

~448 nm 范围内连续可调,染料 2g 在 460~498 nm 范围内连续可调。

(5) 用 N₂ 激光器作泵浦光源对所合成的染料进行测试,发现染料 2f 能产生激光输出。用文献[2]中的方法测定了 2f 的激光调谐曲线,如图 4 所示。该染料在 424~458 nm 之间连续可调。

参 考 文 献

- 1 F. P. Schafer, Dye Laser (2nd Edition Springer-Verlag, 1977), 161
- 2 严福君 *et al.*, 中国激光, 14, 748(1987)

(收稿日期: 1988 年 9 月 12 日)

激光全息无损检测中系统干涉条纹的控制

孙俊勇 马 晶 姜铃珍 洪 晶 耿完楨

(哈尔滨工业大学应用物理系)

Controlling system fringes in HNDT

Sun Junyong, Ma Jing, Jiang Linzhen, Hong Jing, Geng Wanzen

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin)

提要: 本文通过实验和理论分析,提出了一种在激光全息无损检测中控制系统干涉条纹的有效方法。

关键词 激光全息,无损检测,条纹控制

一、引 言

应用激光全息的方法进行无损检测,需解决许多复杂的技术问题,其中系统干涉条纹的控制就是一个关键技术。例如在印刷线路板焊点缺陷的全息无损检测中^[1],为实现计算机进行焊点缺陷判读,要求把系统的干涉条纹定域调到焊板表面,使得条纹密度达到一个焊点通过二至三条以上,条纹取向能随时按检测需要变化,并且保证条纹的图像清晰,对比度好。为此本文提出一种自动改变物体光照方向的方法,来实现条纹的自动控制。此种方法简便有效。

二、原 理

根据 Vest^[2]的理论,推导出点光源照明物体的全息干涉条纹定域方程:

$$E = \frac{k_{2z}[(k_{2y}^2 + k_{2x}^2)L_x - k_{2x}k_{2y}L_y - k_{2x}k_{2z}L_z]}{\frac{1}{R}[(k_{1y}^2 + k_{1z}^2)L_x - k_{1x}k_{1y}L_y - k_{2x}k_{1z}L_z] + \hat{k} \cdot L} \cdot L^x \quad (1)$$

$$E = \frac{k_{2z}[-k_{2x}k_{2y}L_x + (k_{2x}^2 + k_{2z}^2)L_y - k_{2y}k_{2z}L_z]}{\frac{1}{R}[-k_{1x}k_{1y}L_x + (k_{1x}^2 + k_{1z}^2)L_y - k_{1x}k_{1z}L_z] + \hat{k} \cdot L} \cdot L^y \quad (2)$$

\hat{k}_1 、 \hat{k}_2 分别是物体位移前的照明光波矢和反射光波矢, L 是物体的位移矢量, $\hat{k} = \hat{k}_2 - \hat{k}_1$, $L^x = \frac{\partial L}{\partial x}$, $L^y = \frac{\partial L}{\partial y}$, R 为点光源到物体的距离,坐标选取如图 1。亮条纹方程为

$$(\hat{k}_2 - \hat{k}_1) \cdot L = N\lambda \quad (3)$$

条纹定域必须同时满足(1)、(2)两式,即两曲面的交线。

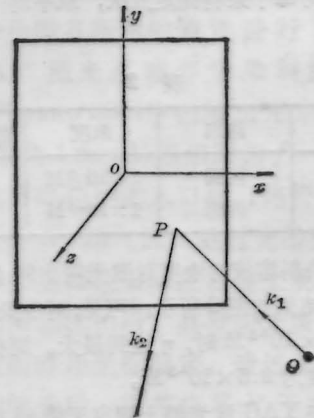


图 1 物面中心为坐标原点

经实验证明,调整物体照射光束的方向是简便的条纹控制方法,即调节图2中的平面镜 M_2 。因 M_2 绕 C 转 θ 角,等效于物面 S_1 上的点绕 Q 转 θ' 角,而平面镜不动,且角 $\theta' = \frac{2R_1}{R'}\theta$ 。这样 M_2 的转动就引起了(1)、(2)式中的 L^x 、 L^y 的增大,并在 $k_{2x} \ll 1$, $k_{2y} \ll 1$ 的情况下,条纹定域就趋向物面,而且由(3)式看出条纹的密度和取向也随之变化。

