

白光干涉仪中光源参数的优化选择

鄢建平¹, 王生怀², 谢铁邦²

(1 武汉大学电子信息学院 武汉 430079;

2 华中科技大学机械科学与工程学院 武汉 430074)

摘要: 在白光干涉仪中, 白光光源的参数决定了干涉条纹的分布, 对中心条纹的识别精度产生直接影响。采用不同光谱形状的光源或改善光源的光谱形状可提高零级条纹的可见度, 利用多个白光光源构成组合光源来改变光源的光谱形状是提高零级条纹可见度的有效方法。在提出组合光源参数优化设计方法的基础上, 理论分析得出了双组合光源和三组合光源优化设计的简洁公式。计算机模拟及实验结果表明, 经优化设计后组合光源产生的干涉图, 其零级条纹可见度大大增加, 更有利于提高系统的测量分辨率。

关键词: 白光干涉技术; 白光光源; 组合光源

中图分类号: O436.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 140.3015

Optimum selection of source parameters in white-light interferometer

Yun Jianping¹, Wang Shenghua², Xie Tiebang²

(1 School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2 School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In white-light interferometer, the parameters of white-light sources influence the shape of the interferogram and the central fringe identification. The intensity difference between zero-order fringe and its side fringes can be increased by optimally selecting or improving the power density spectrum of the sources. Using synthesized sources, the power density spectrum is redistributed and the relative intensity of the central fringe is greatly enhanced. Through theoretical analysis, the method to optimize the parameters of the synthesized sources is obtained and the optimum parameters are found. Computer simulations and experimental results demonstrate that using the synthesized sources with optimized parameters, the zero-order fringe can be determined more accurately and the system resolution can be enhanced.

Key words: white-light interferometry; white-light source; synthesized source

1 引言

白光干涉测量技术在许多精密测量中具有广泛的应用^[1-3], 其特点是不存在一般相干光干涉中所具有的相位模糊问题, 可进行绝对测量。白光干涉条纹的特征是有一个主极大值即中心条纹, 它与零光程差位置相对应而与波长无关, 中心条纹两边是彩色条纹。根据中心条纹的这个特点可以精确确定它的位置, 为测量提供一个可

靠的绝对位置参考, 由此可实现大量程的测量。零级条纹的位置确定精度决定了白光干涉测量技术的测量精度, 而干涉条纹的分布形状和零级条纹相对于其他条纹的强度差值大小, 对确定零级条纹的位置精度及提高仪器抗干扰能力有直接的影响。白光光源的光谱分布函数决定了白光干涉条纹强度的调制函数, 因此对白光光源进行参数优化设计, 改变其光谱分布可以提高零级条纹的识别精度。

2 原理与设计

在白光干涉仪中,由于照明光源的相干长度较小,干涉图中零级条纹和邻近强度最大的条纹之间一般强度相差较小,很难将两者区分开来,使得干涉仪的绝对测量产生较大的误差。为了表明干涉图中零级干涉条纹与其他条纹之间强度差的大小,针对白光干涉图引入了零级干涉条纹可见度 V_f 的定义^[9]。除了零级条纹外,通常邻近零级条纹的 ± 1 级条纹的幅值最大,因此可定义:

$$V_f = \frac{I_0 - I_1}{I_0} \quad (1)$$

式中: I_0 是零级条纹强度峰值, I_1 是一级条纹强度峰值。式(1)表明, V_f 值越大,零级条纹与一级条纹之间的幅值差越大,越有助于零级条纹的识别。

改善光源的光谱形状来提高零级条纹对比度是设计白光光源的有效方法。实际应用中,除了单光源外,更多的是采用组合光源的方法来改变光源的光谱,并通过优化设计光源参数来提高零级条纹可见度。组合光源就是在干涉仪中采用多个低相干光源同时照明,以此来代替单一的光源。一般采用相干长度较短的 2 个或 3 个不同中心波长的光源构成组合光源^[6-7],由 2 个低相干光源构成的组合光源简称为双组合光源,由 3 个低相干光源构成的组合光源简称为三组合光源。

