

失效分析技术在开关电源质量鉴定中的应用

Application of FA Thchnology in the Quality Identification for Switching Power Supply

李红高,刘学森,颜景林,刘跃东,杨晓云,刘从俭(华碧司法鉴定所,江苏 苏州 215024)

Li Hong-gao,Liu Xue-sen,Yan Jing-lin,Liu Yue-dong,Yang Xiao-yun,
Liu Cong-jian(FALAB Judicial identification center,Jiangsu Suzhou 215024)

摘要 开关电源是一种控制开关管开通和关断的时间比率 维持稳定输出电压的一种电源。其核心是一片能输出脉宽调制信号(PWM)的电源管理芯片。该文从电学分析角度和物性分析手段对电源电路板进行失效分析,分析发现元件 U2 以及三极管 Q1 电学功能正常,但 U2 及 Q1 内部芯片与塑封料界面有分层现象。

关键词 :开关电源 脉宽调制信号 分层

中图分类号 :TN86

文献标识码 B

文章编号 :1003-0107(2013)02-0017-16

Abstract: Switching power supply is a power supply which can control switch turn-on and turn-off time ratio, maintaining the stability of the output voltage. Power management chip is its key component. In the paper, we conducted the failure analysis for PCBA of the supply with the means of electrical analysis and material analysis technology. The results show that the electrical function of component U2 and Q1 is normal. But De-lamination is found between die and EMC in the component.

Key words: Switching power supply; PWM; De-lamination

CLC number: TN86

Document code: B

Article ID :1003-0107(2013)02-0017-16

1 背景技术

失效分析常借助电学分析及物性分析手段进行失效点定位查找及失效机理分析。针对集成电路芯片以及分立元件电学分析,通常简单实用的方法可借助晶体管图示仪分析管脚,示波器、数字万用表分析其引脚电信号;物性分析手段,常用的非破坏性的有 x-ray 透视及超声波扫描显微技术。破坏性物理分析常用手段有化学开封技术(De-cap)、扫描电子显微镜内部观察、金相切片分析等手段。本文借助上述先进的技术手段,逐步失效定位,然后分析其失效机理。上述分析手段可进行电路板级和芯片级失效分析,高效、实用地应用于各类电子、电气产品的质量鉴定。

2 技术方案

失效分析常借助电学分析及物性分析手段进行失效点定位查找及失效机理分析。针对正常的开关电源在一定的时间段内(特别是天气潮湿时)无输出电压的失效现象,按如下过程对样品进行了失效分析。

2.1 失效现象验证

收样后随机选了 5 个不良品进行 80℃ 烘烤 1 小时后,通电测试发现该 5 个样品全部恢复正常。

2.2 失效定位分析

2.2.1 外观检查

对送检样品 PCBA 组件进行外观检查,未发现电路板及其元器件有击穿、破损等异常现象。

2.2.2 电学分析

查阅电路图后,电学测试发现不良品元件 U2 供电电压 Vcc 值普遍偏低,部分不良品更换元件 U2 后恢复正常,另外部分不良品更换三极管 Q1 后恢复正常。后续便对送检样品的元件 U2 以及三极管 Q1 进行了重点分析。

将不良品三极管 Q1 和元件 U2 拆下后进行电学测试,借助晶体管图示仪对元件引脚进行 I/V 量测,未发现异常;接着对元件 U2 进行功能测试,参照元件 U2 的 datasheet 里的测试电路搭建测试电路板,对 13#、16#、17#、18# 样品元件 U2 进行电学测试。功能测试表明元件 U2 功能正常。

作者简介:李红高(1985-)男,可靠性与失效分析工程师,本科,研究方向为电子元器件以及 PCB/PCBA 失效分析。

2.2.3 物性分析

X-Ray 检查时发现部分样品元件 U2 引脚焊点存在空洞,未发现此两类型元件内部有异常现象。

超声波扫描显微镜分析发现,所检的 12#、13#、19# 样品三极管 Q1 内部存在分层现象。而良品和未使用的三极管 Q1 未发现该现象。所检的 6#、13#、16~18#、20# 样品的元件 U2 存在明显的分层现象。

金相切片分析发现,良品与不良品元件 U2 内部铜基板与模塑材料之间存在明显的分层现象,且发现不良品元件 U2 芯片表面存在分层现象。另外,12# 样品三极管 Q1 内部芯片表面存在分层现象。

3 实际案例

3.1 案例背景

客户描述测试好后的电源在室温下放置一段时间后无法工作,然后将不良品放在烘箱内 40 度温度内两小时后测试正常。将某一良品拆开用酒精涂覆在三极管 Q1 表面,此时产品不工作。电源出现不良现象的时间主要集中在一定的时间段内(天气潮湿时),其他批次电源也会发生类似现象。失效率约为 0.8%。

