

不均匀背景下芯片焊接气泡的 X 射线检测

陈 忠, 张宪民

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广州 510640)



陈 忠

摘 要: 针对 X 射线不均匀透视图像背景下的芯片焊接气泡检测问题, 为了准确提取焊接气泡, 特别是小气泡, 提出了基于二维集合经验模式分解和基于灰度形态滤波的两种气泡检测算法。以大功率三极管芯片焊接气泡检测为案例, 运用两种方法进行不均匀背景下气泡检测分析。结果表明, 两种方法均能准确提取不均匀图像背景下的芯片气泡, 而基于二维集合经验模式分解的芯片气泡检测方法更适合小气泡的检测, 但要求图像噪声要小; 基于灰度形态学的气泡检测方法更加全面且适于实时检测。

关键词: 芯片气泡; 集合经验模式分解; 灰度形态学

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2011)10-0065-04

0 序 言

随着集成电路器件的小型化及热可靠性要求的提高, 对集成电路芯片焊接气泡检测与控制日益成为确保芯片质量可靠性的重要检测项目。芯片焊接气泡一般表现为连续型大气泡以及随机分布的小气泡两种。这两类气泡对热阻的影响各不相同^[1-2]。但随着芯片小型化以及功率密度的提高, 随机分布型的小气泡对热阻的贡献已不能忽视。芯片焊接气泡的无损检测有两类方法, 声扫描显微镜(C-SAM)和微焦点 X 射线(X-Ray)检测。C-SAM 扫描分辨率可达 0.1 μm , 对气泡检测灵敏度高^[3]。微焦 X-Ray 分辨率可达 1 μm , 大于 0.5 mm 的气泡容易检测, 对于小于 0.5 mm 的气泡检测比较困难。特别是当 X-Ray 检测图像背景不均匀时, 小气泡更难检测。但 C-SAM 与 X-Ray 是互补的检测方法, 在 X-Ray 擅长的检测领域, 如 SMT 生产过程中的气泡检测也有重要的实际应用意义。因此针对 X-Ray 图像恰当的后续图像处理与气泡提取技术的研究尤为重要。

基于 X-Ray 图像的气泡检测表现为图像分割技术的应用。图像的分割一般包括基于边缘提取、全局/局部阈值和基于区域三类分割技术^[4]。由于基于灰度分布的阈值分割比较简单, 在芯片焊接气泡检测得到了实际应用。但当检测目标气泡背景不均匀时, 基于灰度分布的全局阈值分割不能实现气泡

的准确提取。为此, 提出了基于集合经验模式分解(ensemble empirical mode decomposition, EEMD)及灰度形态学处理方法, 分离不均匀背景, 并对重建的灰度图像应用全局阈值分割算法提取芯片气泡。

1 芯片焊接气泡 X-Ray 检测方法

1.1 二维集合经验模式分解算法(2-EEMD)

X-Ray 透视图像的不均匀背景可以通过一种信号分解方法分离出去, 从而实现一种不均匀背景下芯片气泡的检测。经验模式分解(EMD)方法是一种无需先验基函数、基于数据本身的自适应、正交及完备的非线性、非稳态数据分析方法^[5], Wu 等人^[6]又进一步完善而提出了集合经验模式分解算法(EEMD), 并提出一种新的针对图像分解的 EEMD 分解组合策略, 避免了原伪二维经验模式分解的局限性, 从而实现了新的二维集合经验分解算法^[7], 该算法如下。

(1) 对 $m \times n$ 的二维信号 $f(x, y)$ 的各行进行 EEMD 分解得到各行的一维内蕴模式函数 $c_{ij}(y)$, $i=1, 2, \dots, m$ 为 $f(x, y)$ 的行号; $j=1, 2, \dots, J$ 表示内蕴模式函数的序号。

(2) 组合得到 J 个 $m \times n$ 二维信号 $g_j(x, y) = [c_{1j}(y) \ c_{2j}(y) \ \dots \ c_{mj}(y)]^T$ 。

(3) 对新的每个二维信号 $g_j(x, y)$ 的各列进行 EEMD 分解得到各列的一维内蕴模式函数 $d_{jk}(x)$, $k=1, 2, \dots, K$ 为内蕴模式函数的序号。

(4) 组合得到 $J \times K$ 个 $m \times n$ 二维信号为 $h_{jk}(x, y)$ 。

$y) = [d_{j1}(x) \ d_{j2}(x) \ \cdots \ d_{jn}(x)]^T$.