2.1 单光源的参数选择

由部分相干理论^[9]可知,双光束干涉条纹强度的交流分量可表示为:

$$I_c = 2I_0 |\gamma(\tau)| \cos[2\pi\nu_0\tau + \alpha(\tau)] \quad (2)$$

式中: I_0 是两光束的光强,这里假定它们相等; ν_0 是光源的中心频率; $\alpha(\tau)$ 是与光源性质有关的相位差; $\gamma(\tau)$ 为复相干度,它是光源谱密度函数的傅里叶变换。

常见的光源谱密度分布具有高斯函数和洛伦兹函数 2 种形式,可以求出这 2 种光源复相干度的绝对值分别为:

$$\begin{cases} |\gamma(\tau)| = \exp[-3.56(\Delta\nu_s\tau)^2] \\ \alpha(\tau) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} |\gamma(\tau)| = \exp(-\pi\Delta\nu_s|\tau|) \\ \alpha(\tau) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\Delta\nu_s$ 是光源的频谱宽度。

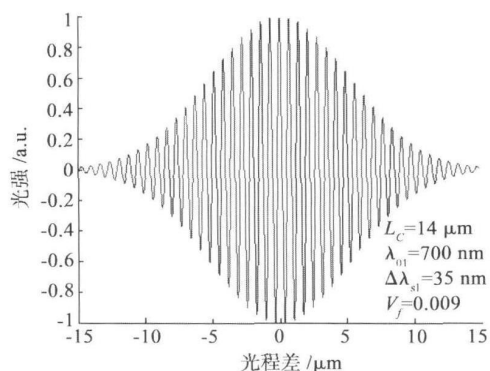
由式(1)可得高斯型光源的零级条纹可见度 V_G 和洛伦兹型光源的零级条纹可见度 V_R 分别为:

$$V_G = 1 - \exp\left[-3.56\left(\frac{\lambda_0}{L_c}\right)^2\right] \quad (5)$$

$$V_R = 1 - \exp\left[-\pi\frac{\lambda_0}{L_c}\right] \quad (6)$$

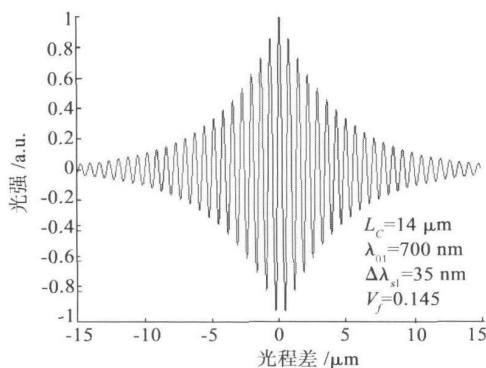
式中:相干长度 $L_c = c/\Delta\nu_s = \lambda_0^2/\Delta\lambda_s$, λ_0 是中心波长, $\Delta\lambda_s$ 是波带宽度, c 是光速。

由上述公式可知,相干长度越短,零级条纹可见度越大,所以选择相干长度较短的光源有利于零级条纹的识别。例如,若光源的中心波长 $\lambda_0 = 700 \text{ nm}$, 带宽 $\Delta\lambda_s = 35 \text{ nm}$, 可算出 $V_G = 0.009$, $V_R = 0.15$; 如果取 $\lambda_0 = 700 \text{ nm}$ 及 $\Delta\lambda_s = 100 \text{ nm}$, 则 $V_G = 0.07$, $V_R = 0.36$, 零级条纹可见度显著提高。同样可看出,对相同的参数,洛伦兹型光源的零级条纹可见度比高斯型光源大一倍多。这表明,正确选择光源光谱分布形状可有效地改善干涉条纹的分布形状,提高系统的信噪比。图 1 表明了不同的光源光谱分布对干涉条纹形状产生的影响,图 1(a) 对应的是高斯型光源的干涉条纹,图 1(b) 是洛伦兹型光源的干涉条纹。



(a) 高斯型光源的干涉图

(a) Gaussian power density spectrum



(b) 洛伦兹型光源的干涉图

(b) Lorentzian power density spectrum

图 1 光源光谱分布形式对干涉条纹的影响

Fig 1 Interferograms when white-light sources with different shape of spectral density are used