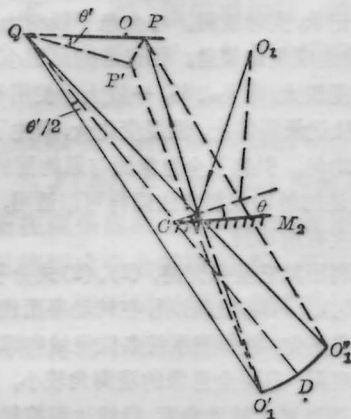


图 2

$O_1C=R_1, O_1'Q=R', OQ=H$ 。 O_1, O_1' 的中点 D 与 C 连成交物面 S 于 Q

三、实验与分析

实验采用如图(3)的光路系统。全息像的观测方向与物面近似垂直,平面镜 M_2 做如下调节:

(1) 平面镜 M_2 绕竖直轴的顺、逆时针转动。用全息干版实时法拍照后,干涉条纹定域会出现在印刷线路板前后的不同位置。

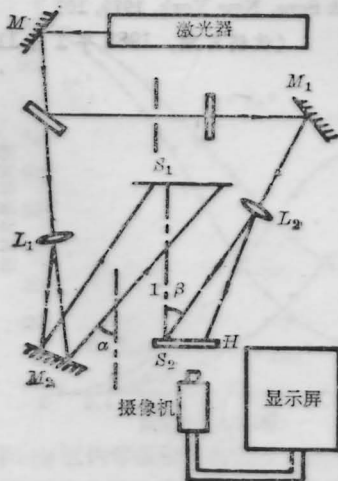


图 3

观察初始时干涉条纹定域在焊板前的情况。顺时针转动平面镜 M_2 ,条纹定域的变化有两种情况:第一种情况是当 M_2 增大转角时,条纹定域一直向焊板表面趋近;第二种是转角增大时,条纹定域先远离焊板面,而后产生一跃变,电焊板前移到焊板后,然后条纹定域又向焊板表面趋近。若起始时顺时针转动 M_2 出现第一种情况,则逆时针转动 M_2 会出现第二种情况;反之,若顺时针转动 M_2 出现第二种情况,逆时针转动则出现第一种情况。在转角增大的同时,条纹还会出现由疏到密,条纹曲率半径逐渐增大,而且条纹取向将逐渐趋向平行转轴方向。

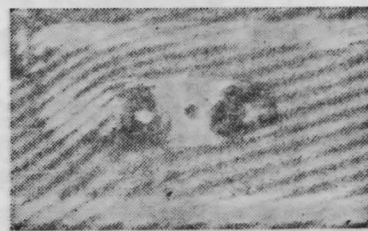


图 4 条纹定域在焊面上

对于起始时干涉条纹定域在焊板后面的情况,转动 M_2 也会出现上面的现象。实际上,摄像系统有一定的景深。因此只需调节条纹定域与焊板的距离小于景深即可。

下面列出其中一组数据。规定每次用干版照完全全息像后,绕竖直轴顺、逆时针转动 M_2 ,使条纹定域在焊板面,条纹密度为一个焊点上通过5条条纹。光路参数如下: $R_1=250$ mm, $R_2=350$ mm, $\alpha=14^\circ 36'$, $\beta=29^\circ$, $l=300$ mm。PCB焊板面积 $S_1=175 \times 180$ mm,全息干版面积 $S_2=90 \times 12$ mm,观测孔径 $D=5$ cm,共拍照七次,依次顺时针转角(θ_1)分别为 $4'50''$ 、 $5'5''$ 、 $4'50''$ 、 $5'10''$ 、 $4'55''$ 、 $4'55''$ 、 $5'5''$ 。逆时针转角(θ_2)为 $4'55''$ 、 $5'10''$ 、 $5'5''$ 、 $4'45''$ 、 $5'15''$ 、 $5'00''$ 、 $5'00''$ 。从中看出,每次 $\Delta\theta = |\theta_1 - \theta_2| < 30''$,因此起始时,(1)式中分母量级不大于 10^{-4} ,而根据起始时观察到的干涉条纹数推算出(1)式中 $|L|$ 的量级在 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ (m)左右,那么条纹定域坐标 z 的值,在起始时一般在 $\pm(10^{-2} \sim 1)$ m。因为 M_2 转动 θ 造成了焊板的位移 L' , $L' = L_z$, $L_z = (x+H)\theta' = (x+H)\frac{2R_1}{R'}\theta$, (1)式分母中的 $\hat{k} \cdot L^x = \hat{k} \cdot (L_0^x + L'^x) = \hat{k} \cdot L_0^x + k_2\theta'$, L_0^x 为转动之前的物位移矢微商。如果转角 θ' 大于 $3'$ 时,(1)式中的分母便增大到 $10^{-4} \sim 10^{-3}$,由此得到了条纹定域在焊板前后 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ (m),这完全小于摄像系统的景深。

