

文章编号:1007-2780(2014)06-0906-05

TDICCD 相机成像系统片式电阻失效分析

曲利新 *

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:为了判断 TDICCD 相机成像系统在温度循环试验中出现的故障原因,通过故障模式影响及危害性分析,建立了故障树。经排查分析和测试,判断故障部位是地址线表面贴装片式电阻。元器件可靠性中心通过电测和 DPA,对该片式电阻进行了失效分析。检查结果表明,该片式电阻是由使用过程中的异常外力造成片式电阻器端电极局部脱落,并排除了该器件存在批次性缺陷的可能。异常外力的来源是电装操作人员在返修过程中焊接时间过长,热应力导致片式电阻器端电极局部脱落。改进措施为严格控制片式电阻焊接时间小于 2 s。该故障定位准确,机理清楚,经试验验证,措施有效。

关键词:失效分析;电阻失效;故障树;端电极脱离

中图分类号:TV19 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142906.0906

Failure analysis for chip resistor of TDICCD camera imaging system

QU Li-xin *

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: In order to determine the fault reason of TDI CCD camera imaging system during temperature cycle experimentation, the failure tree is established through fault mode effect and harm analysis. Through detail checking and testing, the fault is located in the region where the surface mount resistor is mounted for address. The failure analysis of this chip resistor is done in the components reliability center through electric test and DPA. Checking results show that exceptional stress causes terminal break off of the resistor during operation. The lot default probability is also precluded. The exceptional stress is derived from long time soldering during the repair by the soldering people. This thermal stress causes the terminal break off of the resistor. The fault is located correctly. The improved measure is limiting the soldering time of chip resistors strictly no more than 2 s. The principle is also clear. The solution is effective after experimental validation.

Key words: failure analysis; failure of resistor; failure tree; terminal break off of resistor

收稿日期:2014-01-06;修订日期:2014-02-11.

基金项目:国家自然科学基金(No. 61036015)

* 通信联系人 E-mail: qulx2007@163.com

1 引言

空间电子设备由于工作环境恶劣、不具备在轨维修条件,对产品质量与可靠性的要求高。为提高产品的可靠性,根据电子产品失效机理,在研制、生产阶段,对电子产品施加一定的环境应力进行筛选,将其内部的潜在缺陷加速变成故障,就必须进行一系列的环境适应性试验^[1-2],以便检验产品质量,提前发现并剔除有缺陷和损伤的元器件。对有缺陷的元器件要进行失效分析,失效分析通常是指对失效产品为寻找失效原因和预防措施所进行的一切技术活动,它的任务是既要揭示产品功能失效的模式和原因,弄清失效机理和规律,又要找出纠正和预防的措施^[3-5]。

2 故障模式及影响分析

某型号 TDICCD 相机成像系统电路调试正常后进行热循环试验,在第 6 个循环测试时,成像系统在高温段运行正常,但在低温(−45℃)时设备运行不正常,出现不断复位的现象。发现问题后立即停止试验,对该问题进行分析^[6-7]。

在分析排查问题过程中,TDICCD 相机成像系统工作情况逐渐恶化。最初设备在低温 −45℃ 下运行不正常,后来设备在 −40℃ 下运行亦不正常,最后设备在常温下也不能正常工作。在常温下用仿真器对设备进行排故时,发现地址线不正常,经测试确认 CPU 地址线 A<7>不正常。见图 1。

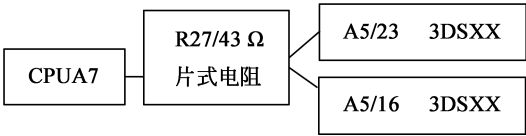


图 1 CPU 地址管脚 A<7>至 3DSR 地址管脚 A<5>电路

Fig.1 Schematic of CPU address pin A<7> to 3DSR address pin A<5>

经测试确认 CPU 地址线 A<7>不正常,对 CPU 地址线 A<7>路径进行进一步分析,建立相机成像系统问题分析故障树 1,如图 2 所示。

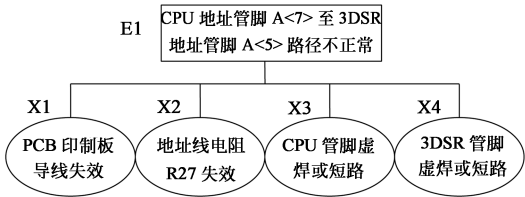


图 2 相机成像系统问题分析故障树 1

Fig.2 Failure tree 1 of camera imaging system

对产生故障的顶事件 E1 的所有可能性进行仔细分析和排查:

