

全息干涉法在表面封装组件质量检测中的应用*

王卫宁^a 梁镜明^b 张存林^a 艾伦^a 戴福隆^c

(^a首都师范大学物理系, 北京, 100037), (^b香港城市大学物理及材料科学系, 香港)

(^c清华大学工程力学系, 北京, 100084)

摘要: 利用二次曝光全息干涉技术对表面封装组件(SMA)在功率循环中的离面变形场进行了测试。为解决从器件边缘到印制电路板(PCB)间干涉条纹级次的不连续问题, 实验中采用了“搭桥”技术来处理表面封装器件(SMD)和 PCB 的变形失配; 此外, 全息干涉技术还被用于一个实际产品(硬盘驱动器)的无损在线检测。结果表明: 模塑 J 引线封装体(PLCC)和 PCB 由于中心热源及材料的热膨胀系数差而导致离面弯曲变形; 沿器件边缘, 引线和焊点经历了非共面的离面变形; 通过正常硬盘驱动电路板和失效板的干涉条纹数量的对比, 能快速简捷地检测板的质量。全息干涉测量法在微电子技术可靠性分析领域有广泛的应用前景。

关键词: 全息干涉法 封装 检测

Applications of holographic interferometry in surface mount technology

Wang Weining^a, Leung Kangming^b, Zhang Cunlin^a, Ai Lun^a, Dai Fulong^c

(^a Department of Physics, Capital Normal University, Beijing, 100037)

(^b Department of Physics and Materials Science, City University of Hong Kong, Hong Kong)

(^c Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract In this paper, the applications of holographic interferometry (HI) in surface mount technology are presented. Out-of-plane deformations of a PLCC-PCB assembly induced by power dissipation are given by using Double exposure HI. To solve the problem of the fringes discontinue between two bodies of surface mount device and PCB, and to further determine the deformations of the SMD leads and solder joint, a “bright” technique is used in Double exposure HI measurements. Real-time HI is used to test the whole hard-disk board deformation during power cycling. A over-heat device is found in the defective board. The results show that the HI is a quite effective tool for the studies of thermal-mechanical behavior and quality control of SMT products.

Key words: holographic interferometry mount test

引 言

70 年代初开始发展起来的表面安装技术(SMT), 已向高密度、超小型化方向发展, 长期与之伴随的焊点可靠性问题更成为人们关注的最关键的问题之一。

无论是在封装、焊接以及环境温度变化的热循环中, 还是在反复电开关的功率循环过程中, 伴随升温降温的往复温度变化, 表面安装组件(SMA)会产生三维热变形。由于组件各部

* 国家自然科学基金资助。

分的材料不同并且存在着温度梯度,因而,在表面安装器件(SMD)和印制电路板(PCB)之间将产生热膨胀失配,使焊点承受周期性的热应力,进而导致疲劳失效。在热循环中,剪应变失配是焊点失效的主要原因;而在功率循环中,“点热源”的离面弯曲变形是主要的热变形模式。精确测量SMD和PCB的热变形及其变形分布,对分析焊点的疲劳性能,组件的失效模式以及优化产品设计、改善产品的使用条件是十分重要的。

在SMA热应变实验的早期测试研究中,Hall等^[1]采用电阻应变片法测量了无引线陶瓷片式载体(LCCC)-印制电路板(PCB)组件在热循环中的面内变形,并获得了焊点的剪切及翘曲应变。这一方法的缺点是,每次只能测得应变片所覆盖区域内的平均应变值,观察不到应变的分布及整个组件的变形;另外,受电阻片校准方式的影响,所测数据具有一定的离散性。

一些光学测量技术——几何云纹^[2]、泰曼-格林干涉仪^[3]、云纹干涉^[4]、全息干涉^[5,6]等相继被引入SMT组件的热变形研究中。泰曼-格林干涉仪方法被用于研究CBGA(ceramic ball grid array)的离面弯曲,该方法需要对样品进行表面抛光处理,使其观测对象受到几何形状的限制。几何云纹法被用于测量多层印制电路板在热循环中的翘曲变形,该方法的灵敏度较低;全息干涉和云纹干涉测量技术具有高精度、非接触性、全场分析的优点,前者主要用于测量面外变形,而后者主要研究面内变形。云纹干涉测量需要在被测样品表面复制高密度衍射光栅(一般为1200线/mm),要求试件有很高的平面度;另外,光栅制作技术水平也会影响测量的精度。