激光二极管输出的光谱特性可以通过调节控制电流的幅度和相位来改变^[9],但这种方法所需的光电子系统复杂,成本高。在许多实际应用中,单光源已可满足测量要求,对于要求较高的系统,更多的是采用组合光源。

2.2 双组合光源的参数设计

影响组合光源干涉特性的参数有各组成光源的频谱分布形状、相干长度、幅值大小、中心频率间隔等。假设双组合光源中两光源相干长度相同 $L_{c1} = L_{c2} = L_c$, 即频带宽度相同 $\Delta\nu_{s1} = \Delta\nu_{s2} = \Delta\nu_s$, 可得:

$$\frac{\Delta\lambda_{s1}}{\Delta\lambda_{s2}} = \left(\frac{\lambda_{01}}{\lambda_{02}} \right)^2 \quad (7)$$

式中: λ_{01} 和 λ_{02} 分别是两光源的中心波长; $\Delta\lambda_{s1}$ 和 $\Delta\lambda_{s2}$ 分别是两光源的波带宽度。

设两光源的中心频率分别为 ν_{01} 和 ν_{02} , 并且 $\Delta\nu = \nu_{01} - \nu_{02}$, 如果两光源的功率谱呈高斯型分布, 可以求得复相干度的绝对值为:

$$|\chi(\tau)| = \exp\left[-3.56\left(\frac{c\tau}{L_c}\right)^2\right] \left| \cos\left(\pi\Delta\nu\tau\right) \right| \quad (8)$$

$$\alpha(\tau) = \begin{cases} 0, & 2n-1/2 < |\Delta\nu\tau| < 2n+1/2 \\ \pi, & 2n+1/2 < |\Delta\nu\tau| < 2n+3/2 \end{cases}$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

同理, 若两光源功率谱呈洛伦兹型分布, 在同样条件下可得:

$$|\chi(\tau)| = \exp\left[-\pi\frac{d|\tau|}{L_c}\right] \left| \cos\left(\pi\Delta\nu\tau\right) \right| \quad (9)$$

$$\alpha(\tau) = \begin{cases} 0, & 2n-1/2 < |\Delta\nu\tau| < 2n+1/2 \\ \pi, & 2n+1/2 < |\Delta\nu\tau| < 2n+3/2 \end{cases}$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

上两式表明, 组合光源的应用, 使得干涉信号成为幅度受到高斯函数或指数函数与缓慢变化的余弦函数双重调制的余弦波。由此可见, 组合光源可以改进干涉图的分布, 使零级条纹更容易识别。

假设两光源的强度相等且均为 I_c 、相干长度相同、光谱分布形状相同, 并且满足 $\Delta\nu \ll 2\nu_{01}$ 的条件, 可以得到双组合光源干涉条纹强度的交流分量为:

$$I_c = 2I_c |\chi(\tau)| \cos[2\pi\nu_{01}\tau + \alpha(\tau)] \quad (10)$$

文献[10]在优化设计中, 仅考虑了1级条纹与零级条纹强度差, 但在复相干度函数次级大位置附近的干涉条纹强度并没有有效地减小, 仍然可能给零级条纹的识别带来困难。为此, 在整个干涉图中, 为了使零级条纹幅值明显大于其他所有条纹幅值, 提出了以下的判别条件: 干涉条纹中1级条纹的幅值应等于复相干度绝对值的次级大峰内最大的干涉条纹幅值。为了求解简便起见, 判别条件改为^[11]: 干涉条纹中的1级条纹的幅值应等于或小于复相干度绝对值的次级大峰值。考虑到式(10)推导过程中采用了近似式 $\Delta\nu \ll 2\nu_{01}$ 以及 $|\chi(\tau)|$ 次级峰内干涉条纹的位置不一定与 $1/\Delta\nu$ 重合的因素, 实际优化计算时, 1级条纹峰值可能会小于 $|\chi(\tau)|$ 的次级峰值才能达到最佳的优化结果, 设计中应进行适当的调整或进一步优化。

