

# 复杂表面散射对干涉图对比度的影响及对干涉图的处理

姜铃珍 战德臣\* 李成江

(哈尔滨工业大学应用物理系,\* 计算机系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 以带有焊点的印刷电路板形成的干涉图为例, 讨论了复杂物体表面的散射对干涉图对比度的影响, 提出了处理复杂干涉图的简单方法。

关键词: 全息干涉计量 图象处理 干涉图

## Influence of surface scattering of complicated object on holographic interferogram visibility and its process technique

Jiang Lingzhen, Zhan Decheng\*, Li Chengjiang

(Department of Physics,\* Computer Application, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

**Abstract:** In general, the surface scattering will influence on the visibility of the holographic interferogram. Some times, the influence is so serious that it is almost not possible to recognize the object displayed in interferogram. As well as a complicated object, the visibility of the holographic interferograms of the printed circuit board have be getting lower by the scattering of the surface and solder joints. This paper presented a fringe detection method in a slide windows to reconstruct the interferogram fringe. With the method, it is possible correctly to decide the location of the solder joints.

**Key words:** holographic interferometry image processing interference patterns

还可以看出, 靶材表面经打毛或阳极氧化后, 热耦合系数将大大增加, 由此可见, 同种材料的LY12 铝合金靶, 其表面特性(尤其是表面粗糙度和表面薄膜)不同, 对入射激光的热耦合系数也有很大差异, 靶材表面缺陷将大大增强对入射激光的热耦合。

Table Thermal coupling coefficient  $\Xi$  of LY12 Al alloy under different surface condition

target	0#	1#	2#	3#	4#	5#
$\Xi$	$0.04 \pm 0.01$	$0.17 \pm 0.01$	$0.32 \pm 0.03$	$0.68 \pm 0.02$	$0.90 \pm 0.01$	$0.93 \pm 0.03$

本文的工作只是初步的, 若进一步改善实验条件, 可以测得金属材料对连续波红外激光热耦合系数随温度的变化, 这将更加有助于研究激光与材料的相互作用。

### 参 考 文 献

1 Betolotti M. Physical processes in laser-Materials interactions. New York: Plenum, 1983: 49

2 Witing T J, Schriempf J T. J A P, 1976; 47: 4009

3 孙凤国, 张正文, 赵伊君. 用于测量强激光反射系数的积分球设计. 第三届激光的热与光学效应论文集. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993: 619

4 陈金宝, 陆启生, 蒋志平 *et al.* 应用激光, 1995; 15(4): 167

\* \* \*

作者简介: 陈金宝, 男, 1970年6月出生。博士研究生。现从事化学激光器方面的工作。

# 一、引言

本文是在研制“检测印刷电路板的焊点整机”科研课题中提出来的,带有焊点的印刷电路板各不相同,特别是焊点的外形随机性很大,用激光全息法拍摄的干涉图相当复杂,主要原因是不同位置的表面散射的影响,给图象处理与识别带来很大的困难,为此提出一种图象处理的简单方法,解决了这一难题。

## 二、表面散射对干涉图对比度的影响

一复杂物体干涉图不仅决定于物体行为,还与物体表面散射有关,设用一激光照明一物体,空间一点  $P$  的光场  $a(P)$  与物体表面光场  $a(\xi)$  有关,如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

据 Kirchhoff Fresnel 积分有

$$a(P) = \frac{-i}{\lambda} \int \frac{a(\bar{\xi}) \exp[ikR(\bar{\xi}iP)] \cos(\bar{\xi}iP)}{R(\bar{\xi}, P)} d\bar{\xi} \quad (1)$$