(5) 根据得到的 $J \times K$ 个 $m \times n$ 二维信号 $h_{jk}(x, y)$ 组合得到 $m \times n$ 二维内蕴模式函数为

$$C_i(x, y) = \sum_{k=i}^K h_{ik}(x, y) + \sum_{j=i+1}^J h_{ji}(x, y) \quad (1)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, \min(J, K)$. 而原二维信号为

$$f(x, y) = \sum C_i(x, y) + R(x, y) \quad (2)$$

式中: $R(x, y)$ 为分解的趋势项.

由于分解得到的二维内蕴模式函数 $C_i(x, y)$ 具有一定的物理意义, 对具有不均匀背景特征的芯片 X-Ray 灰度图像进行 2-EEMD 分解, 将能够把不均匀背景分离出来, 这样芯片气泡的分离提取及检测将轻而易举.

(6) 根据 2-EEMD 的正交、完备的特性, 得到消除不均背景的重建表达式为

$$f^*(x, y) = \sum C_i(x, y) \quad (3)$$

该式不包含趋势项及不均匀背景内蕴模式函数.

1.2 基于 2-EEMD 的芯片焊接气泡检测方法

被检物体的 X-Ray 图像灰度强度, 在数学上的表达为 X-Ray 强度的线积分^[8], 即

$$I = I_0 e^{-\sum_{n=1}^N \mu_n \cdot \Delta x} \quad (4)$$

式中: I_0 为入射 X 射线强度; I 为出射 X 射线强度; Δx 为厚度; μ 为材料的线性衰减系数. 因此, X 射线图像一定程度上反映了材料内部的结构特征.

对于芯片焊接气泡的检测, 采用上述 2-EEMD 算法分离出剩余趋势项以及不均匀背景, 重建反映材料内部结构特征的图像, 按全局阈值法分割, 完成焊接气泡检测. 该 2-EEMD + Otsu 全局阈值芯片焊接气泡检测方法如下.

(1) 对原始二维图像 $f(x, y)$ 应用 2-EEMD 分解算法, 剩余趋势项以及不均匀背景, 得到新的二维图像 $f^*(x, y)$.

(2) 采用 Otsu 全局阈值分割算法^[9], 分离出气泡, 得到二值化的黑白图像.

(3) 计算气泡的面积百分比等检测参数, 根据指标给出检测结果.

1.3 基于灰度形态学算法的检测方法

灰度形态学算法与二值图像形态学算法不同的地方是膨胀与腐蚀算法定义不同. 其膨胀与腐蚀定义分别为^[4]

$$(f \oplus b)(x, y) = \max\{f(x - x', y - y') \mid (x', y') \in D_b\} \quad (5)$$

$$(f \ominus b)(x, y) = \min\{f(x - x', y - y') \mid (x', y') \in D_b\} \quad (6)$$

式中: b 为结构元; D_b 为结构元 b 的定义域.

由于灰度形态滤波处理也能分离出不均匀背景, 这里也给出基于灰度形态处理的芯片焊接气泡的检测方法. 但灰度形态滤波处理后得到结果与 2-EEMD 的分解结果相比, 缺少一定的物理意义. 该灰度形态学 + Otsu 全局阈值分割芯片焊接气泡检测方法如下.

(1) 按照检测气泡的大小, 构建一定大小的形态滤波结构元.

(2) 用此结构元, 对原图像 $f(x, y)$ 执行灰度形态滤波的 Open 操作, 得到不均匀背景图像 $f_b(x, y)$.

(3) 执行减操作 $f(x, y) = f(x, y) - f_b(x, y)$.

(4) 对图像 $f(x, y)$ 执行线性灰度均衡化处理, 得到图像 $f^*(x, y)$.

(5) 采用 Otsu 全局阈值分割算法^[8], 分离出气泡, 得到二值化的黑白图像.

(6) 计算气泡的面积百分比等检测参数, 根据指标给出检测结果.

2 不均匀背景下焊接气泡检测与分析

2.1 大功率三极管芯片 (DIE) 焊接气泡的检测

该大功率三极管用于某电路功率放大, 要求其芯片气泡率小于 10%, 原因是气泡超过该比率后, 极有可能因热阻过大使芯片发热而发生爆裂. 当采用 Otsu 全局阈值分割算法直接对该功率三极管的 DIE 图像(图 1a) 进行气泡分割时, 无法正确提取气泡特征, 其结果如图 1b 所示. 虽然其灰度分布图存在两个明显的波峰, 但由于其 DIE 背胶的厚度不均使得焊接气泡的背景图像不均匀, 图像上部的背景灰度值与图像下部的背景灰度值处于同一量级, 无法直接采用全局阈值分割方法完成气泡特征提取.