样品接收态外观照片如图 1 所示,图 1 左边 10 个为良品,右边 10 个为不良品。

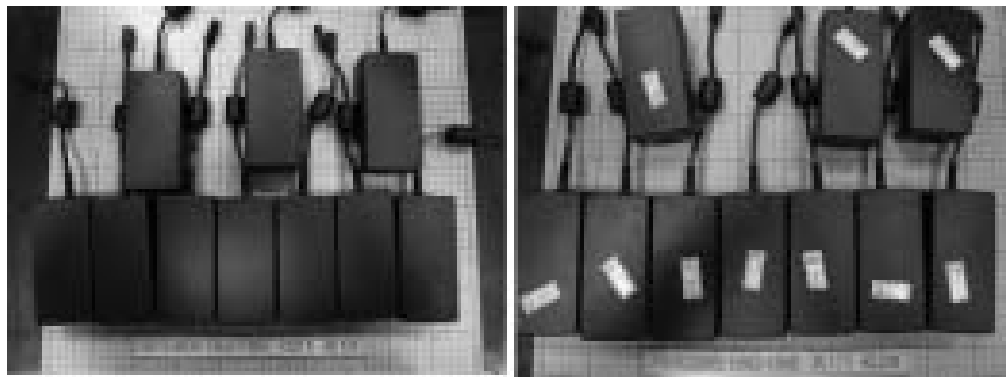


图 1 样品接收态外观照片

3.2 失效定位及测试过程

3.2.1 外观检查

拆开包装后,对送检的 10 个不良品及良品进行外

观检查,未发现电路板及元器件有击穿、破损等异常现象,具体分别如图 2~图 4 所示。

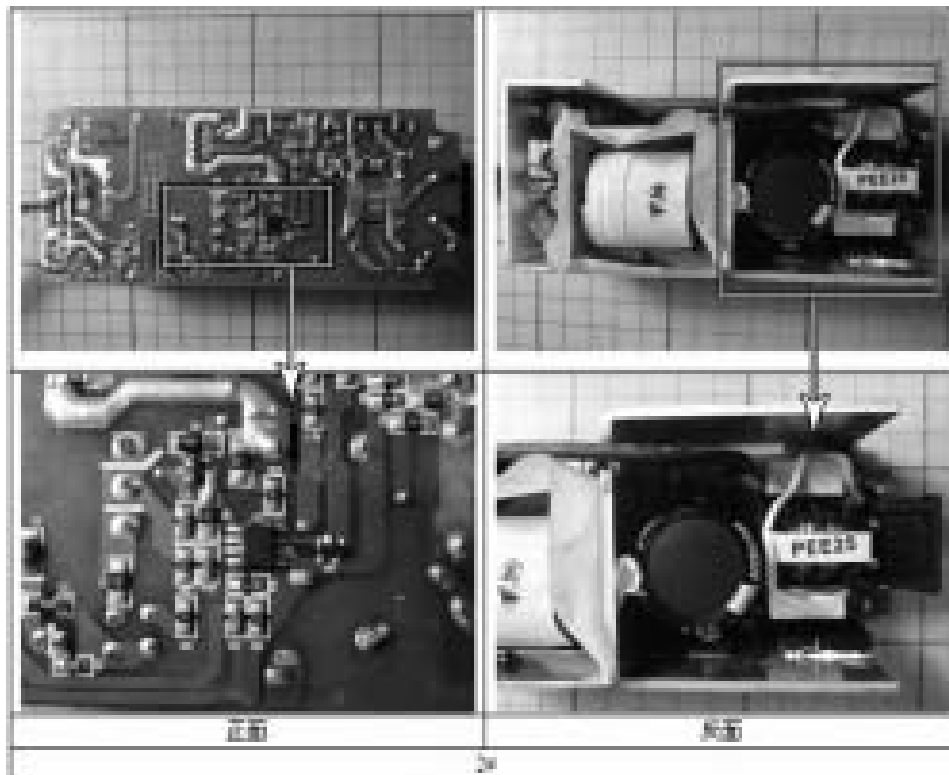


图 2 良品电路板组件外观检查代表性图片

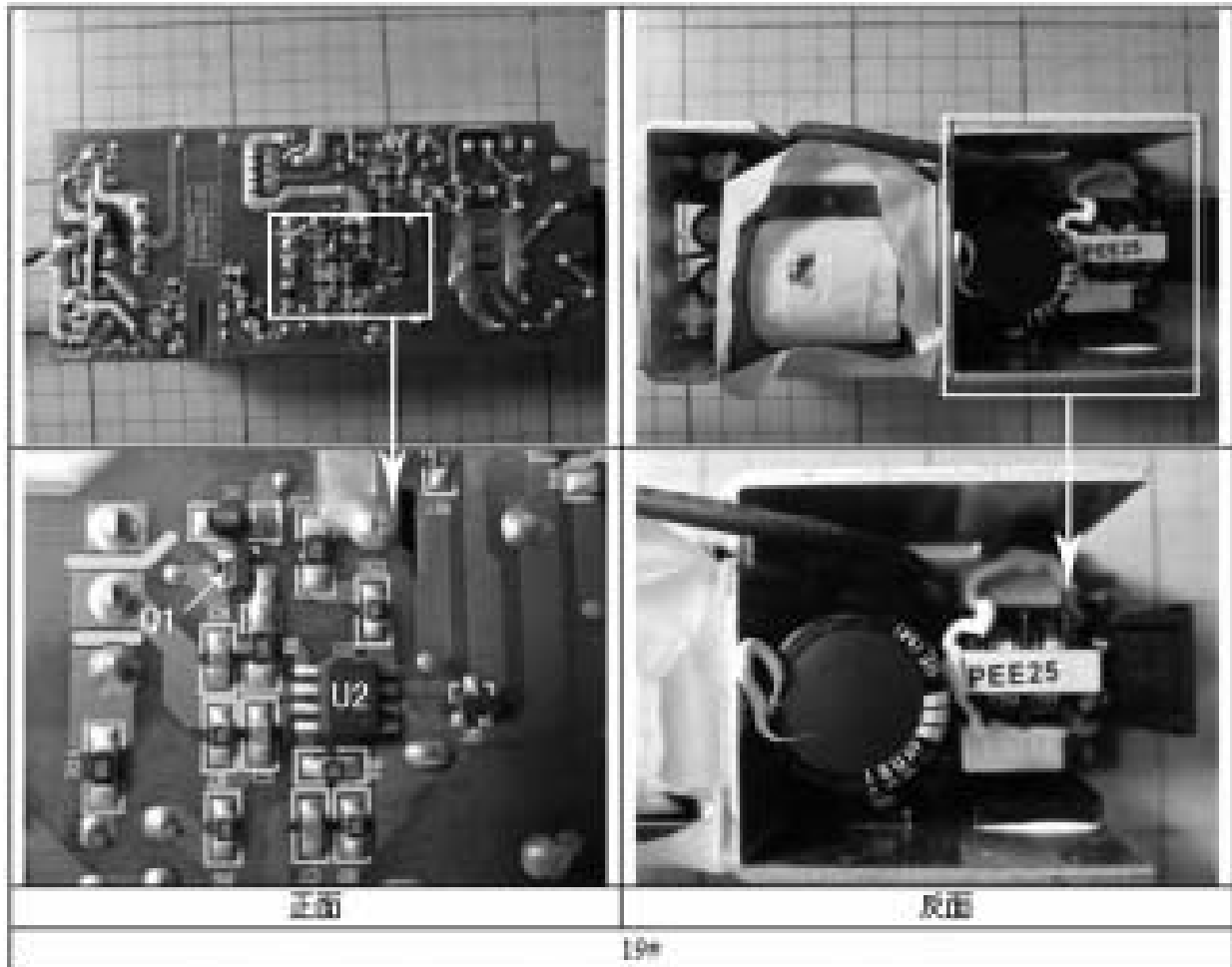


图 3 不良品电路板组件外观检查代表性图片

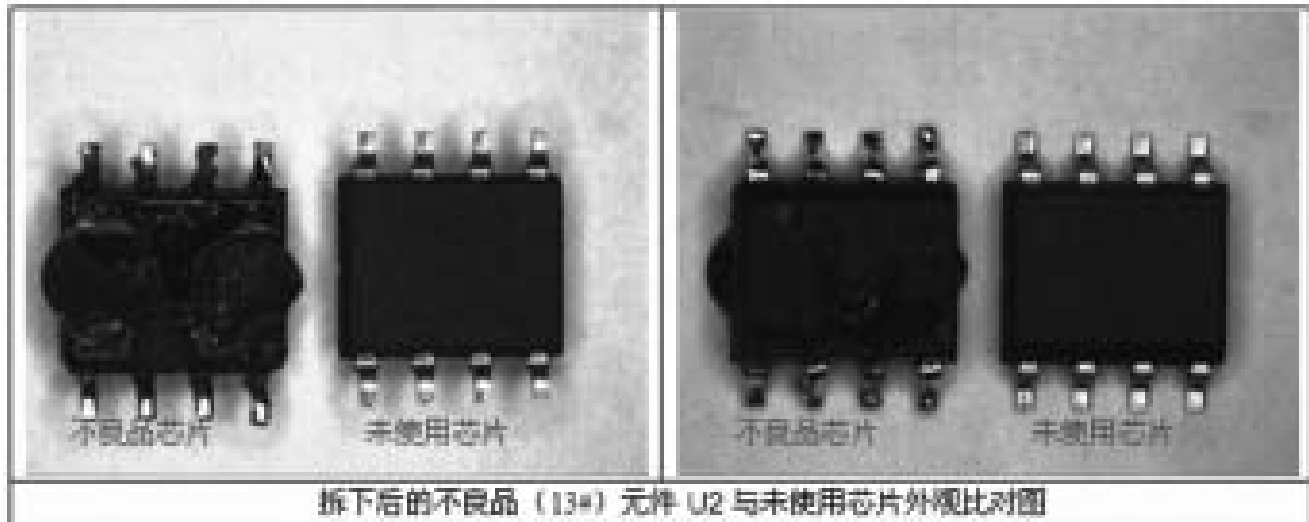


图 4 元件 U2 外观检查对比图

3.2.2 失效定位

3.2.2.1 高温与低温存储

将送检的不良品电源中的 5 个(11#、17#~20#)进行 80℃ 烘烤 1 小时后, 通电测试发现电源输出正常。

将送检的良品电源中的 3 个(4#~6#)进行 -40℃, 1

小时的低温储存试验, 试验后通电未发现电源失效。

3.2.2.2 电学测试

对良品和不良品进行电学测试, 测试发现不良品电源管理元件 U2 供电电压 Vcc 值偏低, 具体测试结果如表 1 所示。

表 1 元件 U2 Vcc 电压测试结果

样品	样品处理方式	Vcc 对地电压	输出电压
1#	未进行处理	12V	24V
11#	烘烤后	12V	24V
12#	未进行处理	2.4V	24V
13#	未进行处理	4~6.9V(电压不稳定)	0V
14#	未进行处理	4V 更换元件 U2 后 电压为 12V	0V
15#	未进行处理	1.9V	0V
	室温放置 4 天	12V	24V
16#	未进行处理	1.6~2.4V(电压不稳定)	0V
	室温放置 4 天	12V	24V
	酒精涂覆后	1 分钟后, 随着元件 U2 的 Vcc 电压值的不断升高, 达到 12V 后电压稳定	0V 变化至 24V
17#	烘烤后	12V	24V

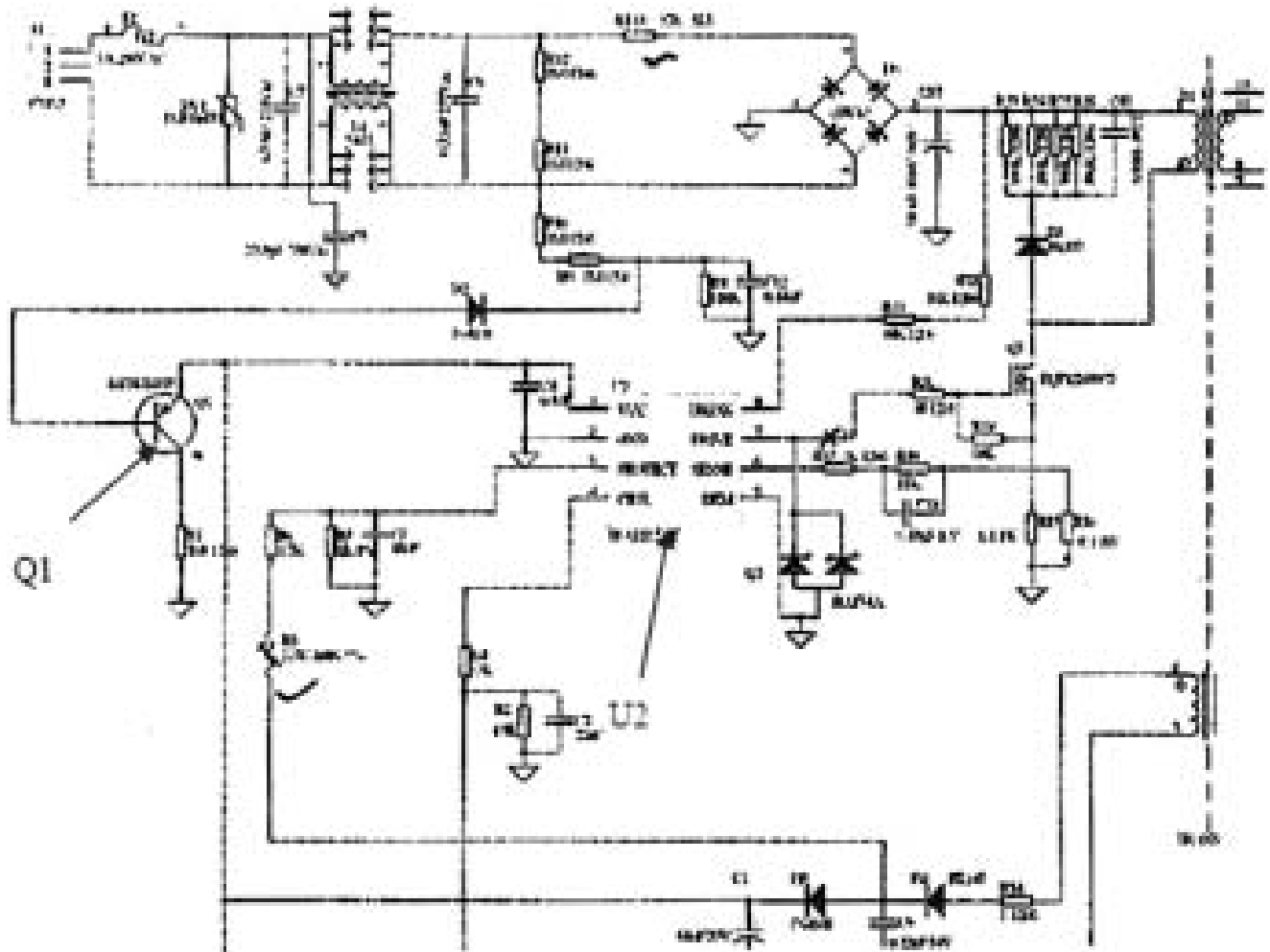


图 5 电源局部电路图

查电路图(如图 5 所示)可知,在启动电路上,三极管 Q1 以及与其集电极串联的电阻 R1、滤波电容 C4 失效都有可能引起芯片 Vcc 端电压值下降。检测过程未发现电阻 R1、滤波电容 C4 有异常。