对高斯型分布, 根据判别条件可得到如下的设计公式:

$$\exp\left[-3.56\left(\frac{\Delta\nu_s}{\Delta\nu}\right)^2\right] \geq \exp\left[-3.56\left(\frac{\Delta\lambda_{s1}}{\lambda_{01}}\right)^2\right] \times \cos\left[\pi\frac{\Delta\lambda_s}{\lambda_{01}}\frac{1}{(\Delta\nu_s/\Delta\nu)}\right] \quad (11)$$

如果设定 $\Delta\nu_s/\Delta\nu = 1/a$ 时可以满足所提出的设计要求, 只要求出 a 值, 就可对光源的参数进行求解。由 $\Delta\nu_s/\Delta\nu = 1/a$ 求得如下计算式:

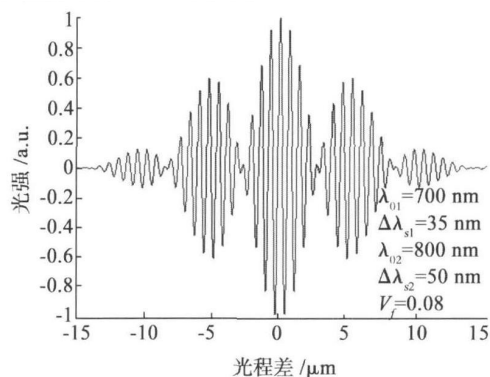
$$\frac{\lambda_{01}}{\lambda_{02}} = a \frac{\Delta\lambda_{s1}}{\Delta\lambda_{s2}} \quad (12)$$

根据前面确定单光源参数的方法, 首先确定 λ_{01} 和 $\Delta\lambda_{s1}$, 由式(12)得到:

$$\lambda_{02} = \frac{\lambda_{01}^2}{\lambda_{01} - a\Delta\lambda_{s1}} \quad (13)$$

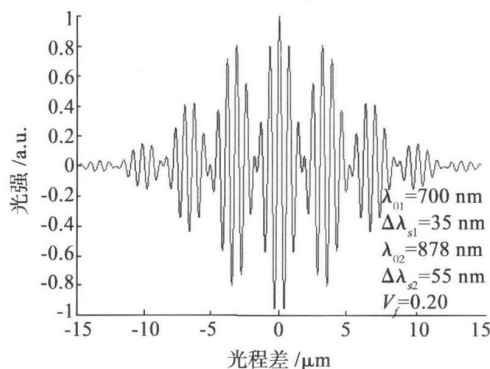
再由式(7)可求出 $\Delta\lambda_{s2}$ 。

若选择 $\lambda_{01} = 700 \text{ nm}$ 及 $\Delta\lambda_{s1} = 35 \text{ nm}$, 当 $a = 4.05$ 时能满足优化设计要求。经优化设计得到 $\lambda_{02} = 878 \text{ nm}$ 及 $\Delta\lambda_{s2} = 55 \text{ nm}$ 。根据优化设计结果, 由式(1)可以求得零级条纹可见度 $V_c = 0.20$ 。图2是计算机模拟的高斯型双组合光源产生的干涉图, 图2(a)表示了光源参数未经优化设计的组合光源产生的干涉图, 图2(b)是经优化设计的组合光源产生的干涉图。



(a) 未优化的组合光源

(a) Randomly chosen parameters



(b) 优化的组合光源

(b) Optimally chosen parameters

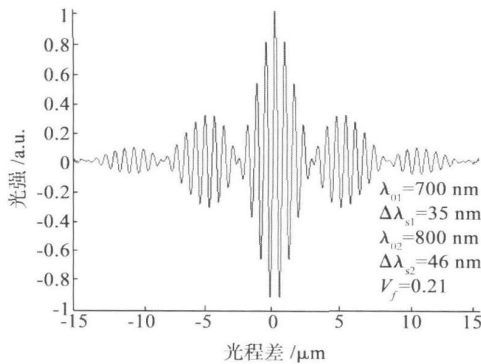
图2 高斯型双组合光源产生的干涉图

Fig. 2 Interferograms generated using a two-synthesized source with Gaussian power density spectrum