全息干涉技术不需要对样品表面作特殊处理,该方法不受表面安装元件布局及复杂形状的限制,既适用于单个器件的变形研究,又可以对具有多个元件的实际产品进行研究。80年代初,双曝光全息干涉技术被引入对焊有LCCC的PCB在功率循环热稳态下的离面变形场的研究中。在假定LCCC具有较高的硬度,因而可忽略其变形行为的前提下,对PCB背面不包含器件的一面进行了测试^[5]。事实上,对于大多数SMT组件而言,SMD和PCB均会发生不同程度的变形,从而导致SMD及焊点的复杂变形。因此,对包含SMD的一侧进行测试是十分必要的。

用双曝光全息干涉技术对SMD和PCB进行检测,实际上是一个“二体”测量问题,所以,存在需要解决由SMD边缘到PCB干涉条纹的“缺级”问题。为此,“搭桥”技术被引入功率循环中PLCC(plastic leaded chip carrier)-PCB试样热稳态的离面变形场分析中。我们着重介绍了用全息干涉测试技术对SMT组件进行热变形分析的基本研究方法,并给出了采用该方法所获得的典型研究结果。

1 实验测试系统及基本研究方法

1.1 实验测试系统

用二次曝光法和实时全息干涉法的测量光路均采用离轴全息干涉光路(图1),其光源为He-Ne激光光源。用于二次曝光记录的干板为普通全息干板;而实时全息采用美国NEWPORT公司生产的HG-300热塑记录仪。该记录仪将物体全息(干涉)图记录在一个光导热塑介质板上,以全自动电控方式原位、快速地完成全息照相的“曝光、显影、定影、清洗”的处理过程。在实时全息干涉测量中,高分辨率的CCD摄像机系统记录下反映组件热变形的全息干涉条纹

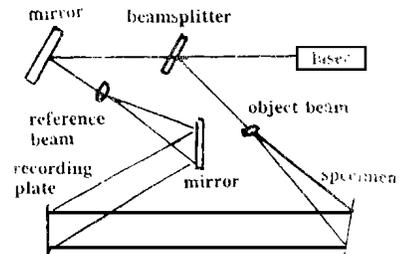


Fig. 1 Off-axis holographic optical system

场形成、变化至稳态的全过程。

1.2 测试程序和原理

采用二次曝光法测量的程序和原理是:先在室温样品未加电情况下对样品进行一次曝光,尔后给样品加电。经一段时间样品达到热稳态时,再进行第二次曝光。当处理完的底片用激光再现时,加电前、后的两光波之间产生相互干涉,形成干涉条纹图,并出现在再现的全息立体图上,由此就得到了样品达到热稳态时的总变形。这一技术虽具有简单易行,干涉图案清晰等优点,但却丢失了物体在两个状态之间的动态变形信息。

采用实时干涉度量技术进行功率循环中变形场测试的程序和原理是:先在室温未加电条件下做出样品的一次曝光全息图,然后用原参考光照明干涉图,由此在样品位置上重建出一个原物光波。接着给样品加电,由全息图再现的未变形样品光波与加电后发生形变的样品光波相干涉,形成实时变化的全息干涉条纹图。系统采用 CCD 摄像机记录反映样品变形的全息干涉条纹场形成、变化至稳态的全过程。实时干涉得到的是“活”的条纹图案。

实验中,调整被测电路板的方位,使其法线位于入射物光与全息记录片法线之间夹角 θ 的平分线上。根据全息干涉的基本原理,当物体变形时,其法线方向的离面变形 d 与干涉条纹级数 n 之间的关系为^[7]:

$$2d \cos \theta = n \lambda$$

采用 He-Ne 激光器,其 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$,安排光路的 θ 角为 13.6° ,则被测电路板表面每一相邻干涉条纹所代表的离面位移量是 $0.318 \mu\text{m}$ 。