将 14# 样品的元件 U2 拆下,用一个未使用过的 U2 芯片替换,样品输出电压恢复正常。

将 12# 样品的三极管 Q1 拆下,用一个未使用过的三极管替换,样品输出电压恢复正常。

将 13# 样品的三极管 Q1 拆下,用一个未使用过的三极管替换,样品无输出电压。接着再替换一个未使用过的元件 U2,样品电压输出恢复正常。

初步分析失效位置在三极管 Q1 以及元件 U2 上。

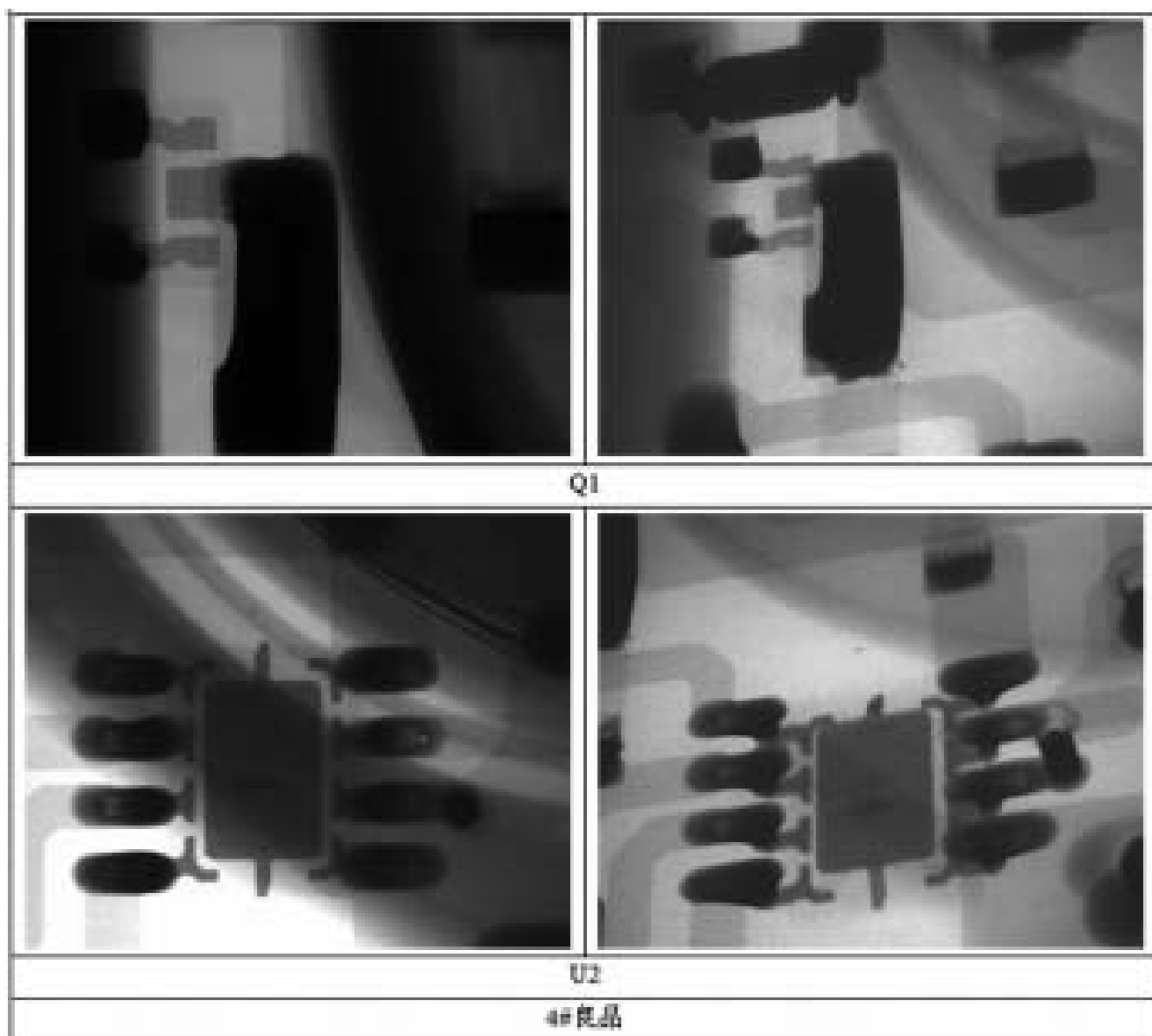
另外,分析过程发现,部分不良品(如 15、16#)在室温放置 4 天后,输出电压恢复正常。用酒精涂覆在 16#

样品元件 U2 表面后,样品无电压输出。但 1 分钟后,随着元件 U2 的 Vcc 电压值不断升高,达到 12V 后电压稳定下来。产品输出电压恢复正常。

用酒精涂覆在 19# 样品(烘烤后)三极管 Q1 表面后,样品无电压输出,再用未使用的三极管 Q1 更换,样品电压恢复正常。另外,去掉三极管 Q1,该样品仍能输出 24V 电压。仍选一良品电源,去掉其内的三极管 Q1 后电源仍能输出 24V 电压。

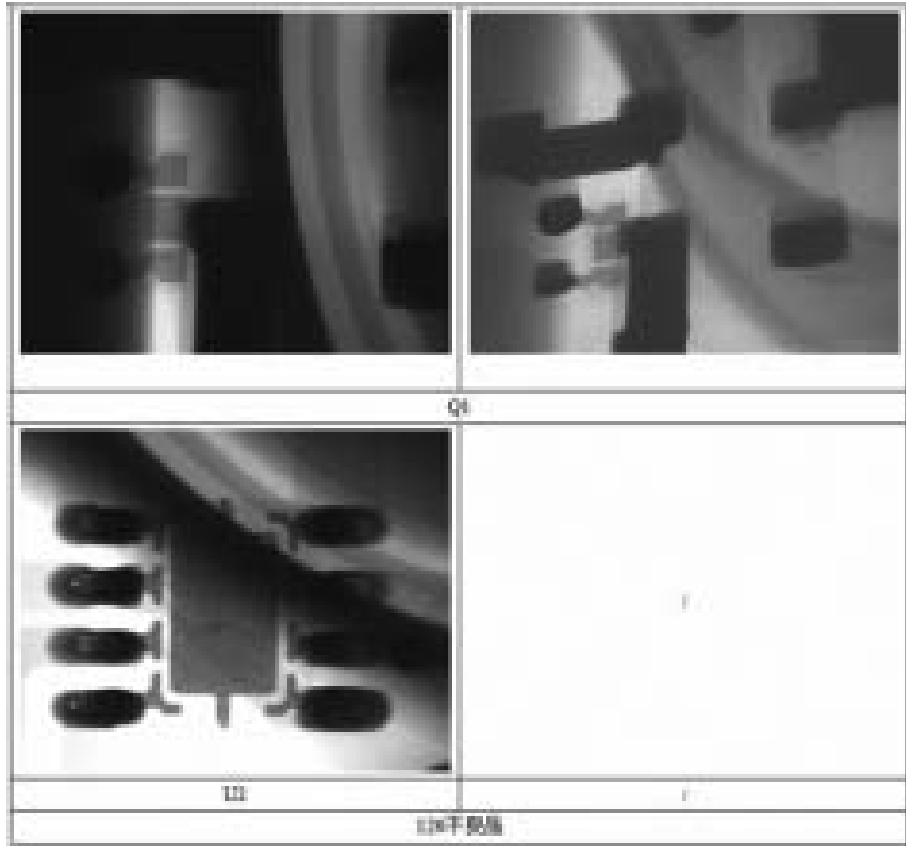
3.2.2.3 X-Ray 检查

X-Ray 重点检查了三极管 Q1、元件 U2 内部以及两者的引脚与电路板焊盘的焊接状况。检查过程发现,部分样品元件 U2 引脚焊点存在空洞,未发现其他异常状况。X-Ray 检查图片如图 6 所示。

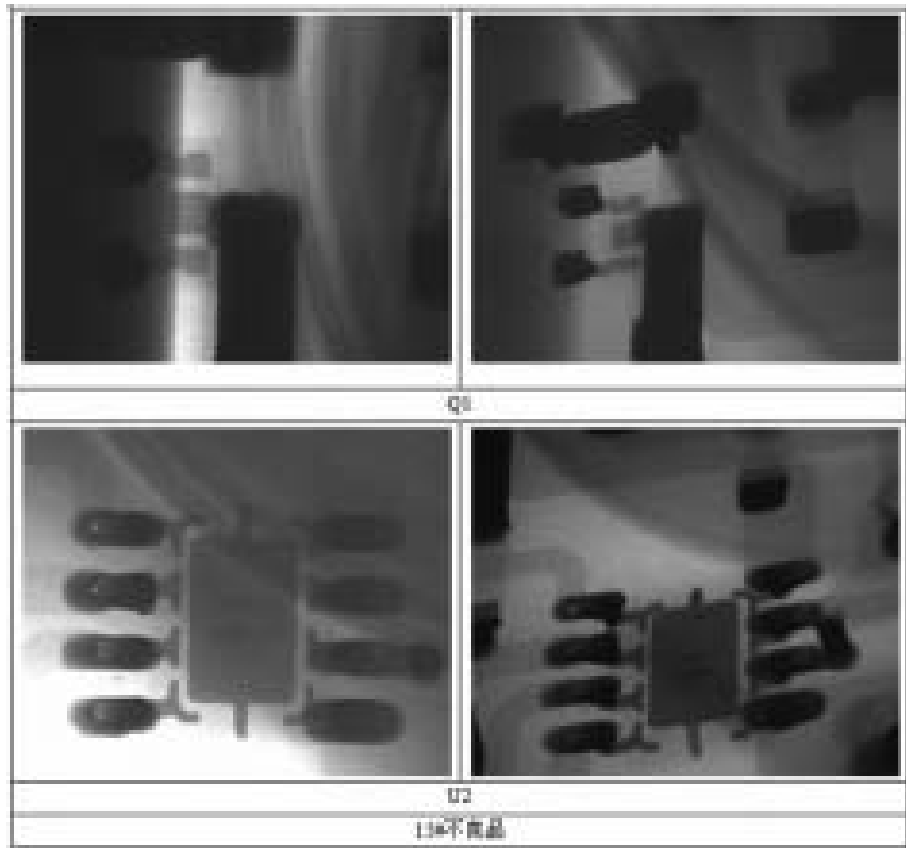


(a)

