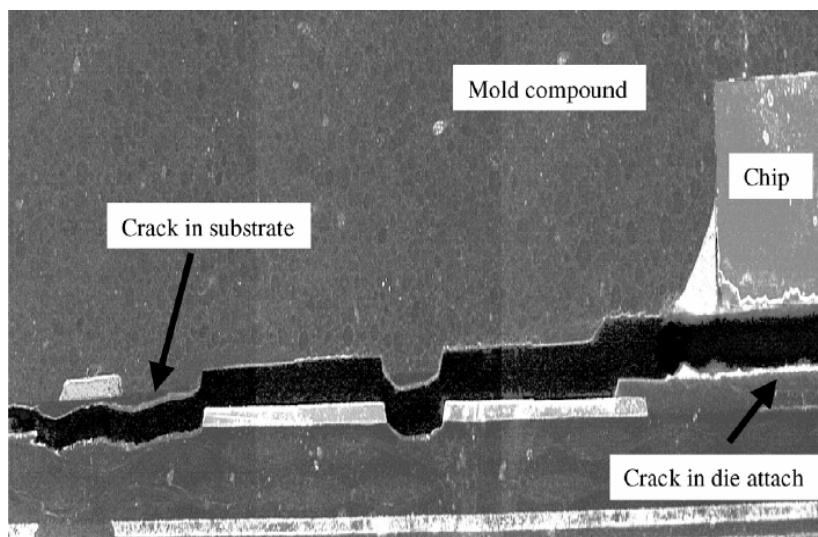


Reflow temperature		240°C	260°C	
Estimated maximum vapor pressure	MPa	3.2	4.5	Saturated vapor pressure at reflow temp.
	Rate	100	141	
Thermal expansion of molding compound	%	0.30	0.41	Typical data of EMC for SMD
	Rate	100	137	

耐潮性：失效案例



- 1、器件为144引脚QFP
- 2、经受热条件
260°C@level2a
- 3、从引线框架处产生裂纹



- 1、器件为2层PBGA
- 2、经受热条件
260 °C@level2a
- 3、从chip处产生裂纹



耐潮性：潮敏级别

J-STD-020 潮湿敏感级别

LEVEL	FLOOR LIFE		SOAK REQUIREMENTS					
	CONDITIONS	TIME	TIME (Hours)			CONDITIONS		
1	≤30 °C/90% RH	Unlimited	168			85 °C/85% RH		
2	≤30 °C/60% RH	1 year	168			85 °C/60% RH		
			TIME (Hours)					
			X	+	Y	=	Z	
3	≤30 °C/60% RH	168 hours	24		168	=	192	30 °C/60% RH
4	≤30 °C/60% RH	72 hours	24		72	=	96	30 °C/60% RH
5	≤30 °C/60% RH	24/48 hours	24		24/48	=	48/72	30 °C/60% RH
6	≤30 °C/60% RH	6 hours*	0		6	=	6	30 °C/60% RH

耐潮性: 测试曲线

Profile Feature	Sn-Pb Eutectic Assembly	Pb-Free Assembly
Average ramp-up rate (T _{smax} to T _p)	3° C/second max.	3° C/second max.
Preheat		
- Temperature Min (T _{smin})	100 °C	150 °C
- Temperature Max (T _{smax})	150 °C	200 °C
- Time (T _{smin} to T _{smax}) (ts)	60-120 seconds	60-180 seconds
Time maintained above:		
- Temperature (T _L)	183 °C	217 °C
- Time (t _L)	60-150 seconds	60-150 seconds
Peak Temperature (T _p) Classification	See Table 4.1	See Table 4.2
Time within 5°C of actual Peak Temperature (t _p) ¹	10-30 seconds	20-40 seconds
Ramp-down Rate	6 °C/second max.	6 °C/second max.
Time 25°C to Peak Temperature	6 minutes max.	8 minutes max.

耐潮性: 无铅要求

J-STD-020要求

Package Thickness	Volume mm ³ <350	Volume mm ³ ≥ 350
< 2.5 mm	240 +0/-5 °C	225 +0/-5 °C
≥ 2.5 mm	225 +0/-5 °C	225 +0/-5 °C

J-STD-020 for lead free

Package Thickness	Volume mm ³ < 350	Volume mm ³ 350 - 2000	Volume mm ³ > 2000
< 1.6 mm	260 °C *	260 °C *	260 °C *
1.6 mm - 2.5 mm	260 °C *	250 °C *	245 °C *
> 2.5 mm	250 °C *	245 °C *	245 °C *

耐腐蚀性: 主要问题

- 元器件端子如采用易溶解金属如Ag，用非银焊料，则易发生溶蚀
- 金属化端子溶蚀，将影响焊点连接和电信号的传输，甚至无法形成电气连接。
- 无铅焊接多用SnAgCu，端子银镀层的溶解现象将有所缓解。

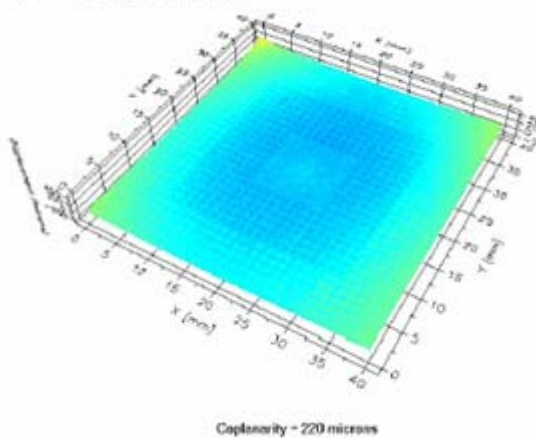
- 无铅贴片元件常见测试条件
- 温度 260℃
- 深度 2.0~2.5mm
- 时间 30s
- 要求 20X放大镜观察无溶蚀

◆ 测试参考方法 IEC60068-2-58

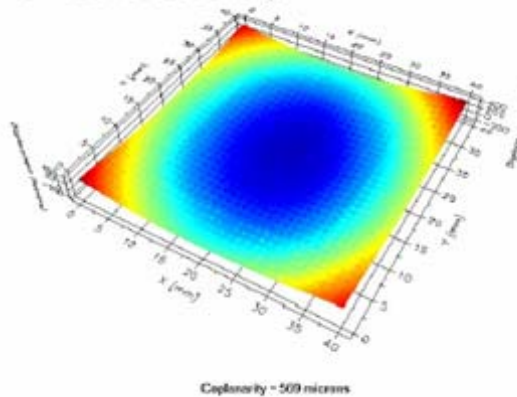
共面性: 无铅特性

- 无铅焊接温度高，大型元器件如BGA、贴装连接器等易变形
- 共面性差，易发生焊点开路 and 强度不足
- 冷却过程中，变形恢复易产生较大残余应力
- 大型元器件的初始共面性和高温共面性很重要

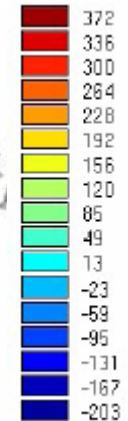
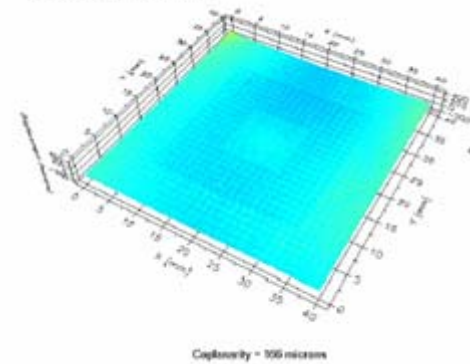
T = 26°C Initial



T = 235°C Heating



T = 26°C Final



共面性: 无铅要求

封装类型	QFP、SOP、SOJ、PLCC		BGA	
PITCH mm	<0.635	其他	<1.0	其他
共面度 mm	<0.10	<0.15	<0.10	<0.15