(1) 底事件 X1 分析

在 6 倍放大镜下仔细观察 PCB 印制板导线,印制板导线均完好,未发现异常;再使用万用表对相应 PCB 印制板导线进行测量,导通正常,底事件 X1 印制板导线失效排除。

(2) 底事件 X2 分析

使用万用表对 CPU 管脚 A<7>和 3DSR 管脚 A<5>间的电阻进行测量,其阻值为 1.5 MΩ。而设计值为 43 Ω。因此底事件 X2 地址线电阻 R27 失效不能被排除,疑为故障点。

(3) 底事件 X3 分析

使用 6 倍放大镜对 CPU 管脚 A<7>进行目测,未发现虚焊或短路;使用万用表对 CPU 的管脚 A<7>同其周围管脚和信号地进行测量,未发现短路。底事件 X3 管脚虚焊排除。

(4) 底事件 X4 分析

使用放大镜对 3DSR 管脚 A<5>进行目测,未发现虚焊或短路;使用万用表对 3DSR 的管脚 A<5>同其周围管脚和信号地进行测量,未发现短路。底事件 X4 管脚虚焊排除。

用电烙铁将地址线电阻 R27(43 Ω)解焊,再用万用表在试验台对其进行测试,该片式电阻阻值大于 20 MΩ,呈现为断路状态。故此判定为此电阻失效。

为进一步验证此判断,设计师由元器件库房出库 1 只二次筛选检验合格的同型号、同生产厂家的 43 Ω 片式电阻,电装人员将其焊接到 R27 位置上并清洁干净后,设计师用万用表进行静态测试,其阻值为 43 Ω,呈现为正常状态;通电测试系统正常。

3 失效模式及影响分析

3.1 失效分析

失效分析是通过失效器件进行各种测试和

物理、化学、金相试验,确定器件失效的形式(失效模式),分析造成器件失效的物理和化学过程(失效机理),寻找器件失效的原因,制订纠正和改进措施^[8-9]。

DPA(Destructive Physical Analysis,破坏性物理分析),就是失效分析的一种重要方法,其目的是利用物理和化学的方法和手段来确定产品批次是否存在没有显露出来的设计、材料和加工缺陷。当发现明显的重大缺陷时,通常表明制造商在生产过程中失控,该批次需要更换^[10]。

SEM(Scanning Electron Microscopy,扫描电子显微镜)是 DPA 的一种仪器,能将光学显微镜的放大倍数扩展到几万倍。当失效分析时,具有优良的异常点放大能力。

为揭示片式电阻失效的模式和原因,弄清失效机理和规律,找出纠正和预防的措施,将该片式电阻 R27(43 Ω)和同厂家同批次的未使用 43 Ω 电阻 200 只送北京元器件可靠性中心进行失效分析。

可靠性中心首先对失效片式电阻进行外部目检,即用 10 放大镜对电阻进行外观检查,未发现异常;其次用万用表进行阻值测量,仪表显示为开路状态;第三采用 SEM 对片式电阻进行仔细检查,尤其对两个端电极的连接状态进行了检查,发现该电阻器正面的端电极局部脱落,见图 3。

对同批次未使用的 200 只片式电阻开展了如下工作:

- (1) 外观检查:用 10 放大镜检查,未见异常;
- (2) 常温初测,阻值满足要求;
- (3) 高温贮存+125 ℃, 96 h;
- (4) 温度冲击-55 ℃~+125 ℃, 5 次;
- (5) 常温终测,阻值满足要求,未见异常;
- (6) 外观检查,未见异常;
- (7) 用扫描电子显微镜(SEM)随机抽取检查 10 只,片式电阻端电极均正常。

所以,可靠性中心通过试验和分析得出如下结论:

- (1) 失效电阻器表面未见异常;
- (2) 电测表明该失效电阻器开路;
- (3) 该失效电阻器开路是由于电阻器正面的端电极局部脱落所致;
- (4) 使用过程中的异常外力造成失效电阻器端电极局部脱落。

(5) 同批次未使用的 200 只片式电阻通过试验验证,抽检 10 只进行 SEM 分析,确定同批次片式电阻并无类问题,因此排除了该电阻失效为生产厂家批次性缺陷的可能性。