图 6 X-Ray 观察图片



(b)



(c)

图 6 X-Ray 观察图片

3.2.2.4 元件电学测试

将三极管 Q1 和元件 U2 从电路板上拆下后再对其进行电学测试。元件测试项目如表 2 所示。

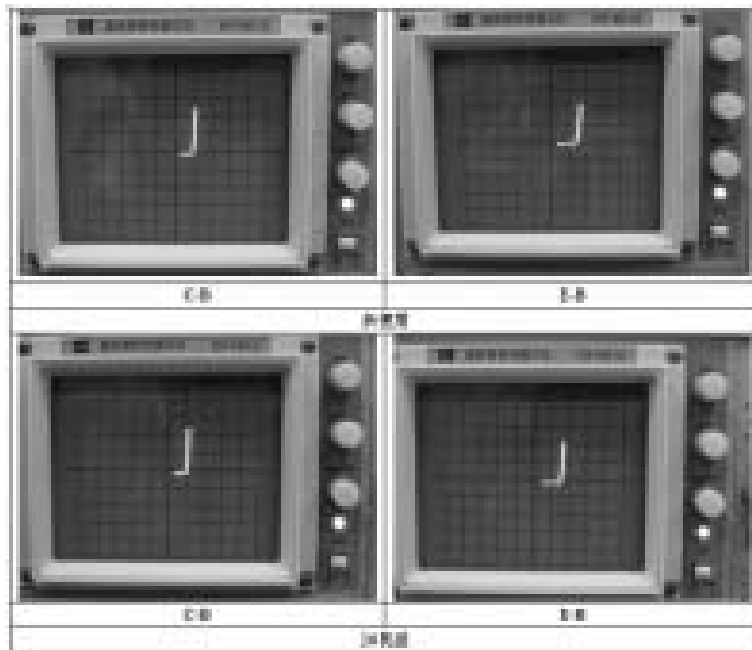
表 2 元件测试项目表

元件	测试项目
未使用过的三极管 Q1 ; 2#、12#、13#、19# 样品的 Q1	I/V 特性量测
未使用元件 U2 ; 13#、16#、17#、18# 样品元件 U2	关键功能测试

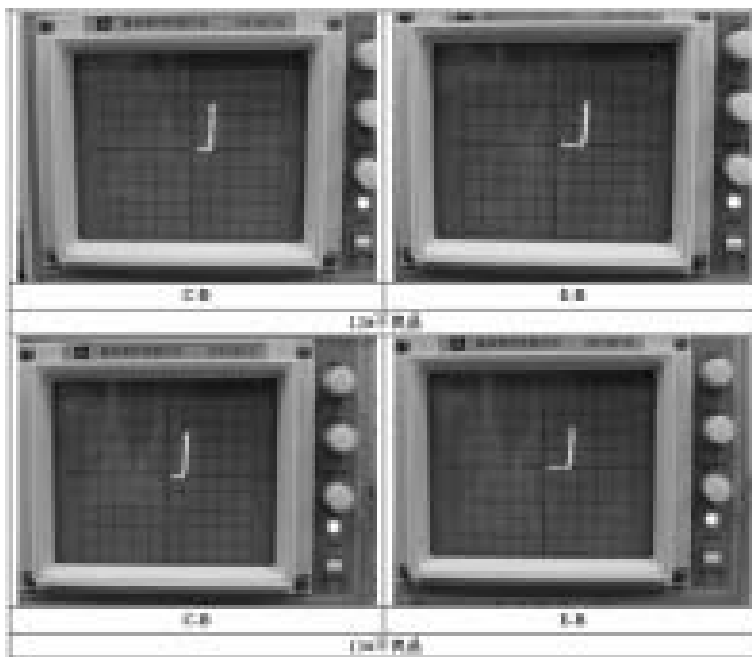
用图示仪对未使用过的三极管 Q1、良品上的三极管 Q1、不良品上的三极管 Q1 进行 I/V 特性量测,未发现不良品有异常现象。如图 7 所示。

参照元件 U2 的 datasheet 里的测试电路 (如图 8 所示), 对 13#、16#、17#、18# 样品元件 U2 进行电学测试,被测样品 Vcc 的值在 10.3V<Vstart<11.7V 范围内,芯片第 7 脚脉冲调制信号正常,测试电路电压输出正常。

电学测试未检测到三极管 Q1 以及元件 U2 电性异常现象。



(a)



(b)