表贴连接器		LCCC
<0.5	其他	所有
<0.08	<0.10	<0.10

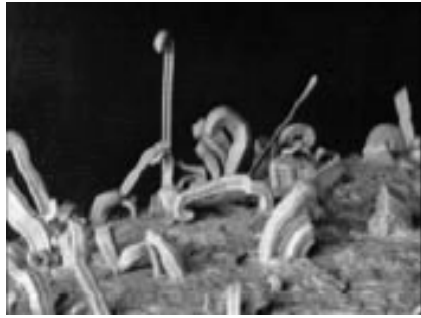
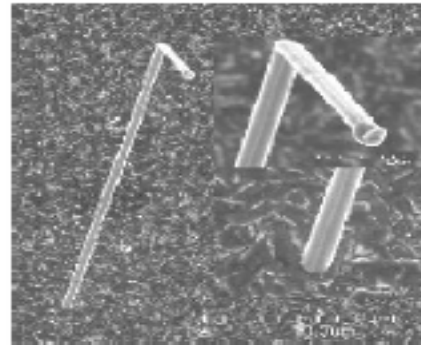
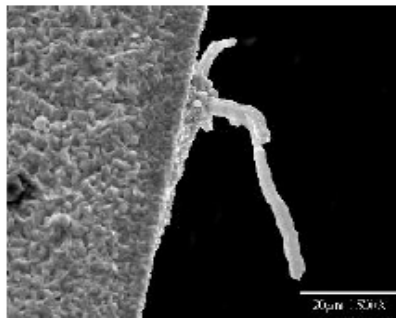
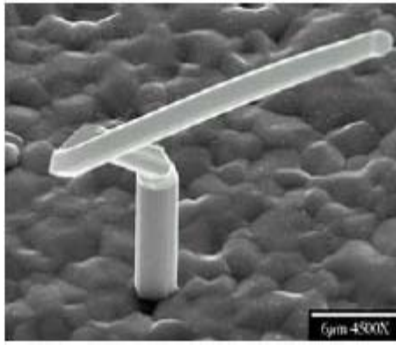
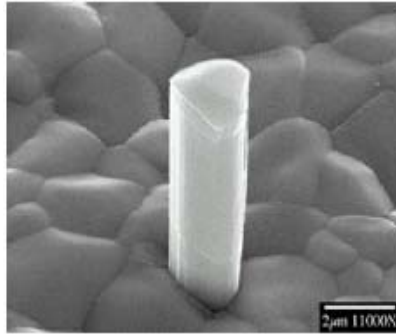
抗锡须：无铅特性

- 体心立方晶格的金属，如Cd、Sn等容易产生锡须。
- 无铅元器件和PCB的镀层以matte Sn为主流。
- 无铅焊接的工艺温度高，冷却速率快，焊点内应力更高。
- 无铅组装的电路板，锡须的可能性要高。

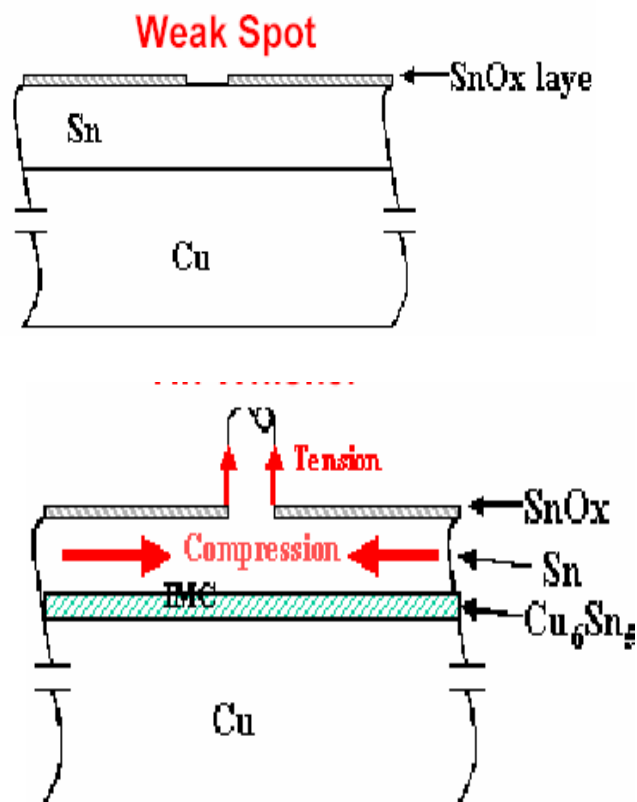
抗锡须：锡须特征

- 是一种单晶柱状物。
- 直径1um至5um。
- 随环境和时间会生长。
- 可以弯曲、缠绕。
- 有柱状、线状、疹状、花状、火山状等多种形态。

抗锡须：典型锡须



抗锡须：锡须机理



- Sn层存在压缩压力。
- 在内压缩应力作用下，Sn将自发进行重结晶，以减小系统内能。
- Sn表面氧化不均匀，存在某些“相对张力”区。
- Sn原子沿晶粒边界向张力区方向不断扩散，进行再结晶。
- 只要存在压缩应力，再结晶过程就持续发生，锡须不断生长

抗锡须：锡须危害

- bright Sn镀层最长锡须记录4000um，matte Sn镀层最长锡须记录800um。
- 危害电子元器件的最小电气间距，严重的引起短路，影响设备的可靠性。
- 增加表面积，容易吸附潮气、灰尘等污染物，加快焊点的腐蚀，影响焊点的长期可靠性。

抗锡须：控制措施

- 使用大晶粒尺寸的matte Sn作为镀层。
- 镀层厚度控制在8um到10um。
- Ni作为电镀底层。
- 尽可能选用SnAgCu、SnBi等多元合金作为镀层，减缓Sn原子的扩散迁移速率。
- 镀层在150°C到170°C老化，尽快形成Cu₆Sn₅成分的IMC，有利于减小Cu原子扩散的时效应力。
- 采用敷形涂覆，可有效减缓锡须的生长。

3.2 Temperature Cycling

3.2.1 Condition: $-55 \pm 0/-10^{\circ}\text{C}$ to $85 \pm 10/-0^{\circ}\text{C}$ or $-40 \pm 0/-10^{\circ}\text{C}$ to $85 \pm 10/-0^{\circ}\text{C}$ of air-to-air temperature cycles per JEDEC-JESD22-A104, Test condition A, soak mode 3 (10 minutes), typically 3 cycles/hour.