式中,  $a(\bar{\xi})$  是被研究物体表面一点  $(\xi, \eta)$  的场,  $R$  是  $\xi$  点到  $P$  点的距离,  $\theta$  是表面法线  $\bar{n}$  与矢径  $\bar{R}$  的夹角。场  $a(\bar{\xi})$  的性质依赖于照明光场  $a_0(\bar{k}_0)$  的性质还依赖于散射表面的性质,对金属表面用一复杂函数  $\zeta(\bar{\xi})$  描写,  $\zeta(\bar{\xi})$  是不规则的,表面的反射系数<sup>[2]</sup>

$$\bar{V}(\bar{\xi}) = \bar{V} \zeta(\bar{\xi}) \quad (2)$$

式中,  $\bar{V}$  是算子。

对于不规则的表面,在加载后既有平移又有转动形变,表面由  $\zeta_1$  变到  $\zeta_2$  如图 2 所示,计算  $P_1$  点干涉条纹的衬度  $P$  引入表面函数  $\zeta(\bar{\xi})$ ,描写两次曝光物体表面光场:

$$\text{第一次曝光: } a_1(\bar{\xi}) = a_0 \bar{V}_1(\bar{\xi}_1) \zeta_1(\bar{\xi}_1) \quad (3)$$

$$\text{第二次曝光: } a_2(\bar{\xi}) = a_0 \bar{V}_2(\bar{\xi}_2) \zeta_2(\bar{\xi}_2) \quad (4)$$

若小转角  $\beta$  ( $\beta < \pi$ ) 时,且想象  $\zeta_1$  面不动,而观察点  $P_1$  平移和转动到  $P_2$ ,就等效物面由  $\zeta_1$  变到  $\zeta_2$ , (4) 式变为

$$a_2(\bar{\xi}) \approx a_0 \exp(-ikg_0) \exp(-ikl\xi) \bar{V}_2(\bar{\xi}_2) \zeta_1(\bar{\xi}_1) \quad (5)$$

$$\zeta_2 = \zeta_1 + g_0 + \mathcal{E}^{[3]}$$

再考虑快变化,则在  $P_2$  点上条纹衬度表达式可近似写为<sup>[4]</sup>

$$P \sim \iint \exp\{ik[R_1(\bar{\xi}, P_1) - R_2(\bar{\xi}, P_2)]\} \Phi(\Delta\bar{\xi}) d(\Delta\bar{\xi}) d\bar{\xi} \quad (6)$$

所以在  $P_1$  点条纹可见度  $P$  由没有位移的表面  $\zeta(\bar{\xi})$  在  $P_1$  点和在  $P_2$  点产生场互相关函数  $\Phi$  确定一试验的光学系统确定,则(6)式的结果也定了,难以改进其条纹衬度,另外条纹衬度还与记录介质的非线性有关,使得再现物体的细节丢失或失真,影响了干涉图的质量。要想

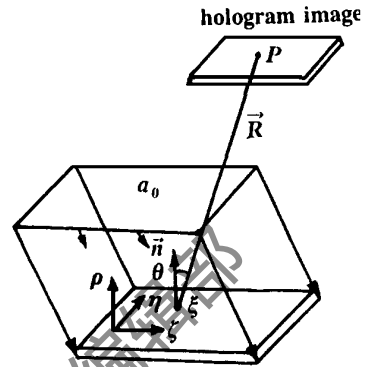


Fig. 1 A scheme of calculation of interference light field of the holographic interferogram of a object surface

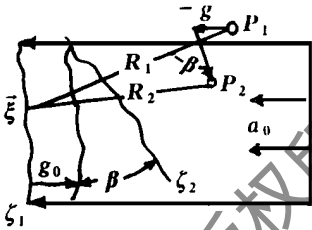


Fig. 2 Calculation of the correlation characteristics of light field scattered by two identical surfaces  $\zeta_1$  and  $\zeta_2$

从光学系统改进干涉图的质量是很困难的,为此在条纹自动处理方面进行了改进。

### 三、干涉图的自动处理

如图 3 所示的一幅初始的干涉图,不易提取不受物体表面散射影响的干涉条纹。由全息成像原理,任意一点  $x$  的干涉光强  $I_f = I_0[1 + \gamma \cos(2\pi f_0 x + \delta)]$  (7)