图 7 三极管 I/V 电性量测图片

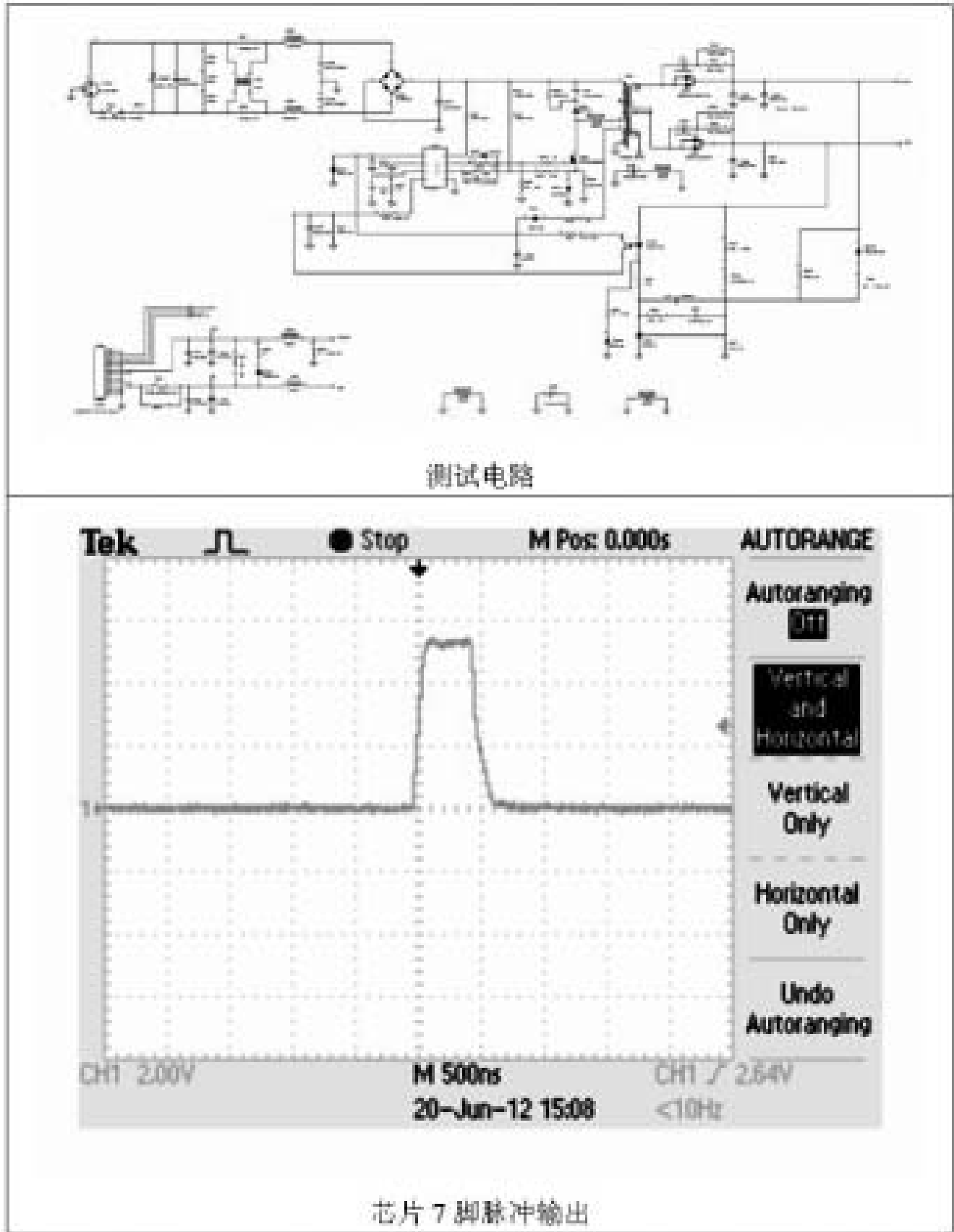


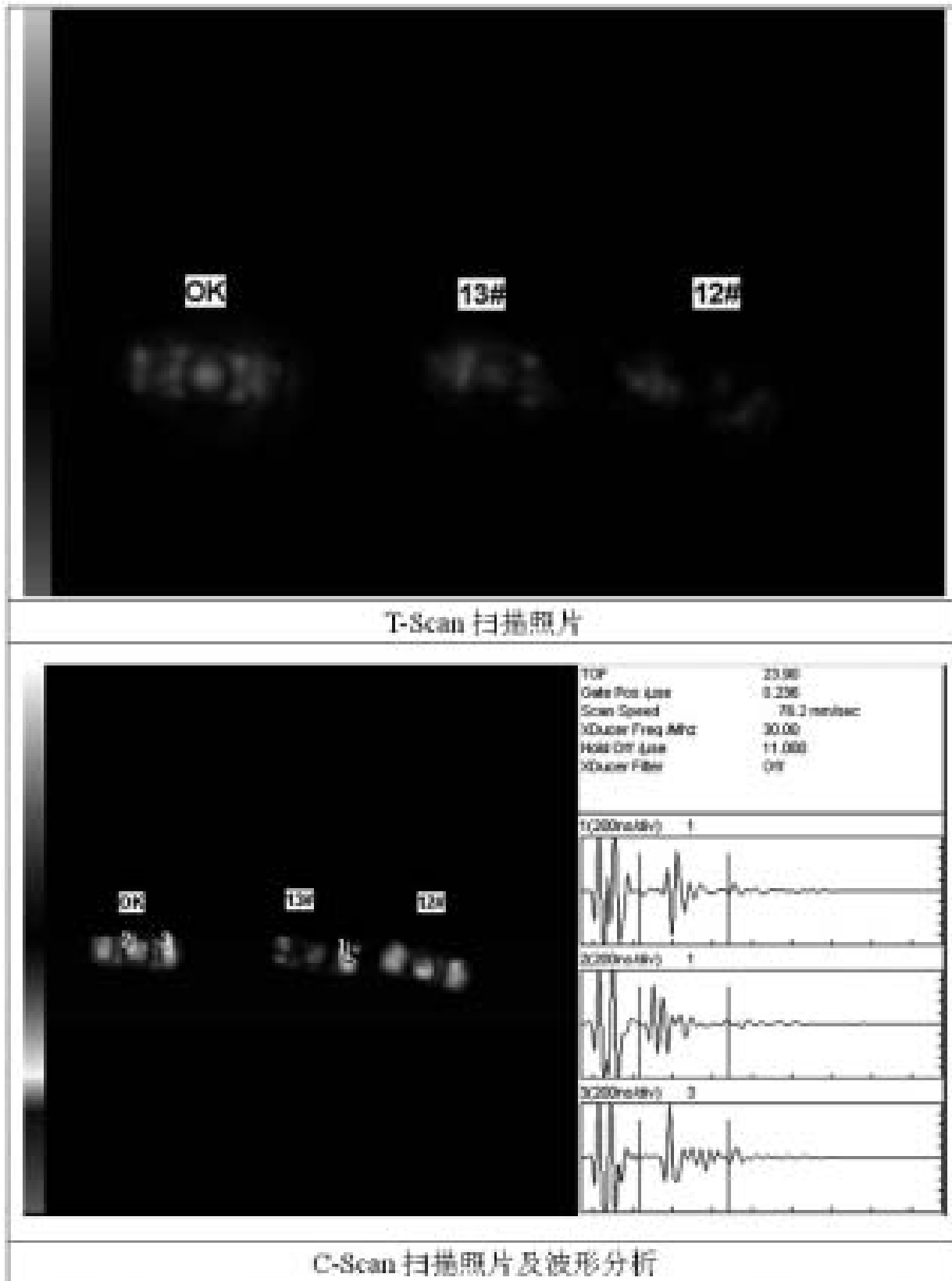
图 8 元件 U2 测试电路及脉冲输出信号图

3.2.2.5 超声波扫描显微镜分析^[1]

(1)三极管分析

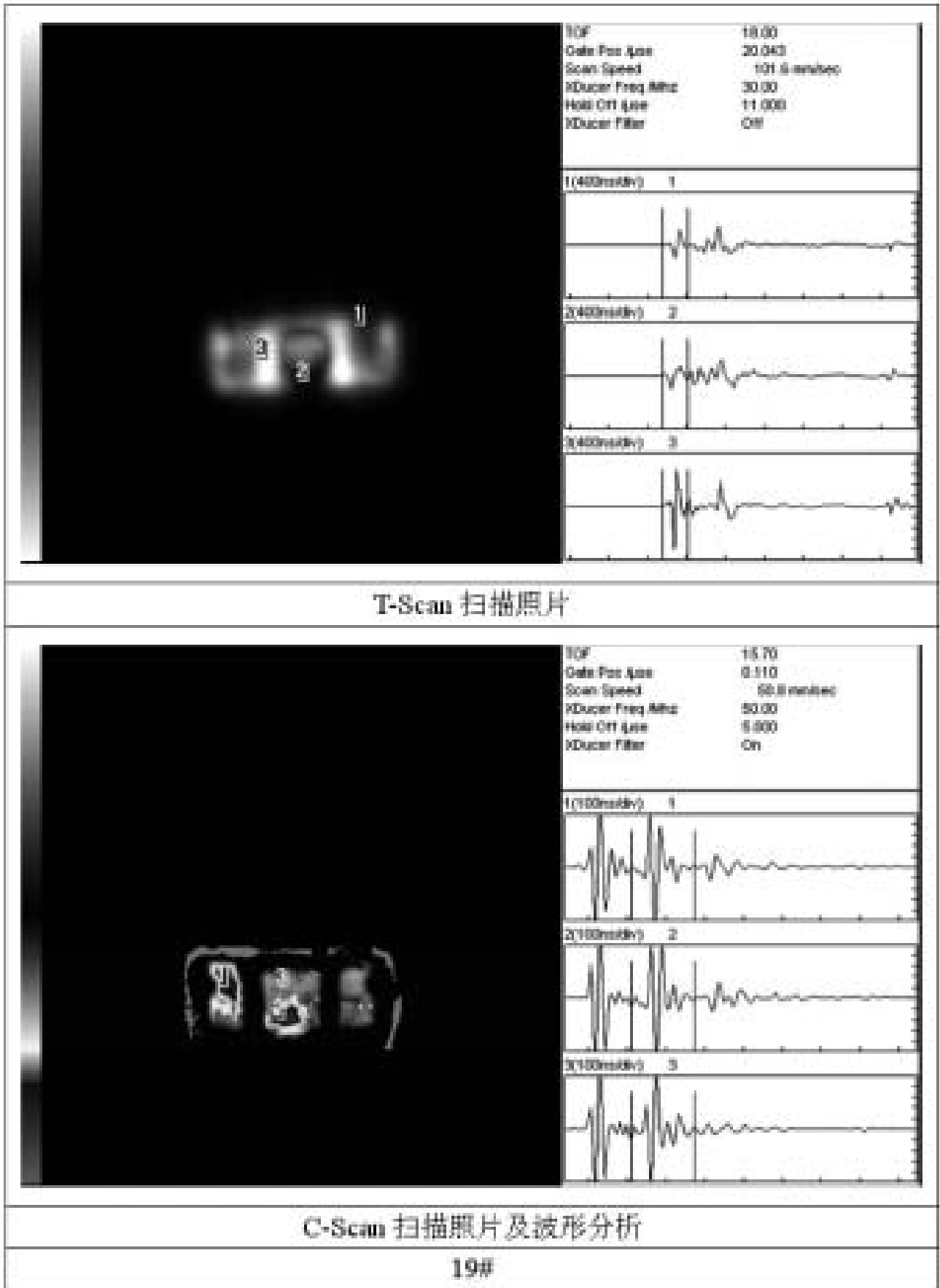
对未使用的三极管 Q1 6#、12#、13#、19# 样品的三

极管 Q1 进行超声波扫描显微镜观察分析,分析表明不良品 12#、13#、19# 样品内部存在分层现象。C-Scan 扫描发现部分样品内部分层发生在芯片表面 如图 9 所示。



(a)

图 9 三极管声学扫描显微镜检测图片



(b)

图 9 三极管声学扫描显微镜检测图片

(2)元件 U2 分析

对未使用元件 U2 6#、13#、16~18#、20# 样品的元件 U2 进行超声波扫描显微镜观察分析 ,T- Scan 模式扫描分析表明 6#、13#、16~18#、20# 样品芯片内部存在较明