3.2.2 Number of cycles: The total number of cycles will be specified in the appropriate test plan.

3.2.3 Readouts: Unless otherwise specified readouts should be every 500 cycles.

3.3 Ambient Temperature/Humidity Storage

3.3.1 Condition: $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ and $60 \pm 3\%$ relative humidity (RH)

3.3.2 Duration: The total number of hours will be specified in the appropriate test plan.

3.3.3 Readouts: Unless otherwise specified readouts should be every 1500 hours.

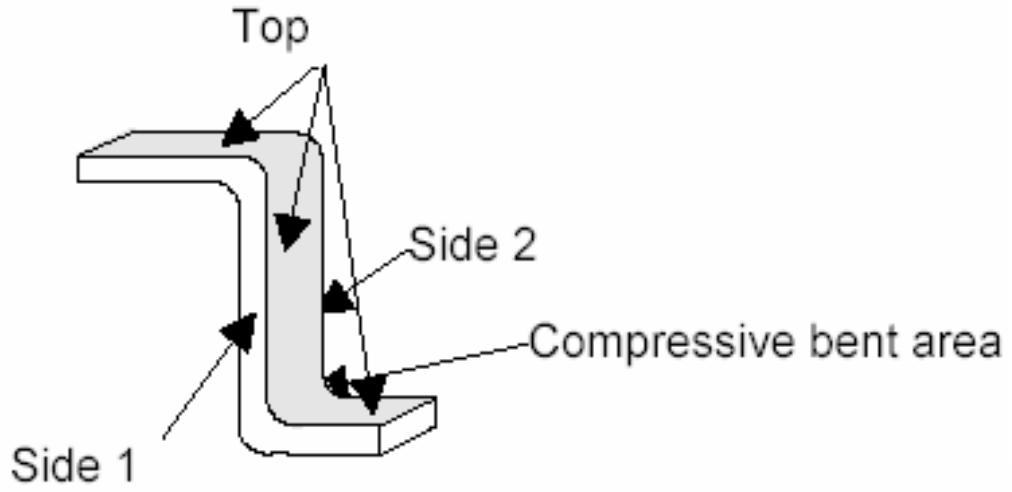
3.4 High Temperature/Humidity Storage

3.4.1 Condition: $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ and $93 \pm 3\%$ RH

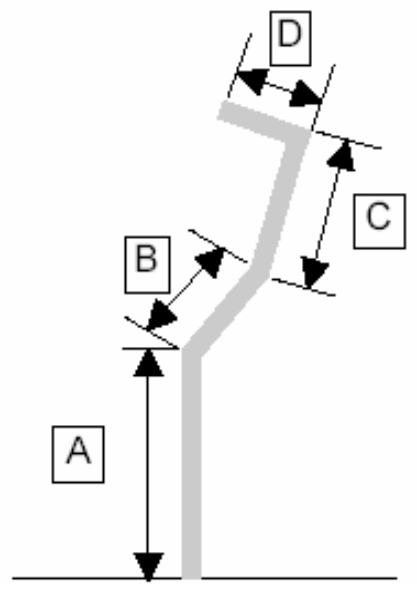
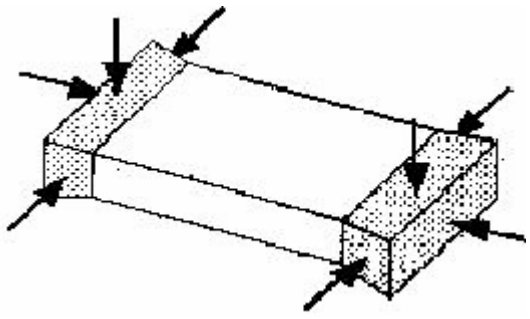
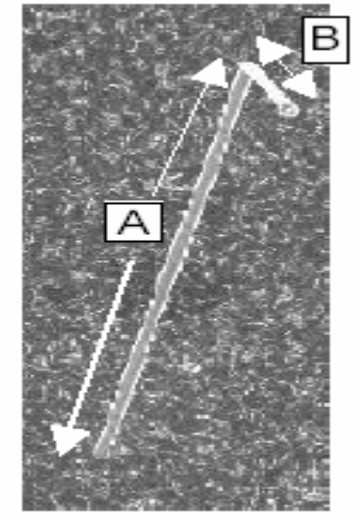
3.4.2 Duration: The total number of hours will be specified in the appropriate test plan.

3.4.3 Readouts: Unless otherwise specified readouts should be every 1500 hours.

抗锡须: 锡须测量



Whisker total axial length = A + B



Whisker total axial length = A + B + C + D

目录

■ 元器件可靠性测试

为什么要测试

质量及可靠性测试项目

相关项目测试方法及标准

■ 整机可靠性测试

为什么要测试

失效机理及相应的测试项目

相关项目测试方法及标准

■ 失效分析

主要测试方法

■ 企业质量保证体系的要求

- 产品设计出现变更，需要验证新设计的质量
- 产品材料出现变更，需要验证新材料的质量
- 产品工艺出现变更，需要验证新工艺的质量
- 产品任何有计划的、有目的的变更，均应评估和控制