1.3 测试样品及功率循环样品的温度响应

1.3.1 孤立器件试验板 器件为 64 引线 PLCC,其尺寸 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 。按表面安装工艺,PLCC 被焊接在一块大小为 $70 \text{ mm} \times 65 \text{ mm} \times 1.4 \text{ mm}$ 的单面 FR-4 环氧树脂板的中间位置。在全息干涉测试中,沿 PCB 的两个边缘,样品被弹性夹持地放入光路中,其焊有器件的一面被光照射接受检测。

在对样品进行测试之前,首先对其在功率循环中的温度响应进行了测试。图 2 是 1.1 W 功率循环中位于器件表面的温度随时间变化的曲线。由曲线可以看出,温度在电源开启约 250 s 后,变化逐渐缓慢,最后进入热稳态。根据图 2 的结果,我们在实验中设定一个功率循环的时间为 1200 s ,在电源开启 600 s 后关闭电源。

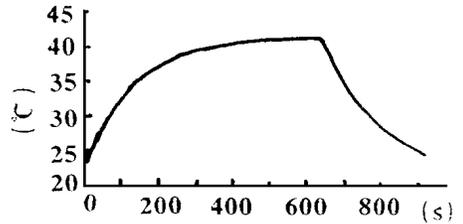


Fig. 2 Temperature vs time for the 1.1 W power cycle

1.3.2 7040AT 型计算机硬盘驱动电路板 该电路板是 100% 的 SMT 产品。板上焊有 8 个不同尺寸及规格的有引线塑料封装器件 (PQFP, PLCC) 和若干片式电阻、电容。板大小为 $95 \text{ mm} \times 140 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 。

实验所用的两块测试样品中,已知其中一块可正常运行,将其作为测试的标准板,另一块为已不能正常运行的失效板。实验中,模拟电路板在计算机中的实际夹持方式,将电路板的一边夹持,固定在光学台上;使用直流稳压电源,为电路板接口分别提供 5 V 和 12 V 的标准工作电压。

1.4 SMD 离面变形量的处理方法

在对由二次曝光全息干涉术获得的 SMD 和 PCB 的全场干涉条纹图的处理中,确定干涉条纹级序是一个十分关键的问题。根据实验的夹持条件和零级条纹法,从一张全息干涉条纹

图上,我们仅可以确定位于 PCB 上的全场干涉条纹级序,但不能确定位于器件上的干涉条纹

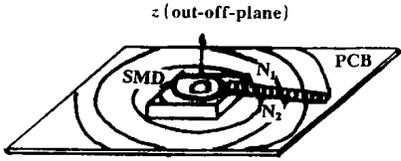


Fig. 3 Build a "bridge" with the SMD and PCB to ensure a continuous fringe counting

级序,因为两者之间存在变形失配(作用在引线 and 焊点上),干涉条纹的级次从器件边缘到 PCB 是不连续的。参考 Post D. 在用云纹干涉法测量两体采用的“搭桥”技术^[8],以解决器件表面干涉条纹的级次判读问题。在双曝光实验中,我们用的“桥”是一弹性薄钢片,其一端粘在 PCB 上,另一端轻搭在器件边缘。这样,当组件变形时,“桥”的两端也分别随器件和 PCB 变形,由此可直接得到“桥”上和“桥”下的干涉条纹数(N_1, N_2)。由两者之差($N_1 - N_2$)即可获得器件相对于 PCB 的变形(图 3);而在实时全息干涉测量实验中,采用实时计数的方法,分别数出从功率循环开始至某一时刻从 SMD 和 PCB 表面涌现的干涉条纹数。该方法可以更方便地确定位于器件表面的全场干涉条纹级数。

2 PLCC-PCB 离面变形的二次曝光全息干涉测量结果

实验中,采用双曝光全息干涉术对样品进行了 3 个功率等级(0.64W, 1.1W 和 1.57W)的变形测试。图 4 给出了样品在功率循环中热稳态情况下样品的全息干涉条纹图。