式中,  $I_0$  为平均光强,  $f_0$  为空间载频,  $\gamma$  为条纹调制度,  $\delta$  为反映形变信息的光程差。

由(7)式可知,通过比较干涉条纹图象与全息再现象(或物光波),可抽取条纹信息:

$$f_r(x) = k^* \{F(x)/[B(x) + L]\} \quad (8)$$

式中,  $f_r(x)$  是提取的干涉条纹图象,  $F(x)$  为干涉图,  $B(x)$  为全息再现象(或透过全息片的物

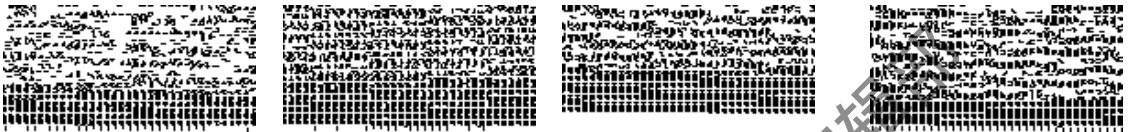


Fig. 3 The original interferogram photograph



Fig. 4 Image processed by equation (8)

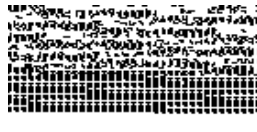


Fig. 5 Image segmentation of double-mode method



Fig. 6 Image segmentation of OSPU method

光波),  $k, L$  为常数,可基于成像系统确定。图 4 为经(8)式处理后的条纹图象,由图中可见该图象有如下特点:(1)仍是多灰度图象,(2)散斑噪声大,条纹是由散斑信息密集而成,(3)条纹与背景对比度差。这样使用任何一种传统的二值化阈值分割方法之前,需首先对条纹图象施以强效果的平滑滤波,这样破坏了条纹本身的信息,不能得到理想的二值化结果。如图 5 与图 6 所示分别用双模态分割方法<sup>[5]</sup>及大津阈值分割方法<sup>[6]</sup>分割图象后得到的二值化结果。为了得到较理想的二值化结果,引入了条纹的有关性质进行二值化处理。

### 四、全息干涉条纹处理的新方法

由于在实验中采用了载纹技术及必要的光学控制,干涉条纹可调为接近垂直于图象扫描方向的平行直条纹迭加有反映形变信息的特征条纹。若沿图象扫描方向采样一行图象数据,则有

$$L_Y(x) = A \cos[\gamma(x) \cdot T] + B \quad (9)$$

式中,  $\gamma(x)$  为条纹变形函数,  $T$  为系统载纹的周期,若干涉条纹是规则的,则  $\gamma(x)$  是常数,此时只要知道周期  $T$ ,便可采取如下方法进行分割。

$$S_{eg}(x) = \begin{cases} 1 & \text{若 } L_Y(x + t_w) > L_Y(x) \text{ 且 } L_Y(x - t_w) > L_Y(x) \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (10)$$

式中,  $t_w = T/2$ ,  $T$  可通过对载纹的控制使其(1)为常数,(2)为规则的线性函数,并使其变化控制在一定范围内,从而可近似为常数。对于这两种情况均可通过结合光学系统计算系统的载纹周期,其周期  $T$  计算如下<sup>[7]</sup>:

$$T = X_{m+1} - X_m \quad (11)$$

式中,  $X = A \pm \sqrt{By^2 + C}$  ( $m \geq 0$  取+,  $m < 0$  时取-)

$$\Delta = (m + 0.5) \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

$$B = \Delta^2 / (d^2 \cos^2 \beta - \Delta^2) \quad A = B \cdot D \sin \beta, C = BD^2 + A^2$$