■ 无铅产品的变化

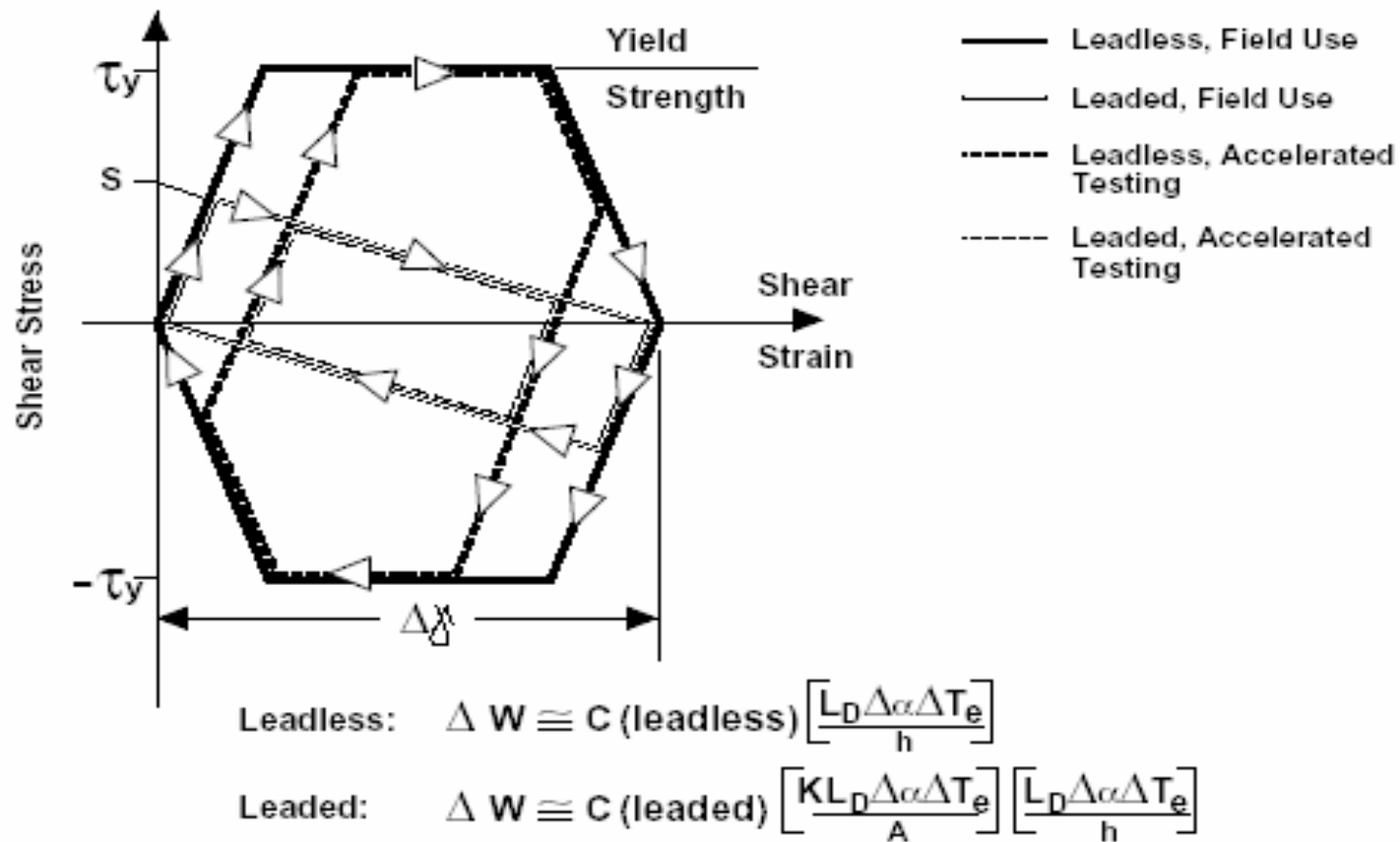
- 焊接材料无铅化
- 元器件无铅化
- 焊接工艺

■ 无铅产品的风险

- 元器件可能的热损伤
- 焊点可能的不良
- 锡须
- 其他

Failure Mechanism of PCBA: thermal cycling 电路板的失效机理之一：热循环

■ 热循环的累积疲劳损伤 **Thermal Cycling Damage Mechanisms**

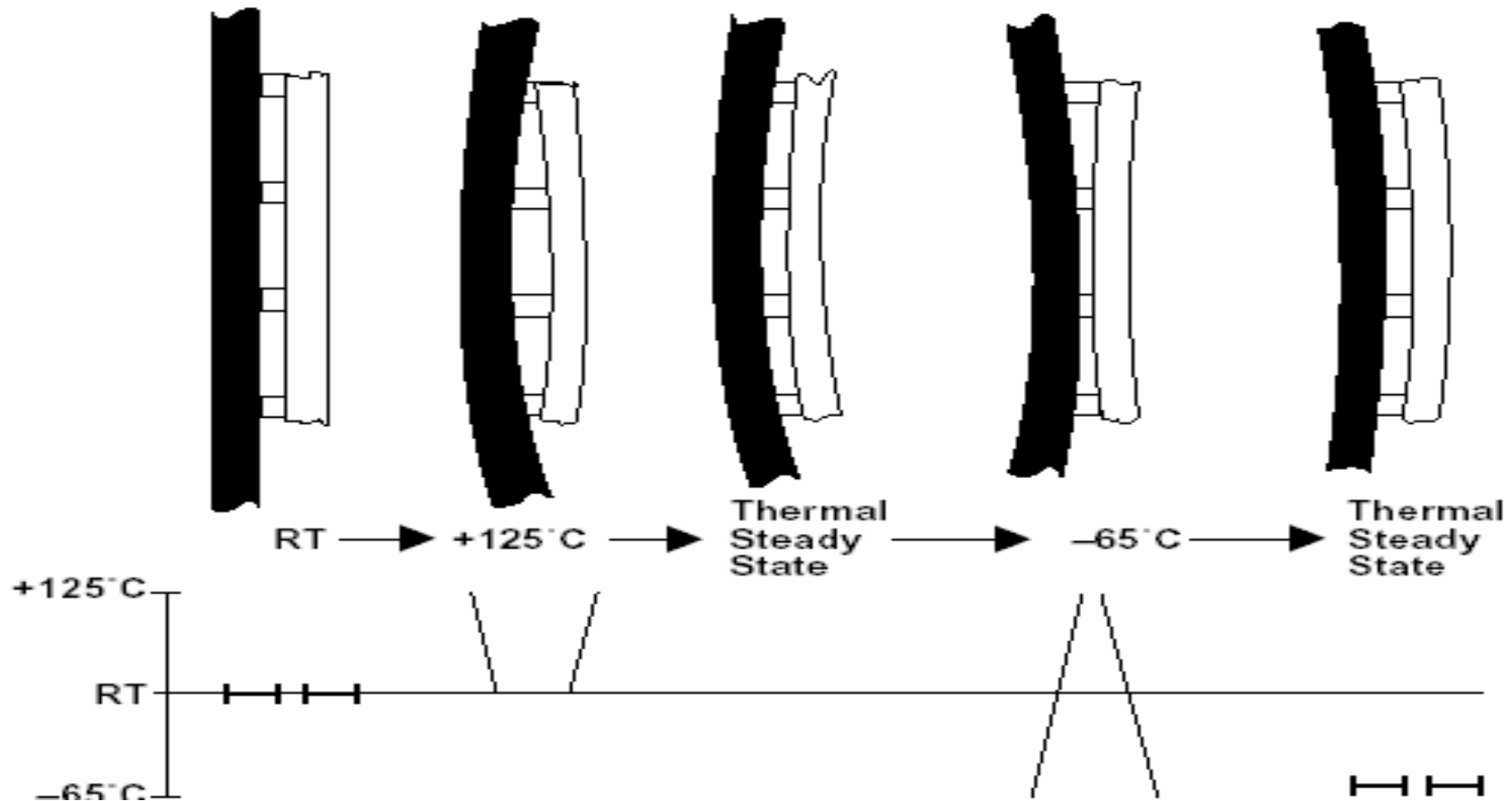


- 实际焊点既不是理想的弹性(**elastic**)也不是塑性(**plastic**), 其屈服强度(**yield-strength**)依赖于温度的高低、载荷的大小、焊点的成分和晶格结构(**grain structure**)等因素。
- 热循环的损伤为材料蠕变(**creep**)和应力释放(**stress relaxation**)强化的累积疲劳(**cumulated fatigue damage**)。
- 停留时间(**dwell time**)并不能消除疲劳造成的损伤, 较高的温度可以促进应力的释放, 但也能促进焊点内部有害相(**detrimental metallographic grain**)的增长。
- 在热循环过程中, 焊点表面变的粗糙(**rough**)且内部容易产生气穴(**cave**)等潜在缺陷(**potential defect**), 容易导致开裂(**crack**)。

Failure Mechanism of PCBA: thermal shock

电路板的失效机理之二：热冲击

■ 热冲击的张力损伤 **Thermal Shock Damage Mechanism**



Explain of tensile and shear 张力和剪切的说明—热冲击

- 温度变化速率(rate of temperature changes)一般超过30°C/min。
- 热冲击时张力(tensile)相比热失配(expansion mismatch)处于支配地位，焊点受张力(tensile)和剪切力(shear stress)的影响。
- 热冲击应力呈空间多维(multiaxial in space)，热循环主要是剪切和应力释放(stress relaxation)造成的累积疲劳损伤(accumulated fatigue damage)。
- 电路板焊接或维修(soldering or repair)、电源的开关(turn the power supplier on or off)、环境的剧烈转换等极端条件将产生热冲击。

Failure Mechanism of PCBA: vibration 电路板的失效机理之三：振动

高周波的振动损伤机理 **high cycle vibration damage mechanism**

- 机械振动(**mechanical vibration**)具有较小的振幅(**amplitude**)和较小应力的特点
- 如振动频率(**frequency**)和电路板自振频率(**resonant frequency**)相近, 将发生共振(**sympathetic vibration**)现象, 这时电路板所受的应力将很大
- 焊点(**solder joint**)在**30Hz**以上振动条件下呈弹性状态(**elastic state**)
- 焊点的弹性模量(**elastic modulus**)随振动频率升高而增大
- 较小的振动应力在焊点局部发生应力集中()时, 焊点发生局部塑性变形, 晶格内部将发生滑移(**slip**), 内部产生微裂纹
- 裂纹将穿过晶粒内部进行扩展, 而不是沿晶界扩展
- 振动最终将使焊点形成高周疲劳 (**10^4**), 在断面处可观察到晶面滑移的痕迹。

Failure Mechanism of PCBA: Creep

电路板的失效机理之四：蠕变

焊点的蠕变开裂 Creep Rupture of Solder Joints

- 电路板有时会发生弯曲(warping)
- 弯曲导致在焊点处产生固定的应力(fixed load)
- 焊点通过变形来释放应力，但弯曲应力是以固定值施加在焊点上
- 焊点的变形，由弹性变形到塑性变形，最终破裂



Reliability Test to Lead-free Product

无铅产品可靠性测试

针对以上的主要失效机理，对于无铅工艺组装的电路板，至少应进行以下**5**项测试，以检测焊点的质量。

- 热循环 **thermal cycling**
- 热冲击 **thermal shock**
- 振动 **vibration**
- 焊点强度 **pull & shear**
- 切片分析 **micro section**