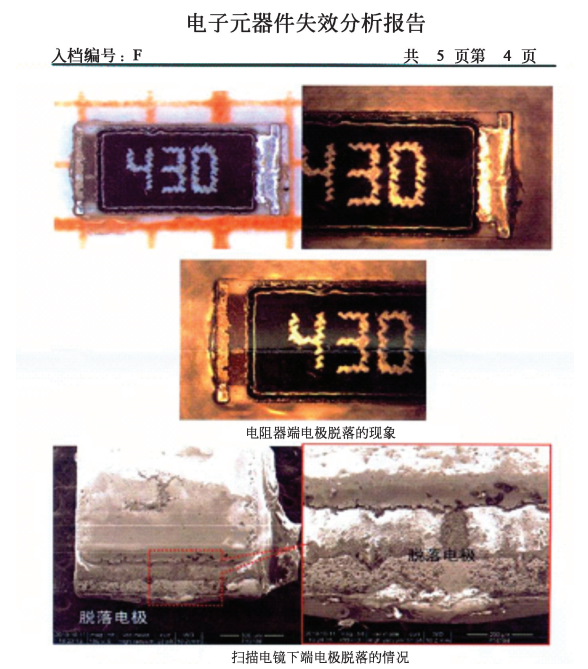


图 3 失效电阻照片
Fig. 3 Photo of failure resistor

3.2 故障定位

根据元器件可靠性中心分析,对片式电阻可能受异常外力环节进行进一步分析排查,建立电阻失效问题分析故障树 2,如图 4 所示。对产生顶事件 E2 的所有可能性进行仔细分析和排查:

(1) 底事件 X1 分析

相机成像系统研制过程中的转运是采用专用转运箱专人转运的^[11],在转运过程中未发生设备(单板)磕碰现象,因此底事件 X1 被排除。

(2) 底事件 X2 分析

该片式电阻为 CPU 管脚 A<7>同 3DSR 管脚 A<5>间的电阻,在其失效前未采用万用表或示波器等仪器测试过,不存在万用表或示波器等仪器的表笔对该电阻的外力作用。由失效分析报告分析图片可以看出,端电极处并未有戳的痕迹。在调试测试过程中,调试测试人员双人双岗,未发生过磕碰现象。因此底事件 X2 被排除。

(3) 底事件 X3 分析

该片式电阻失效是在设备进行温度循环试验

时发现的,之前设备还经过力学试验和 5 个循环的高低温试验。该电阻在试验过程中所受的力为正常的试验外力,并不属于异常外力。电阻若在试验之前未受到其他异常外力,在试验过程中是会造成损坏的。因此电阻失效是由于在试验前受到异常外力作用,在试验过程中受到振动及高低温交变的试验外力使情况恶化而表现出断路失效。底事件 X3 可排除。

(4) 焊装过程 E3 底事件 X4 分析

相机成像电路的片式电阻均采用 SMT 热风回流焊焊装,焊装工艺经过一系列工艺鉴定试验,形成相应的工艺规范。片式电阻焊坏的原因多是由于电阻局部温度过高,时间过长导致。SMT 焊接工艺自动生产程度高,焊点合格率高,焊出的产品一致性好,控温精度高($\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$),并且同批次其它元器件都未出现问题。因此 SMT 焊装不可能

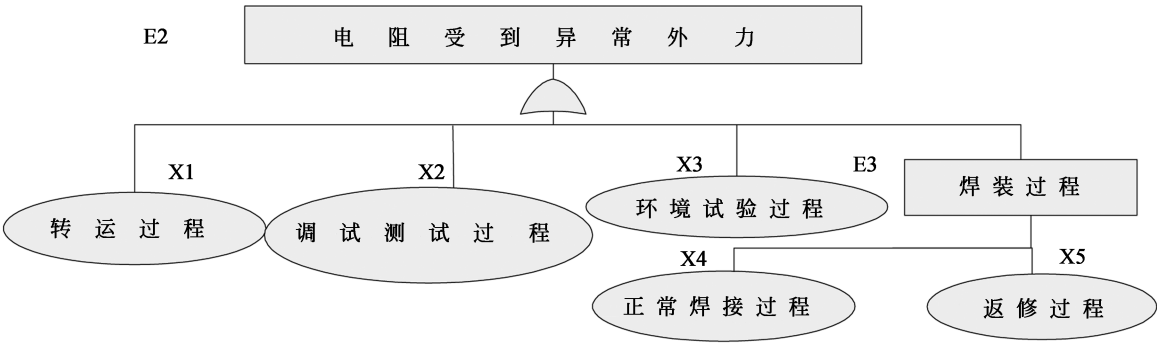


图 4 片式电阻失效问题分析故障树 2

Fig. 4 Failure tree 2 of fault problem analysis of chip resistor

将导致该电阻损坏。底事件 X4 可排除。

(5) 焊装过程 E3 底事件 X5 分析

经检查检验记录,该电阻经 SMT 焊装完成后由于器件在焊盘上有旋转偏差而由电装操作人员返修过。电装操作人员在返修过程中如未掌握好加热时间,加热时间过长,则有可能导致表贴电阻端电极在焊接过程中受到外力而损坏。因此底事件 X5 不能排除。