根据(1)、(2)式,并有 $k_{2x} \approx 0$, $k_{2y} \approx 0$, $k_{2z} \approx 1$

(近似垂直观测), 条纹定域方程如下:

$$g = \frac{L_x}{\frac{1}{R} [(k_{1y}^2 + k_{1z}^2)L_x - k_{1x}k_{1y}L_y - k_{1x}k_{1z}L_z] + \hat{k} \cdot \mathbf{L}_0^* + k_z \theta'} \quad (4)$$

$$k_{2y}k_{2z}\theta'(x+H) = 0 \quad (5)$$

(在有限距离观测)

亮条纹方程为

$$(k_{2x} - k_{1x})\theta'(x+H) = N\lambda \quad (6)$$

调节平面镜 M_2 , 让其顺、逆时针转动, 引起 θ' 的正负变化, (4) 式分母可写成:

$$\frac{1}{R} [(k_{1y}^2 + k_{1z}^2)L_x - k_{1x}k_{1y}L_y - k_{1x}k_{1z}L_z] + \hat{k} \cdot \mathbf{L}_0^* \pm k_z |\theta'|$$

分母的绝对值将出现由大 \rightarrow 小 \rightarrow 大的变化过程, 正负号也随着改变。这就解释了实验中观察到条纹定域远离焊板及在焊板前后跃变的现象。而且在跃变过程中, 能看到定域在干版前的干涉条纹, 并用纸屏(无成像透镜)可直接观察到所形成的干涉条纹。

(2) M_2 做绕水平轴的俯仰变化, 同上述的转动结果类似。条纹定域在焊板表面, 条纹取向趋向平行转轴的方向。位移 $L' = L_x, L_z = \theta''(y+h)$, h 为转轴距原点的距离, θ'' 为等效焊板转角。由(1)、(2)式得条纹定域方程:

$$g = \frac{L_y}{\frac{1}{R} [(k_{1x}^2 + k_{1z}^2)L_y - k_{1x}k_{1y}L_x - k_{1x}k_{1z}L_z] + \hat{k} \cdot \mathbf{L}_0^* + k_z \theta''} \quad (7)$$

$$k_{2x}k_{2y}\theta''(y+h) = 0 \quad (8)$$

亮条纹方程为

$$(k_{2x} - k_{1x})\theta''(y+h) = N\lambda \quad (9)$$

(3) 平面镜 M_2 绕竖直轴转 θ_{10} , 再绕水平轴转

θ_{20} , 可观察到干涉条纹在焊板面上呈斜线状, 转动 θ_{10} 、 θ_{20} 的不同值, 可以改变条纹的取向。从(3)式得到亮条纹方程:

$$(k_{2x} - k_{1x})[\theta'_{10}(x+H) + \theta'_{20}(y+h)] = N\lambda \quad (10)$$

对上面的几种转动, 利用焊板来实现, 对应地观察到同样的条纹变化。只是焊板的转动影响较大, 条纹密度变化灵敏, 容易产生调节过量和条纹消失。

用高衍射效率的光导热塑料片来记录全息图时, 能够实时记录, 实时观测。与全息干版相比, 成像速度快, 不会造成复位偏差。但记录的面积小, 全息像的观测角度较大, 即 k_{2x} 、 k_{2y} 一般大于使用干版时的 k_{2x} 、 k_{2y} 。从记录到停止, 温度变化大, 产生了热塑料形变的不均匀, 引起了全息像面与原物面的各种偏移。但上述的转动控制方法同样可以适用, 只是选择转动角度有所不同。

如果利用其它全息光路, (1)、(2)式分子中会有 $(-k_{2x}k_{2y}L_x)$ 、 $(-k_{2y}k_{2z}L_z)$ 项, 在转动平面镜 M_2 时, 分子也随着变化, 将影响系统条纹定域向焊板移近。通过实验观测, 只要全息像的观测角较小, 即 $k_{2x} \ll 1$ 、 $k_{2y} \ll 1$, 适当增大转动角度, 就能达到控制要求。转动角度的大小, 一般由

$$\theta_{cc} \frac{Dk_{2x}k_{2y}S_1L'n \dots}{R_1lS_2 \dots} \quad (11)$$

(n ——条纹密度)

近似估算。如果固定光路参数及检测标准, θ 就可确定, 通常 θ 再选择略大一些。

感谢李淳飞教授对本稿的修改。

参 考 文 献

- 1 洪晶, 应用激光, 6(5), 201(1986)
- 2 Charles M. Vest, Holographic Interferometry, John Wiley & Sons, New York, 1979, 107

(收稿日期: 1988年1月11日)