How to do? – thermal cycling 如何测试? – 热循环



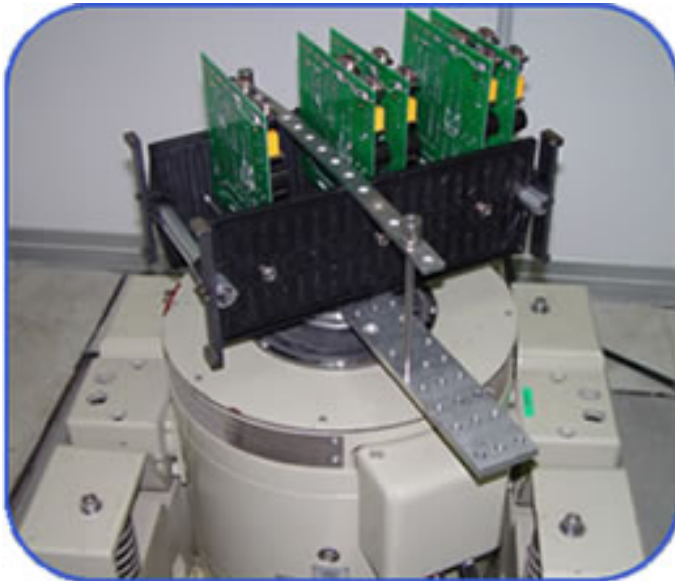
- 根据**IPC—9701, TC3**
- **Low temperature: -40°C**
- **High temperature: 125°C**
- **Dwell time: 10 min**
- **Transmit rate: <10°C/min**
- **Total cycles: 1000**

How to do? – thermal shock 如何测试? – 热冲击



- 根据**JESD22-A104-B Condition C**
- **Low temperature: -40°C**
- **High temperature: 125°C**
- **Dwell time: 15 min**
- **Transmit rate: >30°C/min**
- **Total cycles: 500**

How to do? –vibration 如何测试? –振动

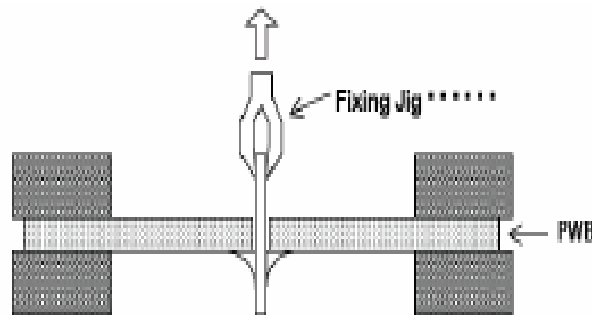
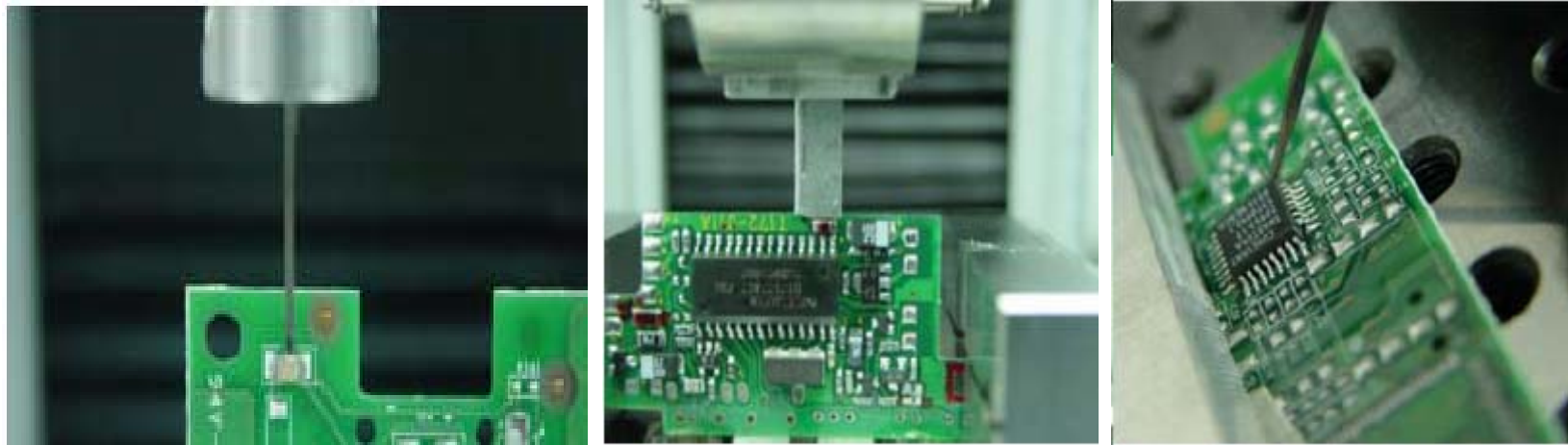


- 根据MIL-STD 810F 514.5, procedure 1
- Test model:5Hz-200 Hz-5Hz,5*12 minutes,60 minutes pre axis X,Y,Z.
- a).5~8.45 Hz,+/-3.5mm displacement constant.
b).8.45~92 Hz,1G constant.
c).92~113Hz,+/-0.029 mm displacement constant.
d).113~200Hz,1.5G constant.
e).Total sweep of 5-200-5Hz would be 12 minutes.

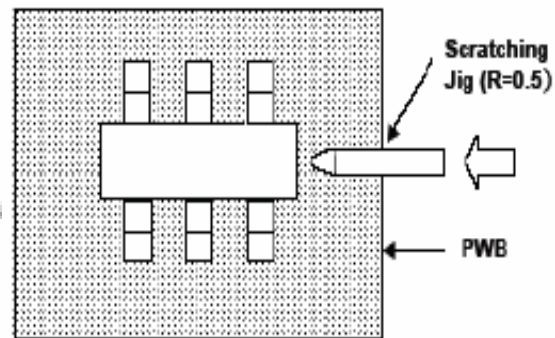
How to do? – Pull & Shear

如何测试？—焊点强度

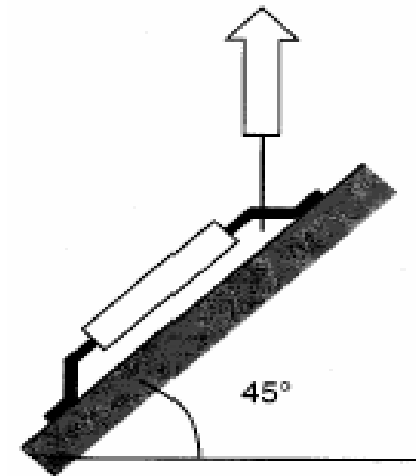
根据JIS Z 3198



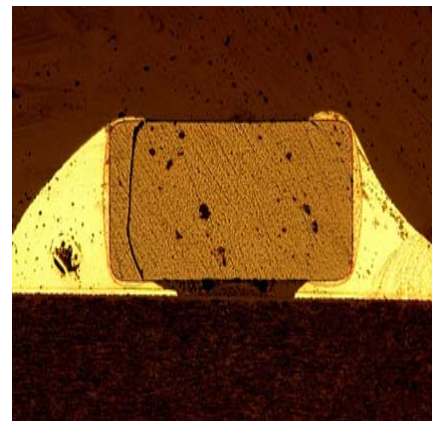
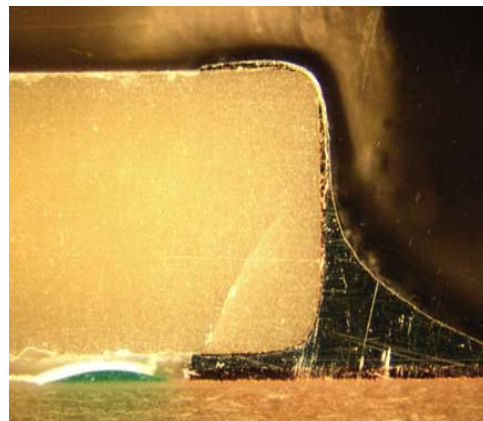
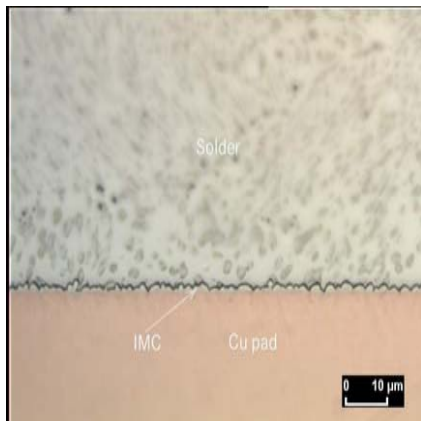
Tensile Strength Test for Leaded Component