通过逐一排查最终认定,R27(43 Ω)片式电阻在 SMT 焊装完成后,由于歪斜,电装操作人员对其进行手工解焊,并再次焊接。焊接时电阻两端的电极不是同时完成焊接的,一端电极焊接时间过长,出现局部过热情况,由于操作不当导致表贴片式电阻端电极受到异常外力损伤,在调试和温度循环试验中逐渐失效开路,最终导致相机成像系统工作不正常。

该故障定位准确,机理清楚,更换此片式电阻

后,经力学振动试验^[12]和 10 个温度循环试验验证,相机成像系统工作正常。

4 结 论

通过对某型号 TDICCD 相机成像系统在温度循环试验中的故障分析和测试,确认故障部位是 R27(43 Ω)片式电阻;通过对该电阻的失效分析,确认是使用过程中的异常外力造成电阻器端电极局部脱落;异常外力的来源是电装操作人员在返修过程中焊接时间过长,热应力导致电阻器端电极局部脱落。返修印刷电路板,更换有缺陷的元件时,可能会加剧自身和相邻元件遭受附加热量和热应力,并可能导致内部裂纹扩展或更大面积的分层,严重的还可能导致开路、增加接触电阻和发生金属线断开。所以必须严格控制焊接操作时间不大于 2 s。

参 考 文 献:

[1] GJB4027A-2006 军用电子元器件破坏性物理分析方法[S].
GJB4027A-2006 Methods of Destructive Physical Analysis for Military Electronic Components [S]. (in Chinese)

- [2] GJB 1032-1990 电子产品环境应力筛选方法[S].
GJB 1032-1990 Environmental Stress Screening Process for Electronic Products [S]. (in Chinese)
- [3] 夏虹, 郑鹏洲. 电子元器件失效分析及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
Xia H, Zheng P Z. *Failure Analysis and Application for Electronic Components* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998. (in Chinese)
- [4] 黄娇英. 军用电磁继电器失效分析研究[J]. 现代电子技术, 2013, 36(10): 131-135.
Huang J Y. Failure analysis of electromagnetic relay used in military engineering [J]. *Modern Electronics Technique*, 2013, 36(10): 131-135. (in Chinese)
- [5] 刘银铃. 环境应力筛选试验故障排除方案探讨[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2012, 30(8): 6-8.
Liu Y L. Troubleshooting solution in environmental stress screening [J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2012, 30(8): 6-8. (in Chinese)
- [6] 李兴鸿. 集成电路开短路失效原因探讨[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2012, 30(12): 20-22.
Li X H. Failure cause research on IC open and short circuit [J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2012, 30(12): 20-22. (in Chinese)
- [7] 范红梅. 宇航元器件热环境适应性评价技术研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2012, 30(6): 6-10.
Fan H M. Evaluation of thermal environmental adaptability of space-borne components [J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2012, 30(6): 6-10. (in Chinese)
- [8] 周海京, 遇今. 故障模式、影响及危害性分析与故障树分析[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
Zhou H J, Yu J. *Failure Mode Effects and Criticality Analysis and Failure Tree Analysis* [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [9] GJB/Z 1391-2006 故障模式、影响及危害性分析指南[S].
GJB/Z 1391-2006 Failure mode effects and criticality analysis guide. [S]. (in Chinese)
- [10] 盛念. 军用塑封器件失效机理研究和试验流程[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2012, 30(4): 6-10.
Sheng N. Failure mechanism research and test procedure for military plastic encapsulated microcircuit [J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2012, 30(4): 6-10. (in Chinese)
- [11] 薛旭成, 石俊霞, 吕恒毅, 等. 空间遥感相机 TDICCD 积分级数和增益的优化设置[J]. 光学精密工程, 2011, 19(4): 857-863.
Xue X C, Shi J X, Lv H Y, et al. Optimal set of TDICCD integration stages and gains of space remote sensing cameras [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(4): 857-863. (in Chinese)
- [12] 薛旭成, 傅瑶, 韩诚山. TDICCD 相机的卫星姿态稳定度确定[J]. 中国光学, 2013, 6(5): 767-771.
Xue X C, Fu Y, Han C S. Confirmation of satellite attitude stabilization for TDICCD camera [J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(5): 767-771. (in Chinese)

作者简介: 曲利新(1966—), 男, 吉林人, 研究员, 主要研究方向为空间遥感相机。E-mail: qulx2007@163.com