Fig. 4 Holographic interferograms for PLCC-PCB assembly with different power levels
a-0.64W b-1.1W c-1.57W

图 4 中圆环形的干涉条纹表明,由于 IC 发热,器件和 PCB 均发生了离面弯曲变形,其变形量随功率的增大而增加。从 PLCC 表面的条纹分布,还可清楚地地区分出集成电路芯片区域变形的情况。

运用全息干涉条纹方程式对图 4c 的干涉图进行了处理。图 5 是过样品中心沿 x 方向的离面变形分布。对应各功率数值,其器件中心相对于边陲的变形量及 PCB 相对于边陲的变形量分别列于表 1。沿器件四周的变形分布如图 6 所示。

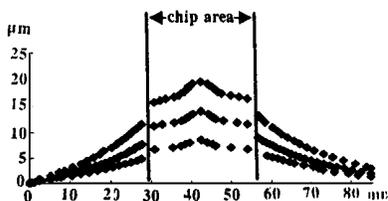


Fig. 5 Distribution of out-of plane displacements of the PCB through center of sample along x direction

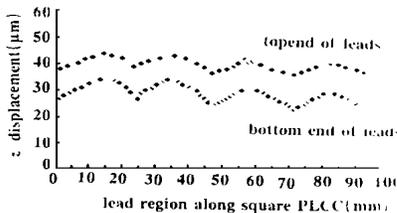


Fig. 6 Distribution of out-of plane deformation of the leads along four edges of PLCC

Table 1 Relative deformations(μm)

power(W)	0.64	1.10	1.57
PLCC	7.2	12.0	17.5
PCB	1.91	2.87	3.82

由于器件的边缘具有较高的刚度,我们可以认为引线首端的变形与器件边缘具有相同的变形;而引线尾端焊点底部又与相应位置的 PCB 具

有相同的变形,这样,图 6 所示即反映了 J 引线首端和焊点底部的离面变形情况。从图 6 可以看出,在功率循环中,除了产生由 PLCC 和 PCB 离面弯曲导致的拉伸和压缩变形,在器件周

缘, 引线 and 焊点还经历了非共面变形。这反映了在该方向上, 引线 and 焊点受到剪应力作用。

3 实时全息干涉度量技术在无损、在线检测 SMT 产品质量中的应用

实时全息干涉度量技术在无损、在线检测 SMT 产品质量方面也显示出了它的独特优点, 即全场直观, 不受表面安装元件布局及复杂形状的限制, 且被测样品表面不需要作特殊处理。

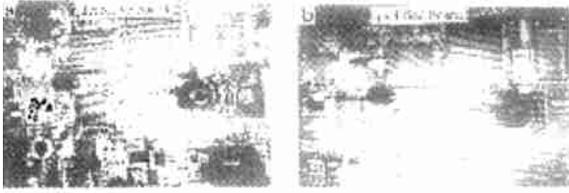


Fig. 7 Holographic interferograms of hard disk driver board

由图 7 可以看出, 干涉条纹形状有曲有直, 分布有疏有密。直观地显示出板和器件的变形分布、大小和发生倾斜、弯曲热形变的特征。

经过比较发现, 在两电路板上, 位于一个具有 100 引线, 00630-8TDO 型的 PQFP 器件表面的干涉条纹存在明显的差异。在形状上, 正常电路板上的呈直线、等间隔分布; 而失效板的条纹呈环形, 且有“源”。实时观察两电路板通电后条纹的形成过程还发现, 正常板上该器件的条纹出现及移动较慢, 而非正常板的条纹的出现及移动很快, 条纹数量也大大多于正常板的数量。显然, 失效电路板上该器件的热应变远高于正常板的热应变, 表明它是一个过热器件。图 8 是该器件在运行中几个不同时刻的干涉条纹图。

对这两个器件的温度变化进行的测试表明, 他们在稳态时的最高温度数值各为 25.3°C (正常板) 和 58.5°C (失效板)。这一结果与条纹数量间存在正相关关系, 反映了实验结果的正确性。如果我们检测一系列的电路板, 就能得到从正常板到完全失效板的各种条纹图案, 由此可能建立定量化的分析标准, 通过对比其所建立的标准条纹图案, 即可快速、准确地判别电路板的质量。