Tensile Strength Test for Non-leaded Component



How to do? – Cross Section 如何测试？— 切片分析



目录

■ 元器件可靠性测试

为什么要测试

质量及可靠性测试项目

相关项目测试方法及标准

■ 整机可靠性测试

为什么要测试

失效机理及相应的测试项目

相关项目测试方法及标准

■ 失效分析

主要测试方法

失效分析

无损检测:

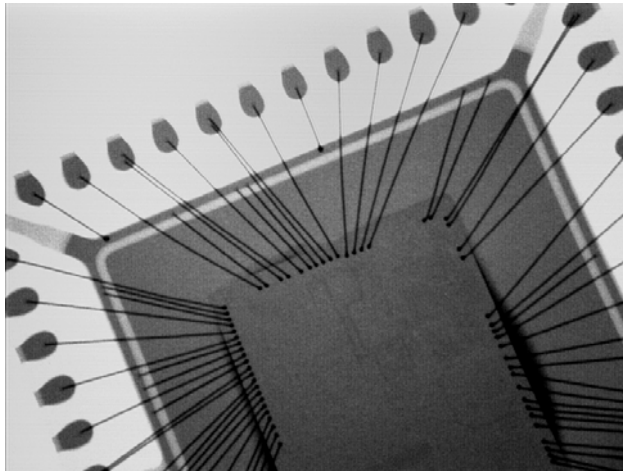
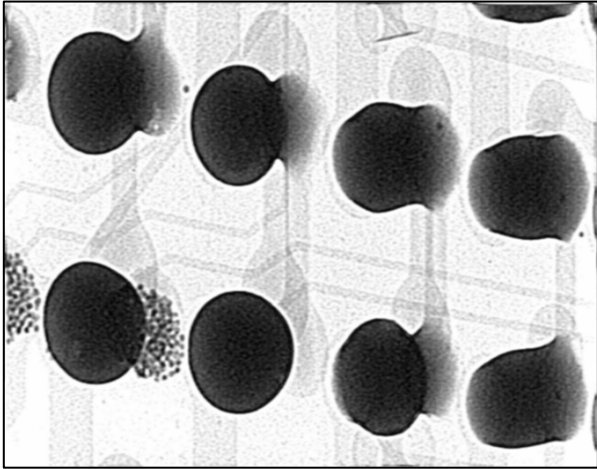
- X-RAY (X射线无损探伤)
- C-SAM (声学扫描)
- SEM-EDS (扫描电镜-能谱分析仪)

破坏性检测:

- Pull & Shear (焊点推拉)
- Dye & Pry (染色拉拔)
- Microsection (切片分析)

X-RAY (X射线无损探伤)

利用X射线，可透视焊点及元器件内部缺陷情况。



C-SAM(声学扫描)