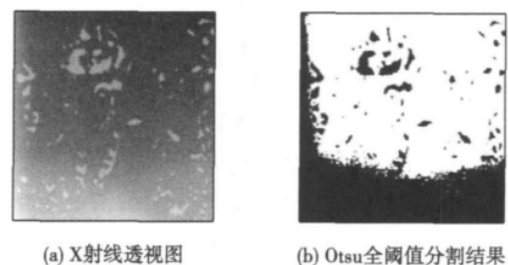


图 1 功率三极管 DIE 焊接气泡的全阈值检测

Fig. 1 Inspection of DIE welding voids in global thresholding

针对这一问题, 文中运用以上两种芯片焊接气

泡检测方法对该大功率三极管芯片焊接气泡进行检测,检测结果如图 2 和图 3 所示.

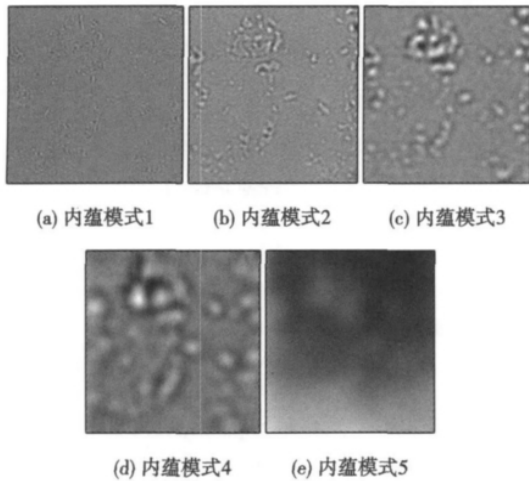


图 2 功率三极管 X 射线图像的 2-EEMD 分解

Fig. 2 Decomposition of X-ray image of power transistor using 2-EEMD

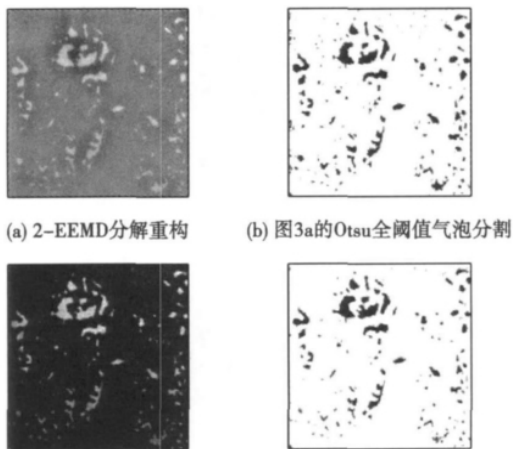


图 3 功率三极管 DIE 气泡分割结果

Fig. 3 Segmentation of DIE voids of power transistor

图 2 是采用 2-EEMD 算法直接对图像进行分解后的结果,从分解得到的 5 个内蕴模式函数中看到,第 5 个内蕴模式函数(图 2e)为反映芯片背胶不均匀的图像成分,其它 4 个内蕴模式函数(图 2a ~ 图 2d)反映了更小尺度的图像特征.为此,根据所提出的 2-EEMD + Otsu 全局阈值芯片气泡检测方法,滤除内蕴模式 5(图 2e)代表的气泡不均匀背景及趋势项,以内蕴模式 1 ~ 内蕴模式 4(图 2a ~ 图 2d)重建新的图像,如图 3a 所示.可见重建图像有很好的动态范围及对比度,相对原图像有极大的

改善.对重建图像运用 Otsu 全局阈值分割方法,得到气泡的二值分割结果,如图 3b 所示.

图 3c、d 为采用灰度形态学 + Otsu 全局阈值分割气泡检测方法的检测结果.其中,形态学结构元选用“disk”,大小为 10;原图像采用 Matlab 提供的灰度形态变换方法 top-hat 消除原图像不均匀背景,并经线性灰度分布均衡处理,结果如图 3c 所示.

两种方法的气泡的检测参数结果如表 1 所示.

表 1 功率三极管芯片气泡检测结果

Table 1 Inspection results of power transistor DIE voids

检测方法	气泡率	气泡总数	气泡总面积	气泡平均大小
	A(%)	N(个)	(像素 × 像素)	(像素)
2-EEMD + Otsu	7.5	185	4 943	26.719
灰度形态学 + Otsu	6.6	141	4 324	30.667

2.2 检测结果的分析

根据图 3 及表 1,可以得到如下分析结果.

(1) 2-EEMD 图像分解方法能够自适应的分解出芯片焊接气泡的不均匀背景.