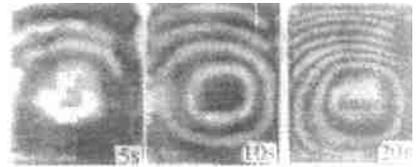


Fig. 8 Interferometric fringe patterns of the over-heat chip at different time of power-on

4 结 论

(1) 全息干涉测量技术具有高精度、非接触、全场分析的优点。双曝光全息干涉技术简单易行, 采用“搭桥”技术, 可以解决 SMD 和 PCB (二体) 的相对变形的数据判读问题, 并根据两者的变形失配, 获得 SMT 器件引线及焊点的离面变形。这为理论上研究 SMT 焊点的应力应变细节, 分析焊点的热-力耦合疲劳模式, 提供了精确可靠的实验数据。

(2) 运用实时全息干涉度量技术, 可实时、全场获得 SMD 和 PCB 的离面变形, 并对多元件、布局复杂的 SMT 电路板进行无损在线检测。通过所检测电路板的条纹图案及各部件的变形量, 可对其器件进行包括力、热、电的特征分析, 鉴别带有热损伤缺陷器件的电路板。该方法可作为向高、小、密方向发展的 SMT 中电路板的快速、准确和定量化质量检查的有效工具。

参 考 文 献

- 1 Hall P M, Dudderar T D, Argyle J F. IEEE Trans Components, Hybrids & Manufacturing Technology, 1983; 6(4): 544~552

有机材料在光限制中的应用*

罗 挺

(后勤工程学院后勤自动化工程系, 重庆, 400016)

摘要: 对光限制器件的特性进行了简单的评述, 并对由自散焦过程产生光限制的机理进行了分析。采用 z -扫描方法对有机材料分散红一的非线性折射过程和光限制特性进行了实验研究。对其结果进行了分析讨论, 这种分析对于以自作用效应产生最佳光限制效应是十分有用的。

关键词: 非线性折射 光限制 z -扫描 自散焦

The application of organic materials in optical limiting

Luo Ting

(Dept. of Automation, Rear-service Engineering College, Chongqing, 400016)

Abstract: We simply review the nonlinear optical process in organic materials which can be utilized in passive limiting devices. The mechanism of optical limiting for a self-defocusing process is examined. We experimentally investigate the nonlinear optical refraction and optical limiting characteristics of organic material, and the results are discussed. The analysis is useful in optimizing optical limiting behavior of devices based on self-action.

Key words: nonlinear refraction optical limiting z -scan self-defocusing

引 言

随着现代化技术中全光、电光、声光以及光学机械器件的发展, 人们对于光束的方向、强度、相位和偏振方向的控制提出了更高的要求。其中, 光强的控制是最基本和最重要的, 它在

* 中国博士后基金和香港中山大学高等学术中心冼为坚基金资助。

- 2 Yeh C P. Experimental and Analytical Investigation of Thermally Induced Warpage for PWBs. Proc IEEE 41st Electronic Component Technology Conference, Oakland, CA, 1991
- 3 Hecht E. Optics. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1987
- 4 Han B, Guo Y, Lim C K *et al.* Journal of Electronic Packaging, Transaction of the ASM E, 1993; 118: 157~ 163
- 5 Dudlear T D, Hall P M, Gilbert J A. Exp Mach, 1985; 25(1): 95~ 104
- 6 Wang W N, Leung K M. Reliability Testing of Solder Joints in Surface Mounted Assembly Using Real-time Holographic Interferometry. Proceedings of 45th Electronic Components and Technology Conference, Las Vegas, NV, May 1995: 835 ~ 840
- 7 Rastogi P K. Holographic Interferometry, Principles and Methods, 1994
- 8 Post D, Han B, Ifju P. High Sensitivity Moir-Experimental Analysis for Mechanics and Materials. Springer-Verlag New York, Inc, 1994: 197~ 198

作者简介: 王卫宁, 女, 1957 年 8 月出生。副教授。现从事实验物理教学及电子产品可靠性分析研究。