C-SAM利用超声波，可探测到元器件内部的分层、空洞、裂缝等缺陷。

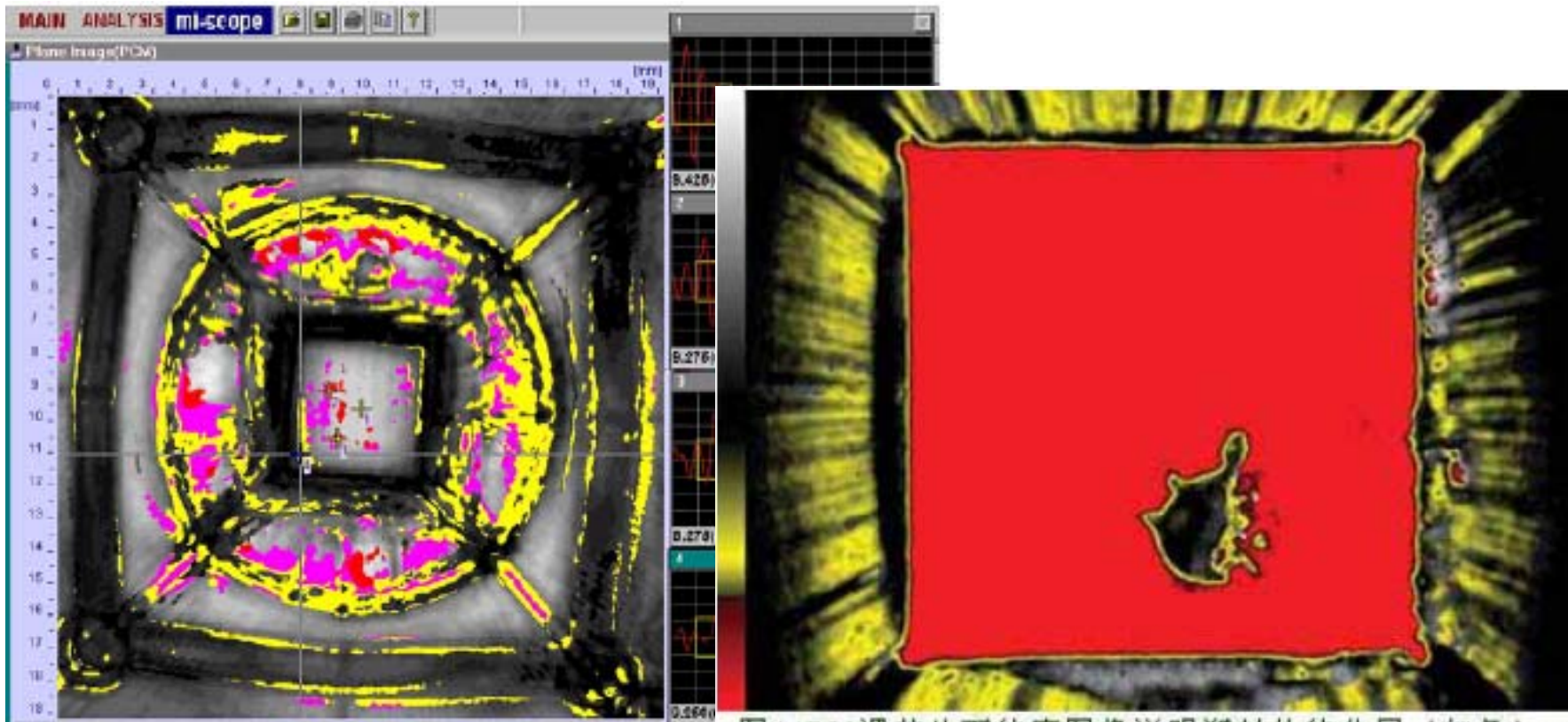
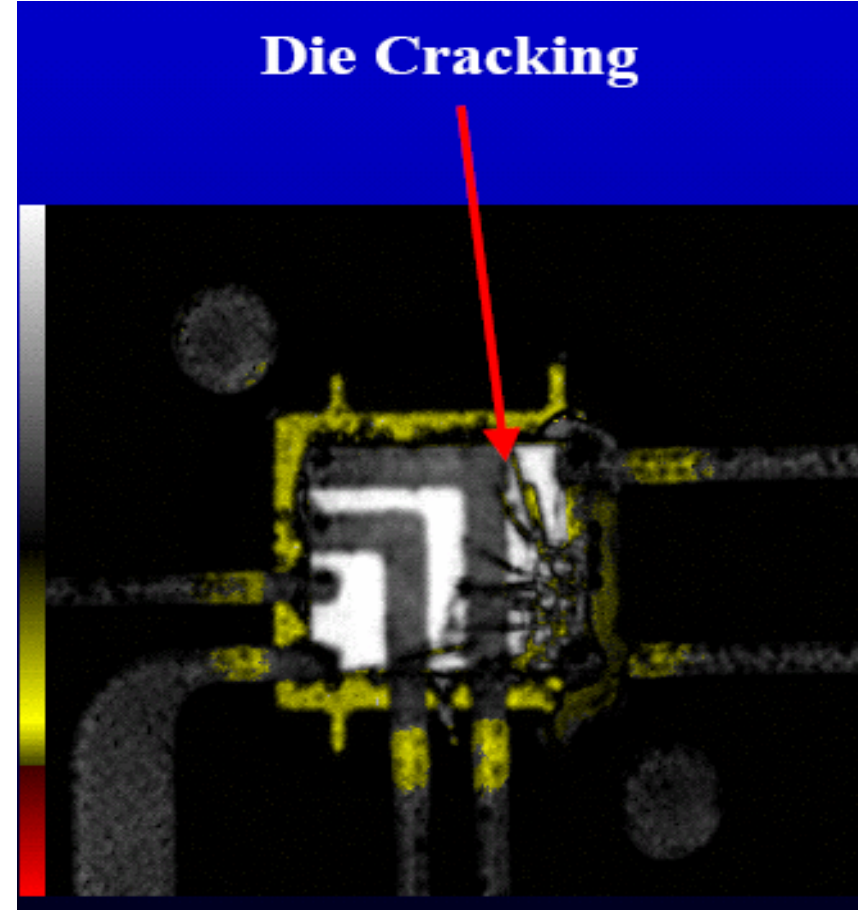
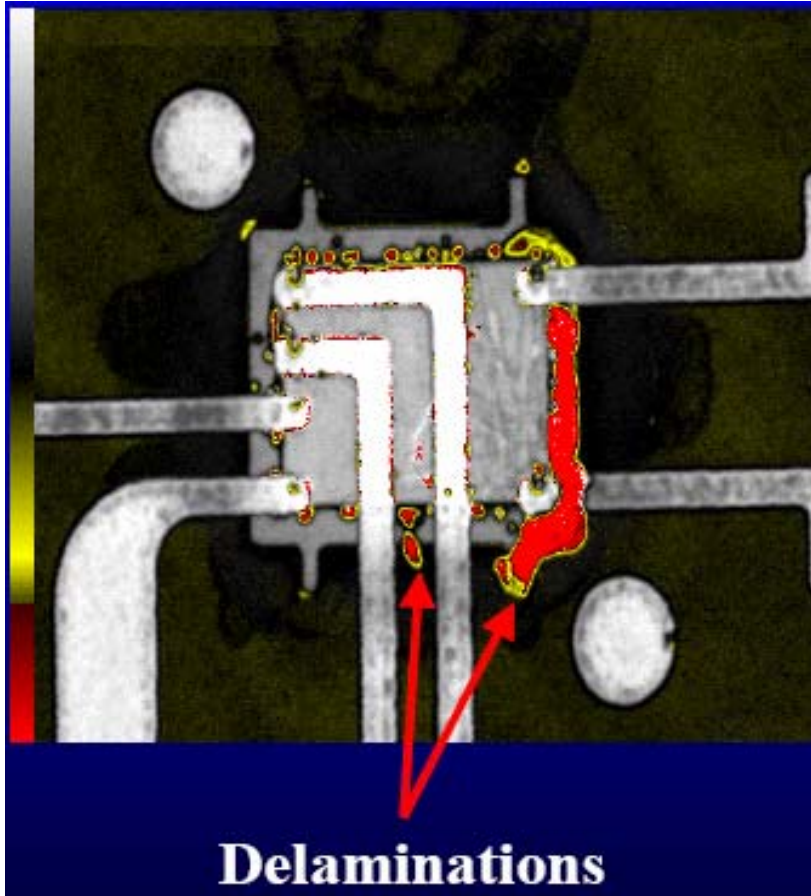
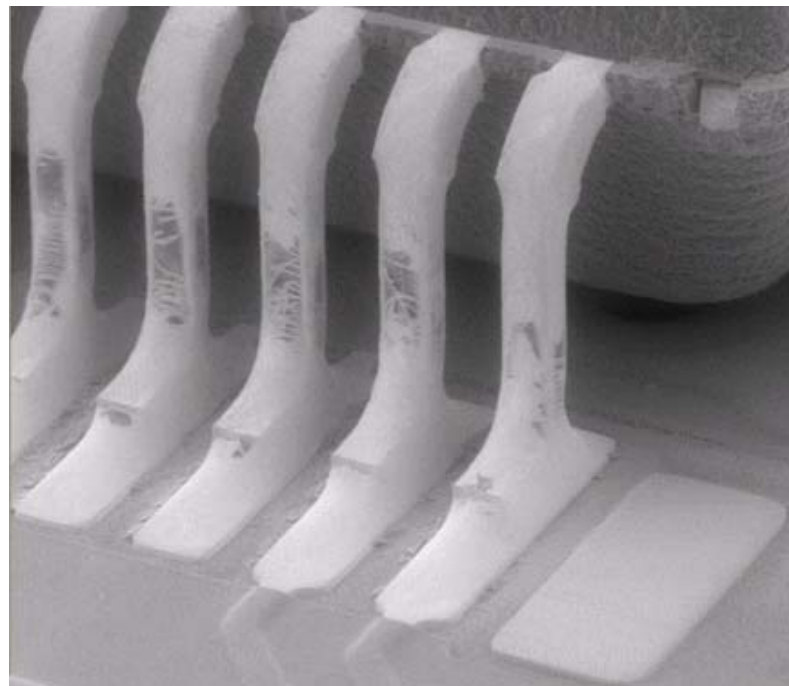
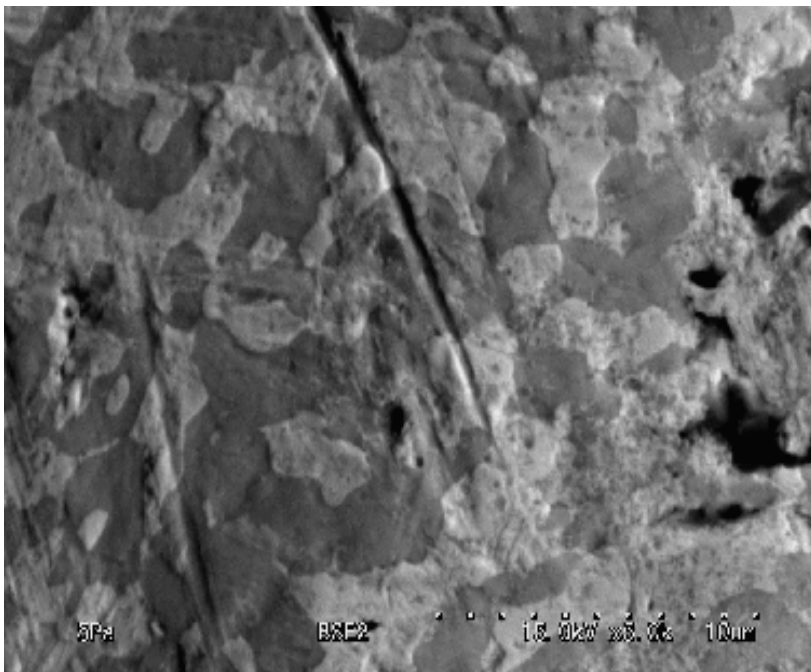