显的分层现象。C- Scan 模式扫描分析发现大部分不良品内部分层发生在引脚与塑封材料界面以及铜基板与塑封材料界面。如图 10 所示。

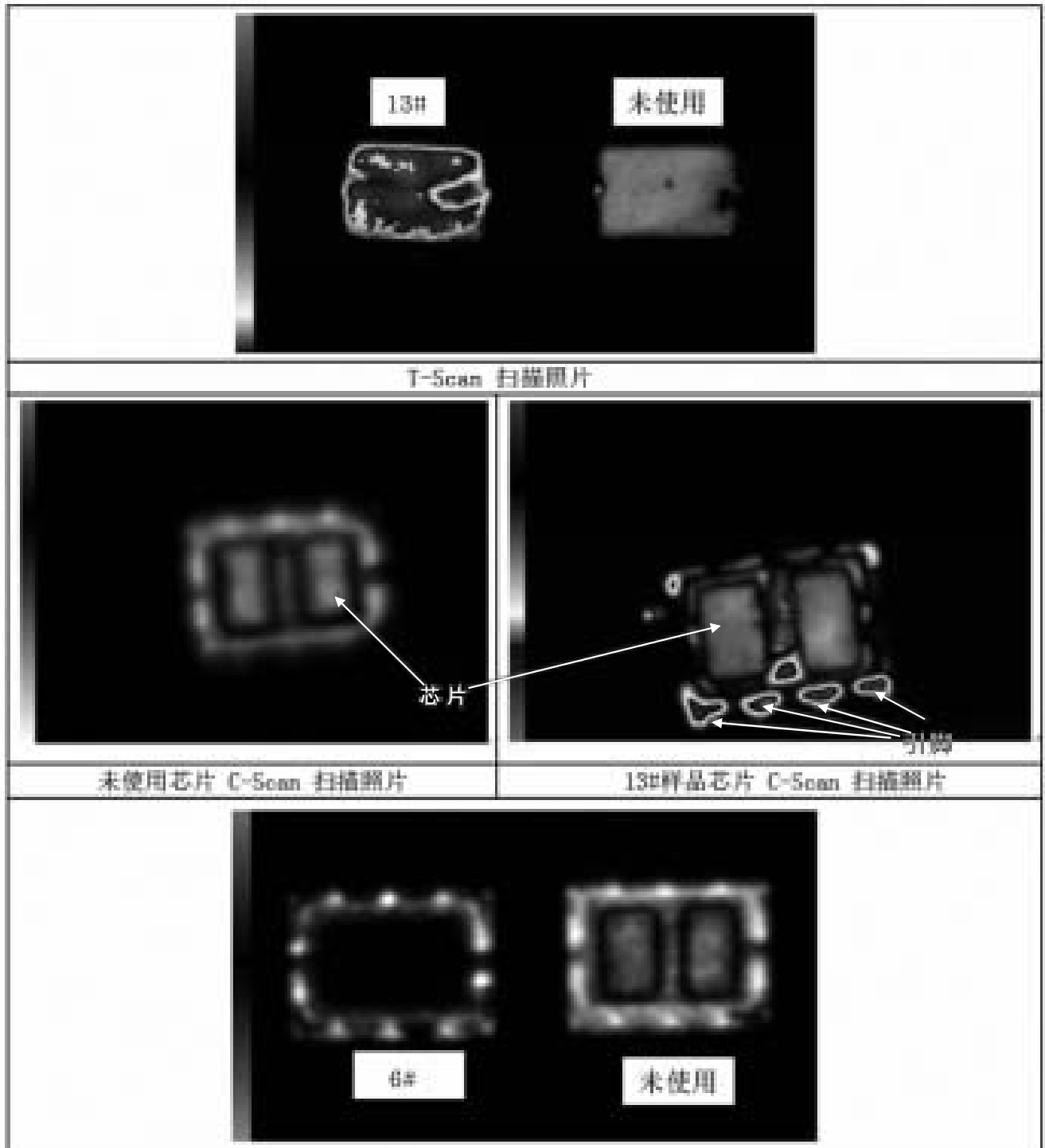


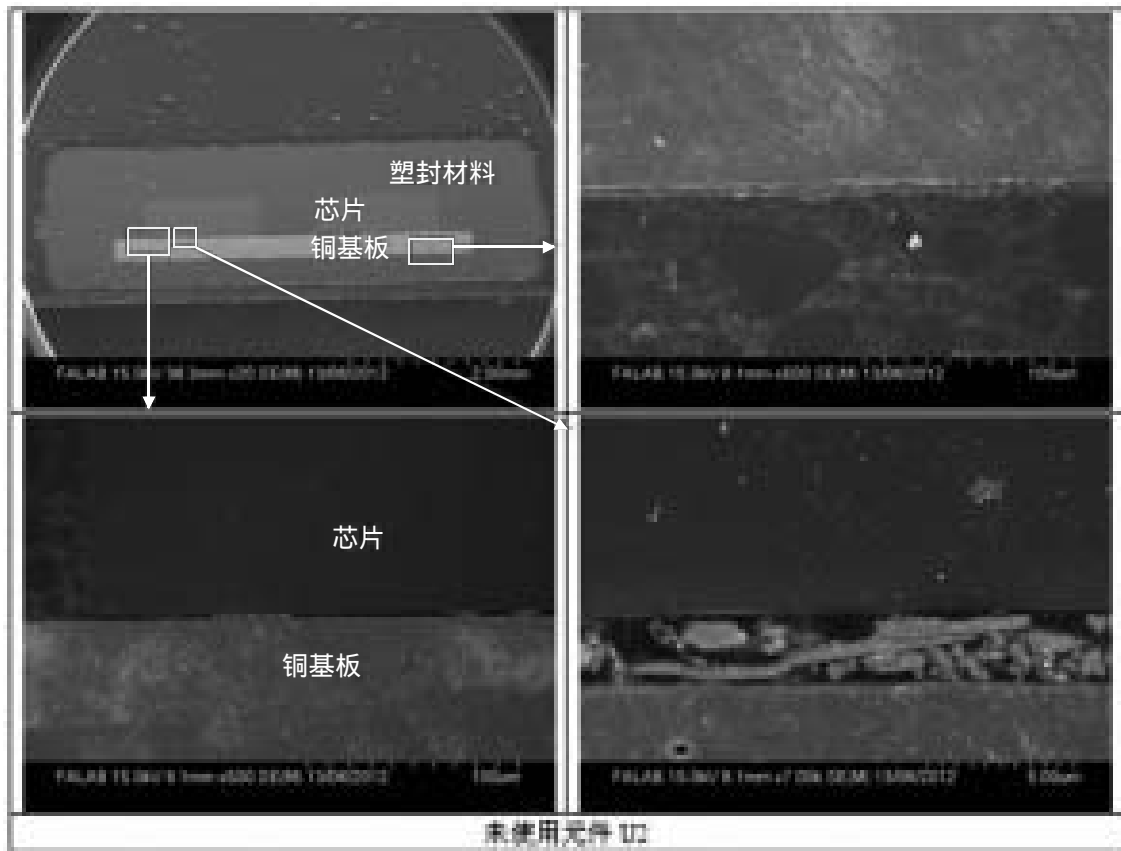
图 10 元件 U2 声学扫描显微镜检测图片

3.2.2.6 金相切片^[2]及扫描电镜观察^[3]

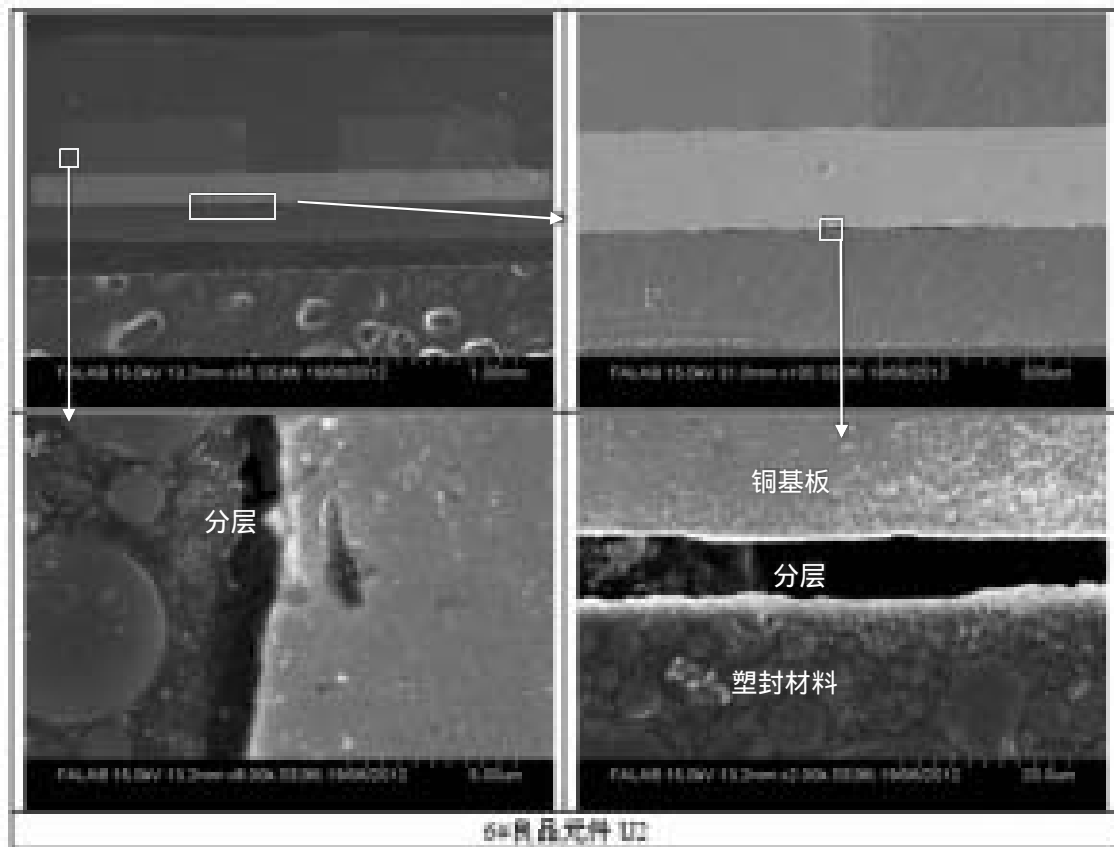
(1)元件 U2 金相切片^[2]

对未使用元件 U2 6#、13#、20# 样品的元件 U2 进行金相切片以及扫描电镜观察。观察发现良品与不良品

元件 U2 铜基板与塑封材料之间存在明显的分层现象，且发现不良品元件 U2 芯片表面存在分层现象。未发现未使用元件 U2 内部存在异常现象。如图 11 所示。

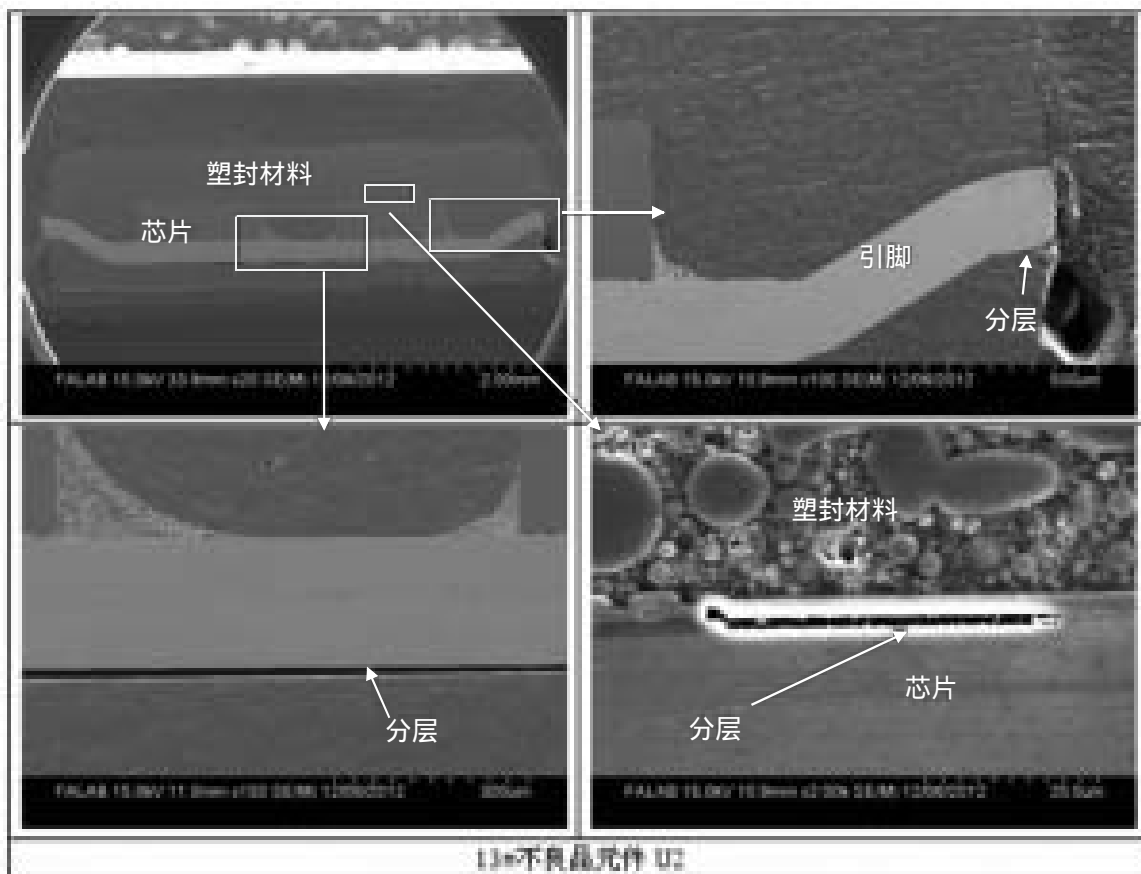


(a)