实际上,  $\gamma(x)$  不可能为常数,其反映干涉图欲反映的形变信息。  $\gamma(x)$  引起的变异干涉条

纹亦可通过(10)式,在已知周期参数  $T$  的情况下抽取出来,具体分析如下。

设  $t_w = T/2$ , 首先考虑  $y(x)$  引起的变异条纹间隔  $T' = nt_w (2 \leq n \leq 4)$  的情况下, 设暗条纹中心点为  $x$ , 其角度值为  $\pi$ , 记为  $X$ 。

$$x + t_w = X + (2\pi/T) \cdot t_w = \pi + (2\pi/T) \cdot t_w \tag{12}$$

由于  $2 \leq n \leq 4$  因此  $\pi + (2\pi/4t_w) \cdot t_w \leq x + t_w \leq \pi + (2\pi/2t_w) \cdot t_w$  (13)

由(13)式可见  $\cos(x + t_w) \geq 0$ , 而  $\cos(x) < 0$ , 也就是说当变异条纹间隔  $T'$  满足  $T \leq T' \leq 2T$  时(10)式的  $L_Y(x) \leq L_Y(x + t_w)$ , 对  $\pi < x < \pi + (\pi/2)$  的点是恒成立的, 而对  $\pi - (\pi/2) < x < \pi$  的点, 则只有部分点成立, 即只有满足  $x_Y < x < \pi$  的点成立,  $x_Y$  满足:

$$\cos x_Y = \cos[x_Y + (2\pi/T) \cdot t_w] \tag{14}$$

类似的也可验证  $L_Y(x) \leq L_Y(x - t_w)$  的情况, 亦在  $x_l$  满足:

$$\cos x_l = \cos[x_l - (2\pi/T) \cdot t_w] \quad \pi < x_l < \pi + (\pi/2) \tag{15}$$

记  $\Delta x_Y = \pi - x_Y, \Delta x_l = x_l - \pi, \Delta x = \{ \Delta x_Y \cdot \Delta x_l \}_{\min}$ , 则经(10)式能检测出暗条纹上点为  $(\pi - \Delta x)T/(2\pi) < x < (\pi + \Delta x)T/(2\pi)$  检出条纹宽度  $w = 2(\Delta x)T/(2\pi)$ , 由式可以看出当  $n$  逐渐增大时,  $w$  逐渐减少, 但  $w > 0$ , 即是说变异条纹可由周期参数  $T$  检测出来。

当  $T' = nt_w (1 \leq n \leq 2)$  时(10)式将不能保证全部检测得出条纹信息, 此时增加检测条件如下式

$$S_{eg}(x) = \begin{cases} 1 & L_Y(x) < L_Y(x + t_w) \text{ 或 } L_Y(x) < L_Y[x + (t_w/2)] \\ 0 & L_Y(x) < L_Y(x - t_w) \text{ 或 } L_Y(x) < L_Y[x - (t_w/2)] \end{cases} \tag{16}$$



Fig. 7 Image processed by equation(16)

Fig. 8 Thinning

(16)式便可有效检出  $T/2 \leq T' \leq 2T$  的变异条纹。  
当系统载纹不是等间隔情况时(11)式计算出的是变化的周期, 代入(6)式将大大提高条纹检出的精度。  
在实际处理过程中, 由于对  $t_w$  的精度要求不是很高, 可采用上下文图象估算  $t_w$  以简化计算提高速度。对图 4 所示图象经简单的平滑滤波后, 采用(16)式进行处理的结果如图 7 所示, 进一步经骨架抽取, 便可得理想的条纹信息如图 8 所示。

“QX-I型激光全息焊点检测仪”就是采用上述处理方法得到好的效果。

### 参 考 文 献

1~ 4 Ostrovsky Yu I, Butusov M M, Ostrovskaya G V. Interferometry by holography. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1980: 230, 231, 238, 239

5 Weszka J. A survey of threshold selection techniques. Computer Graphics Image Processing, 1978; 7: 259~ 265

6 大津展之. 电子通讯学会论文志, 1980; J63- D(4): 349

7 战德臣. 复杂数字光学图象全自动分析识别的关键技术研究. 哈尔滨工业大学博士论文, 1993

\* \* \*

作者简介: 姜铃珍, 女, 1940年2月出生。教授。主要研究方向为激光应用, 全息学和光学信息处理。