(2) 基于 2-EEMD 芯片焊接气泡检测方法得到的重建图像与基于灰度形态学的检测方法所得的图像相比,在没有经过灰度均衡处理的情况下,也有更多丰富的纹理及较好的对比度.

(3) 对比基于 2-EEMD 芯片气泡检测方法得到气泡分割图(图 3b)与基于灰度形态学气泡检测方法得到气泡分割图(图 3d)特别是图的左下部分,2-EEMD 芯片气泡检测方法能够检测出 4 个小气泡,而灰度形态学方法只检测出 3 个小气泡.这表明 2-EEMD 芯片气泡检测方法对小气泡的检测能力更强.

(4) 从图 1 可以看出,该三极管 DIE 左上角没有气泡,但从图 3 两种方法的检测结果来看,都检测出了一定量的小气泡.特别是 2-EEMD 芯片气泡检测方法检测出的小气泡量多于基于灰度形态学气泡检测方法的检测结果.原因在于 2-EEMD 分解的内蕴模式 1 包含了高频信息,包括 X 射线图像的噪声,这些高频噪声没有从算法中分离出去,从而被误判为气泡.而基于灰度形态学气泡检测方法本身具有一定的消除小气泡的滤波特性,因而图像噪声对其误判的影响要小.因此,对于小气泡的检测,2-EEMD 芯片气泡检测方法的适用条件是图像噪声要小,而基于灰度形态学气泡检测方法可在有一定图像噪声的情况优先选择.

(5) 从总体上来看,两个方法都能排除不均匀背景对气泡检测的干扰,实现气泡的检测.

3 结 论

(1) 提出的基于 2-EEMD + Otsu 全阈值分割芯片焊接气泡检测与灰度形态 + Otsu 全阈值分割焊接芯片焊接气泡检测方法都能正确完成芯片不均匀背景下气泡检测。

(2) 基于 2-EEMD + Otsu 全阈值分割芯片焊接气泡检测方法有更强的小气泡检测能力,但要求图像噪声要小,适于事后精细分析。

(3) 灰度形态 + Otsu 全阈值分割芯片焊接气泡检测方法对图像噪声有一定的适应能力,检测速度快,适合实时焊接气泡检测。

参考文献:

- [1] Mahalingham M, Nagarkar M, Lofgran L, *et al.* Thermal effects of die bond voids in metal [C] // Ceramic and Plastic Packages, Proceedings of 34th IEEE Electronic Components Conference, New Orleans, Louisiana, 1984: 469 - 477.
- [2] 谢鑫鹏, 毕向东, 胡俊, 等. 空洞对功率芯片粘贴焊层热可靠性影响的分析 [J]. 半导体技术, 2009, 34(10): 960 - 965. Xie Xinpeng, Bi Xiangdong, Hu Jun, *et al.* Effects of voids on thermal reliability in power chip die attachment solder layer [J]. Semiconductor Technology, 2009, 34(10): 960 - 965.
- [3] Zhang G M, Harvey D M, Burton D R. Micro-nondestructive evaluation of microelectronics using three-dimensional acoustic imaging [J]. Applied Physics Letters, 2011, 98(9): 094102 - 094102 - 3.
- [4] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital image processing using Matlab [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [5] Huang N E, Shen Z, Long S R, *et al.* The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [C] // Proceedings of the Royal Society, London, 1998: 903 - 993.
- [6] Wu Z H, Huang N E. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method [J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2009, 1(1): 1 - 41.
- [7] Wu Z H, Huang N E, Chen X Y. The multi-dimensional ensemble empirical mode decomposition method [J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2009, 1(3): 339 - 372.
- [8] Jiang H. 计算机断层成像技术: 原理、设计、伪像和进展 [M]. 张朝宋, 郭志平, 王贤刚, 等译. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 66.

作者简介: 陈忠, 男, 1968 年出生, 博士, 副教授, 硕士研究生导师。主要从事基于图像的精密测量与检测、基于振动信号的故障诊断等方面的研究与开发工作。发表论文 20 余篇。Email: mezhchen@scut.edu.cn

tectic and (α -Cu + Cu₃P + δ) ternary eutectic. The microstructure of diffusion and interface zone in joint brazed with CuP7.7Sn5.4Ni14Si0.2Zr0.04 amorphous brazing filler metal are mainly composed of α -Cu solid solution, and the center in the brazing seam is mainly composed of α -Cu and (Cu,Ni)₃P and (α -Cu + Cu₃P) eutectic and (α -Cu + Cu₃P + δ) ternary eutectic.