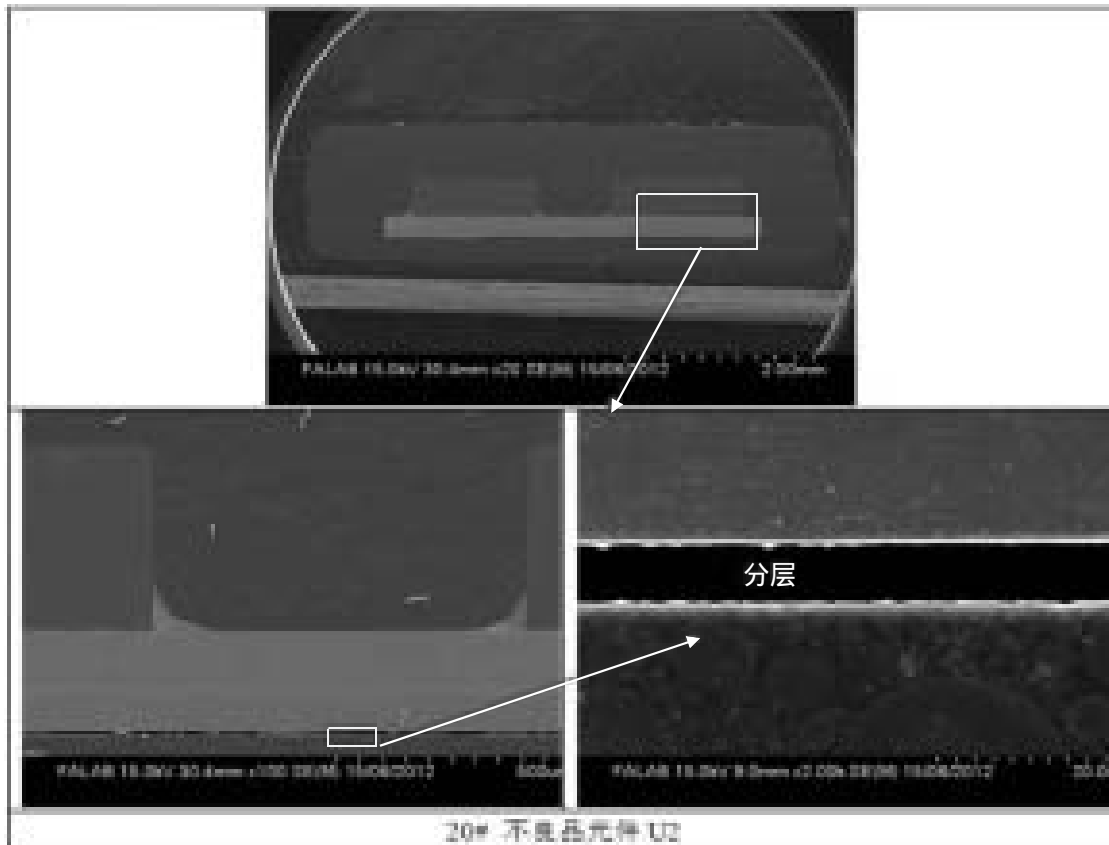


(b)

图 11 元件 U2 金相切片及扫描电镜分析图



(c)

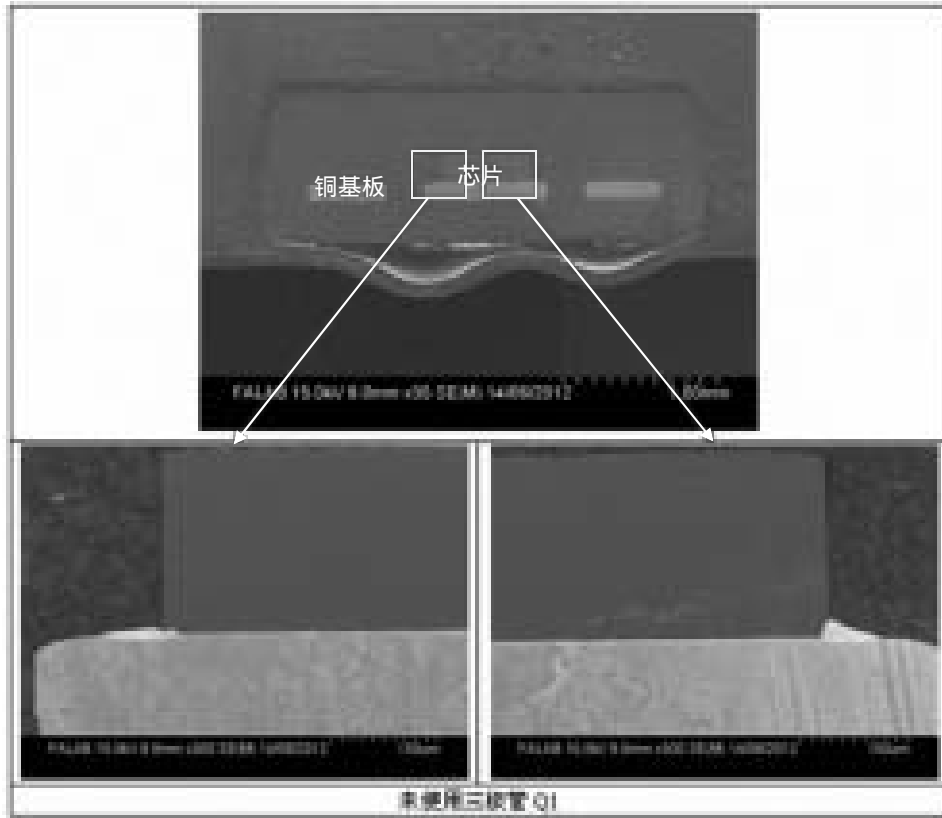


(d)

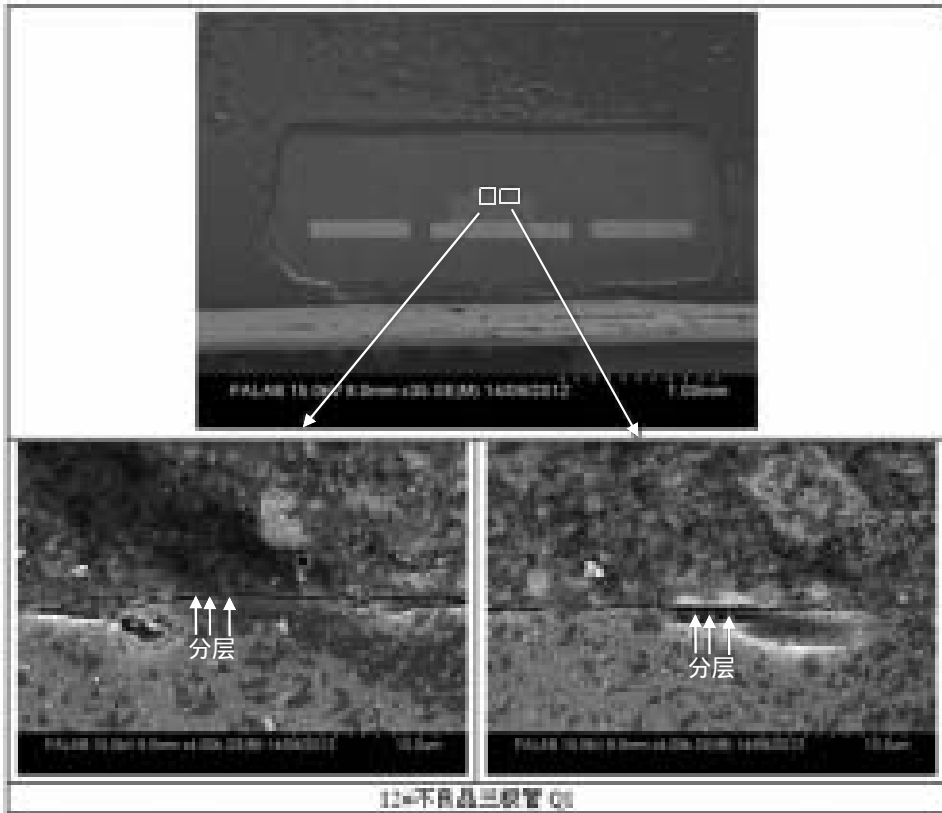
图 11 元件 U2 金相切片及扫描电镜分析图

(2)三极管 Q1 金相切片
对未使用三极管 Q1 及 12# 样品三极管 Q1 进行金

相切片以及扫描电镜观察。观察发现不良品内芯片与塑封材料之间存在明显的分层现象,如图 12 所示。



(a)