图1 BGA裸芯片面的声图像说明塑封体的分层（红色）。周边导线是金色的，因为其圆形曲线的超声波反射面很小。



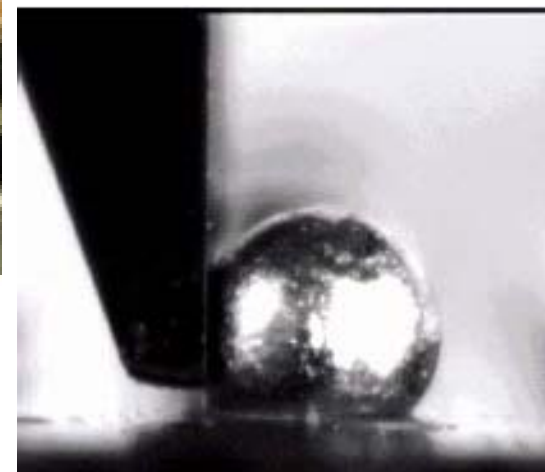
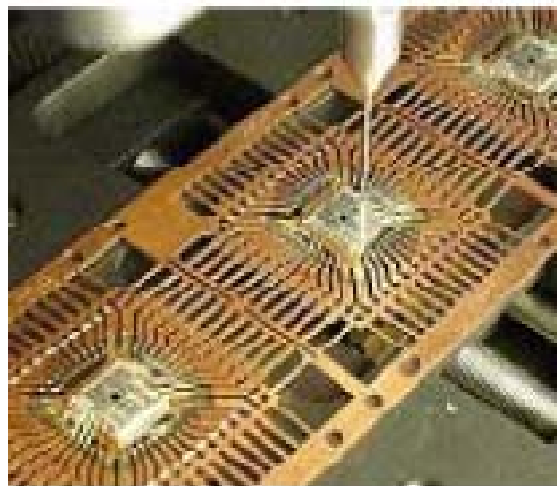
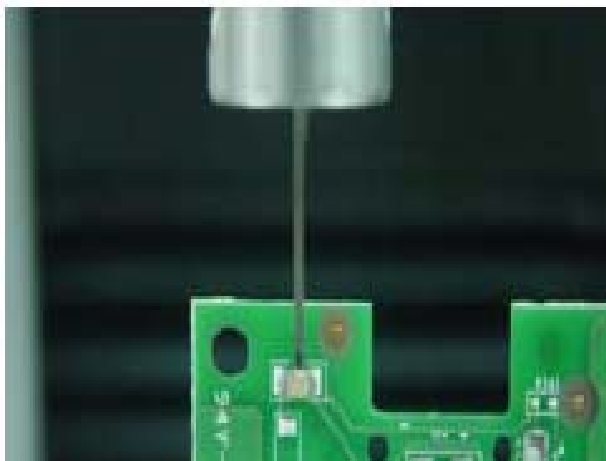
SEM-EDS(扫描电镜-能谱分析仪)

利用细聚焦电子束在样品表面扫描时激发出来的各种物理信号调制成像，用于微观形貌观察。放大倍数最高可达几十万倍。

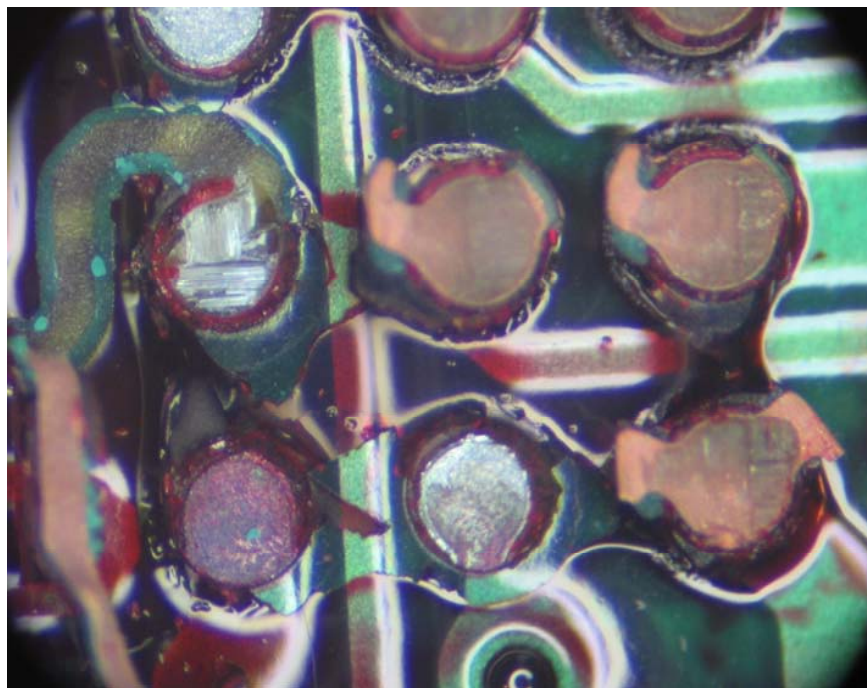


Pull & Shear(焊点推拉)

鉴定焊点、芯片内部Bonding Wire、BGA焊球等所能承受之机械应力(拉力/推力)。



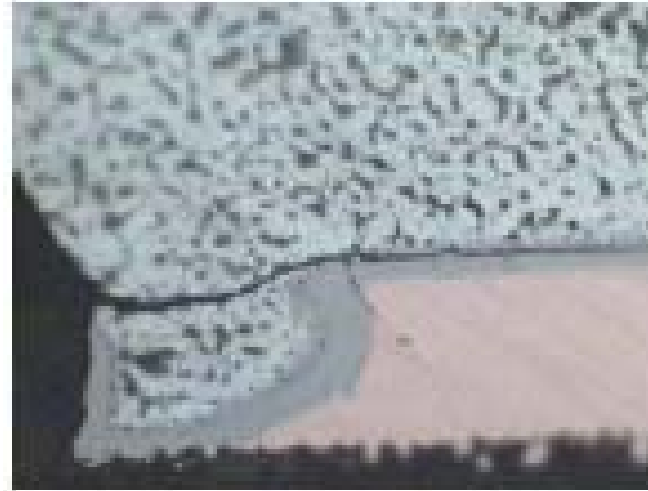
用于BGA、CSP等面阵列器件的焊点缺陷检查。可检查出焊球的多种不同的失效模式。



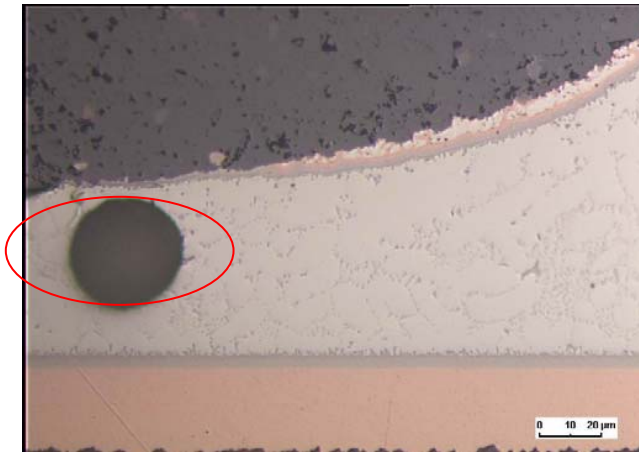
Mircrosection(切片分析)



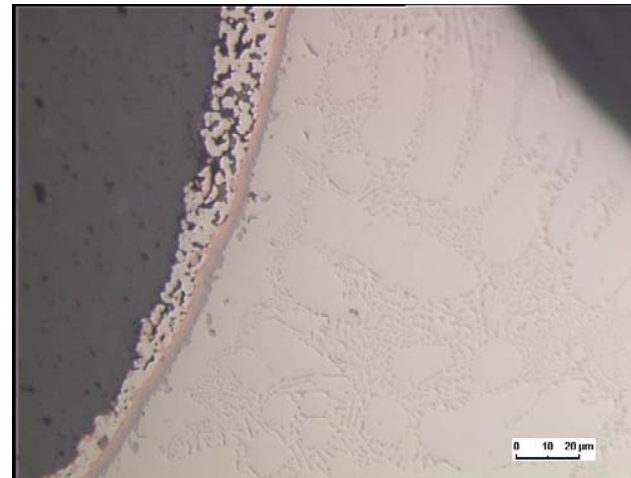
焊点和引线间有分层



BGA焊盘处有裂缝



焊点中有空洞



良好焊点



参考资料

- SGS台湾检验科技公司无铅焊接资料
- Dr. John Lau无铅焊接资料
- NEMI无铅资料
- IPC
- 其他



谢谢