Key words: Cu-P based filler metal; amorphous filler metal; brazing procedure; shear strength; microstructure

Inhibition growth of intermetallic compounds at solder/Cu of by addition of Zn into Sn-3.5Ag QI Kai, WANG Fengjiang, LAI Zhongmin (School of Materials Science & Engineering, Jiangsu University of Science & Technology, Zhenjiang 212003, China). p 57 – 60

Abstract: 0.2% Zn element was added into Sn-3.5Ag Pb-free solder, and the interfacial microstructure at solder/Cu has been studied under as-soldered and as-aged condition. During soldering, the Cu-Sn intermetallic and its scallop-type structure are not changed by the small amount addition of Zn. However, in the Zn-contained solder joint, the scallops are found to be smaller but more compared with Zn-free solder joint. After thermal aging, the growth thickness, compositions and morphology of the IMCs at the interface are affected by the 0.2% Zn addition. In the Sn-3.5Ag-0.2Zn/Cu joints, the growth of IMC layer is evidently retarded and the Cu₃Sn IMC layer is completely inhibited. Furthermore, compared with the change from scallop-type to flaky-type morphology observed in Zn-free solder joints, scallop-type structure is still the predominant morphology in Zn-contained solder joints during solid-state aging. The inhibition of small amount of Zn addition on the IMC growth and change of morphology is attributed to the retarding effect of interdiffusion coefficient of the IMCs.

Key words: lead-free solder; Sn-3.5Ag; intermetallic compound; diffusion

Welding parameters optimization of CO₂ laser-MAG hybrid welding LIU Shuangyu, ZHANG Hong, LIU Fengde, SHI Yan (College of Mechanical and Electric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China). p 61 – 64

Abstract: In the present work, Hanover Analysator, analysis system and high speed camera were used to acquire the voltage and current data of CO₂ laser-MAG hybrid welding. The effect of the arc current, arc voltage and laser power on the oscillogram of arc voltage and welding current, the probability density distribution of arc voltages and current, the droplet transfer character, process stability and weld geometry were investigated. The results indicated that many weld arc physics parameters and droplets transfer information can be provided by Hanover Analysator and high speed camera system, which provided experimental way for optimization welding parameters. Probability density distribution of arc voltages and currents is toward center, that means the range of high current and voltage is smaller, which favors the stability of the droplet transfer and hybrid welding

processes. Droplet transfer frequency was affected by laser power. The droplet diameter and growing period increases with increasing laser power. As a result, the droplet transfer mode is globular transfer or transfer mode between globular and projected.

Key words: CO₂ laser-MAG hybrid welding; Hanover Analysator; welding electrical parameters; droplet transfer

X-ray inspection of DIE welding voids in an uneven background CHEN Zhong, ZHANG Xianmin (School of Mechanical & Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China). p 65 – 68

Abstract: In order to realize the inspection of DIE welding voids in an uneven image background and extract small voids exactly, this paper presents two kinds of inspection methods which separately use the 2-EEMD (two dimensional ensemble empirical mode decomposition) algorithm and the gray-scale morphology algorithm. A high power triode's DIE voids inspection is put forward for the qualification of the presented inspection methods. The results demonstrate that the two inspection methods successfully extract the feature of the DIE welding voids in an uneven image background. The 2-EEMD welding voids inspection method is more suited to small voids inspection in nearly free-noise in X-ray image, and the gray-scale morphology inspection method is more suited in various situation and real-time applications.

Key words: DIE welding voids; ensemble empirical mode decomposition; gray-scale morphology

A new seam location extraction method for pipe-line backing welding of MAG based on passive optical vision sensor

LI Jing^{1,2}, LI Fang², ZHU Wei², LIAO Jianxiong², QIAN Luhong² (1. College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. Industrial Robot Research Center, Industrial Technology Research Institute, Kunshan 215301, China). p 69 – 72

Abstract: Seam tracking is a prerequisite of implementing automatic welding process. Gap variance has an important impact on the welding quality of MAG for pipe-line backing welding. A welding process monitoring system based on CCD is designed. However, the images obtained from CCD with MAG welding often have much noise. Therefore, accurate and high efficient image processing methods for extracting seam location are urgently needed. A new seam location extracting method is presented, the molten welding pool area is obtained after image preprocessing, and then the Sobel transformation method is adopted to choose the initial contour control point for the greedy Snake model. Finally, the greedy Snake model was used to fit the welding seam location. The experimental results show that, the proposed method combined with Sobel transformation and greedy Snake model is also effective to the images with much noise.

Key words: seam tracking; Snake model; MAG welding; image processing

Numerical analysis of ERW welding residual stress field for coiled tubing LI Jihong¹, WANG Wenwu^{1,2}, ZHAO Peng-