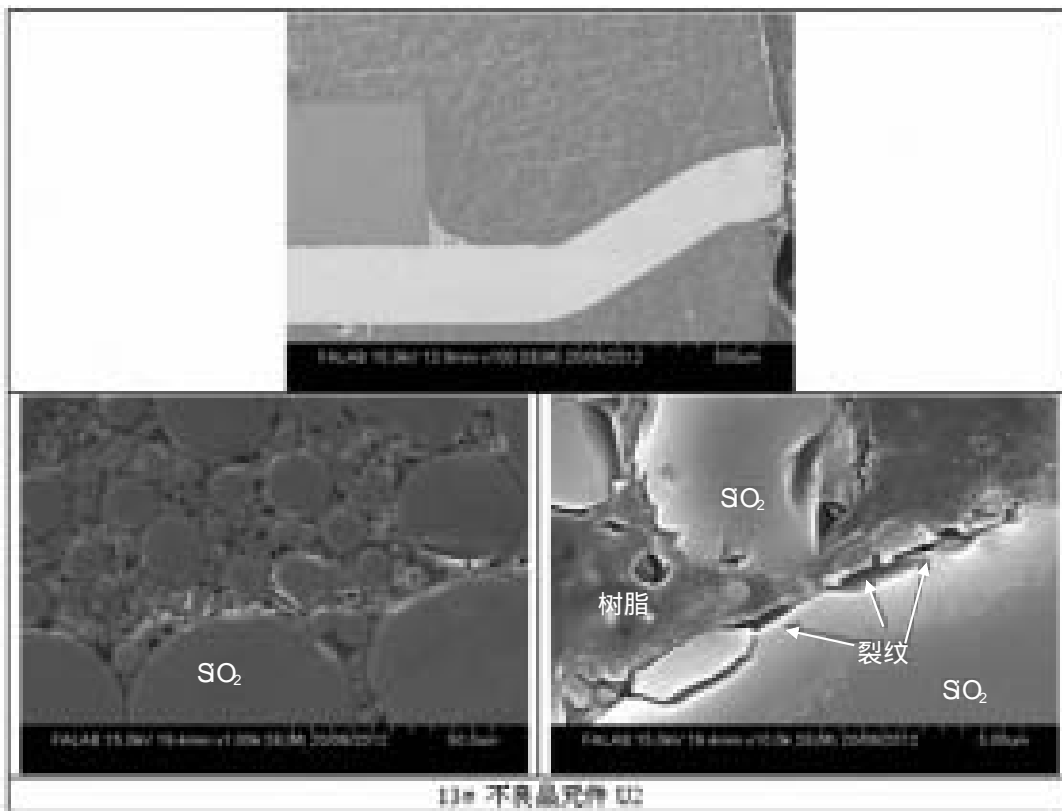


(b)

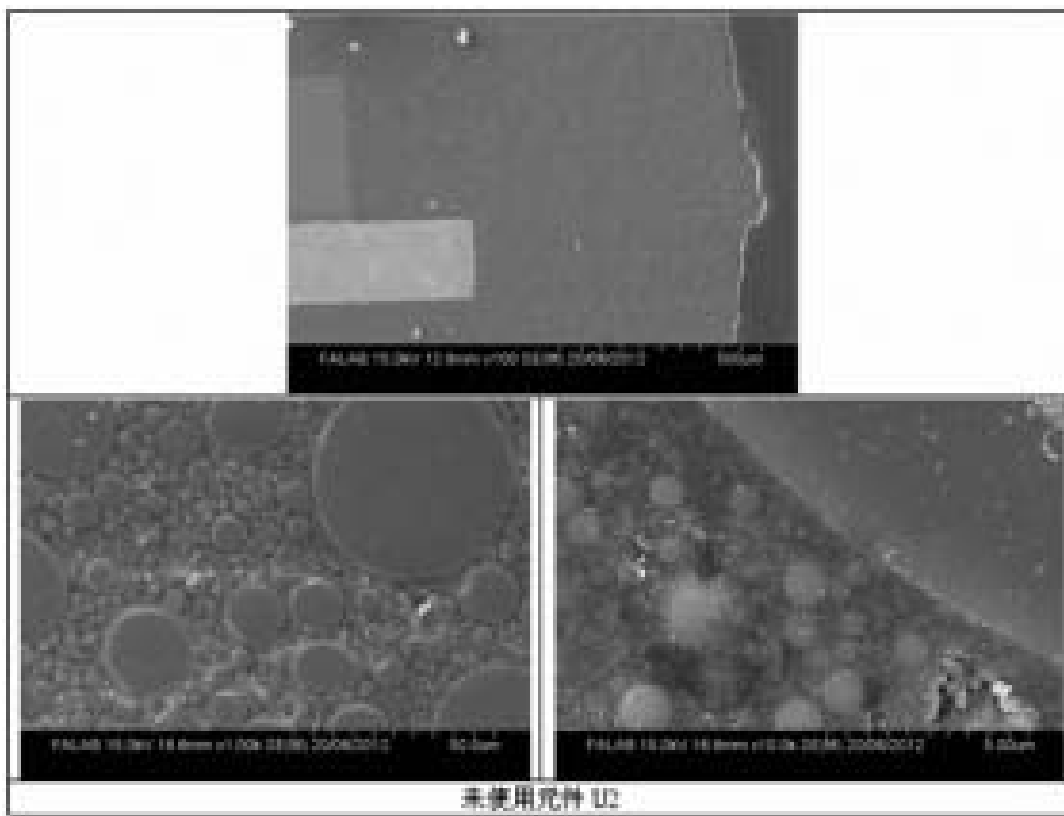
图 12 三极管金相切片及扫描电镜分析图

(3) 塑料材料显微观察
比对送检样品元件 U2 塑料材料微观形貌观察发

现 SO_2 填料与树脂之间存在较明显的裂纹，这些裂纹可能在湿热条件下形成水汽向内扩散的通道。如图 13 所示。

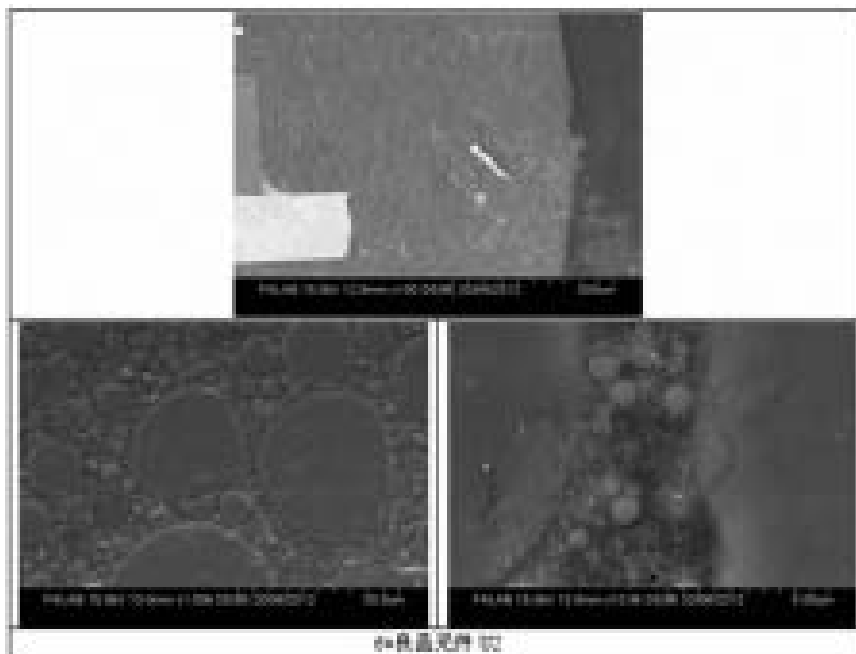


(a)



(b)

图 13 送检样品元件 U2 塑料材料微观形貌图



(c)

图 13 送检样品元件 U2 塑封材料微观形貌图

3.2.2.7 失效验证

将酒精直接涂覆在良品(1#)元件 U2 上,通电后发
现约有 1~2 分钟无输出电压,之后电压输出恢复正常。

4 综合分析

部分失效品分析结论如表 3 所示。

表 3 部分样品分析结论汇总

失效样品编号	检测结论
012	三极管 Q1 内部晶片与塑封材料之间发现有分层现象,更换三极管 Q1 后样品恢复正常,未做进一步分析
013	元件 U2 供电电压 V_{CC} 偏低,其内部铜基板与塑封材料之间存在较明显的分层现象,且芯片表面存在分层现象。塑封材料内部 SiO_2 填料与树脂之间也发现有裂纹
014	元件 U2 供电电压 V_{CC} 偏低,更换元件 U2 后样品恢复正常,未做进一步分析
019	烘烤后恢复正常,但用酒精涂覆在三极管 Q1 上后失效重现。更换三极管 Q1 后,样品恢复正常。声学扫描分析发现三极管 Q1 内部存在分层现象,未做进一步分析
020	元件 U2 供电电压 V_{CC} 偏低,其内部铜基板与塑封材料之间存在较明显的分层现象,且芯片表面存在分层现象

比未使用三极管 Q1 以及良品、不良品三极管 Q1 I/V 特性量测未发现三极管电性异常,未使用三极管 Q1 经声学扫描观察及破坏性物理分析也未发现内部有异常。基于以上数据,我们推断三极管 Q1 在装配前无异常。同时,电学测试及破坏性物理分析也表明,元件 U2 在装配前无异常。

当三极管 Q1 吸潮后暴露在回流焊接期间较高的温度环境下,其内部的水汽会产生足够的蒸汽压力导致器件内部界面分层。建议对湿度敏感器件(Q1, U2)做相应干燥包装以及防潮湿储存处理。

三极管 Q1 在电路上起低电压保护作用,当 Q1 导通,元件 U2 的 V_{CC} 便会降低,从而导致电源无输出。在正常情况下,去掉三极管 Q1,电源仍能正常工作。

参考文献:

- [1]IPC/JEDEC J-STD-035-1999.非气密性封装元件的声学显微镜检查方法[S].
- [2]IPC-TM-650-2004 2.1.1.微切块手工操作方法[S].
- [3]GB/T 17359-1998.电子探针和扫描电镜 X 射线能谱定量分析方法通则[S].