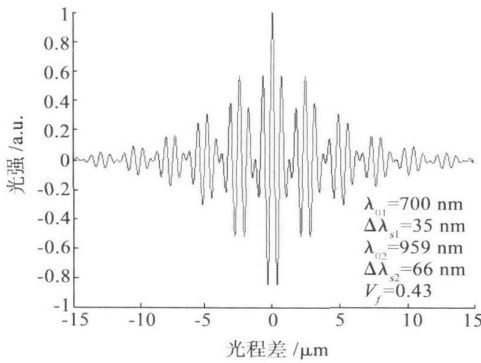
同理,对洛伦兹型光谱分布光源构成的双组合光源,依据同样的判别条件得到:

$$\exp\left[-\pi\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_s}\right] \geq \exp\left[-\pi\frac{\Delta\lambda_s}{\lambda_{01}}\right] \times \cos\left[\pi\frac{\Delta\lambda_s}{\lambda_{01}}\frac{1}{(\Delta\nu_s/\Delta\nu)}\right] \quad (14)$$

若取 $\lambda_{01}=700\text{ nm}$ 及 $\Delta\lambda_s=35\text{ nm}$, 当 $a=5.4$ 时满足设计要求。经优化设计得到 $\lambda_{02}=959\text{ nm}$, $\Delta\lambda_s=66\text{ nm}$ 。洛伦兹型光源干涉图的零级条纹可见度 $V_R=0.43$ 。与高斯型光源的干涉图相比较,零级条纹可见度增大一倍多。图 3(a) 是任意选择洛伦兹型光源参数构成的组合光源产生的干涉图,图 3(b) 是经过优化设计的组合光源产生的干涉图。



(a) 未优化的组合光源
(a) Randomly chosen parameters



(b) 优化的组合光源
(b) Optimally chosen parameters

图 3 洛伦兹型双组合源产生的干涉图

Fig. 3 Interferograms generated using a two-synthesized source with Lorentzian power density spectrum.

2.3 三组合光源的参数设计

设 3 个低相干光源的相干长度分别为 L_{c1} 、 L_{c2} 和 L_{c3} ; 中心频率分别为 ν_{01} 、 ν_{02} 和 ν_{03} , 对应的中心波长分别为 λ_{01} 、 λ_{02} 和 λ_{03} ; 每个光源的频谱宽度分别为 $\Delta\nu_{s1}$ 、 $\Delta\nu_{s2}$ 和 $\Delta\nu_{s3}$, 与此对应的波长宽度分别为 $\Delta\lambda_{s1}$ 、 $\Delta\lambda_{s2}$ 和 $\Delta\lambda_{s3}$ 。假设 3 个光源的相干长度相等 $L_{c1} = L_{c2} = L_{c3} = L_c$, 即 $\Delta\nu_{s1} = \Delta\nu_{s2} = \Delta\nu_{s3} = \Delta\nu_s$, 可得:

$$\frac{\Delta\lambda_{s1}}{\lambda_{01}^2} = \frac{\Delta\lambda_{s2}}{\lambda_{02}^2} = \frac{\Delta\lambda_{s3}}{\lambda_{03}^2} \quad (15)$$

再假设 3 个光源的频谱分布形状相同, 强度相等且均为 I_0 , 并假设中心频率间隔相同, 即有 $\nu_{01} = \nu_{02} + \Delta\nu$ 和 $\nu_{03} = \nu_{02} - \Delta\nu$ 。在这些条件下, 可以得到三组合光源干涉条纹强度的交变分量为:

$$I_{tc} = 3I_0 |\chi(\tau)| \cos[2\pi\nu_{02}\tau + \alpha(\tau)] \quad (16)$$

对高斯型频谱分布的三组合光源, 可以求得:

$$|\chi(\tau)| = \frac{1}{3} \exp\left[-3.56\left(\frac{c\tau}{L_c}\right)^2\right] \times [2\cos(2\pi\Delta\nu\tau) + 1] \quad (17)$$

$$\alpha(\tau) = \begin{cases} 0, & 2n-1/2 < |\Delta\nu\tau| < 2n+1/2 \\ \pi, & 2n+1/2 < |\Delta\nu\tau| < 2n+3/2 \end{cases}$$

$$n=0, 1, 2, 3, \dots$$

采用类似于上一节的判别条件, 即 1 级干涉条纹的峰值不大于 $\tau = 1/\Delta\nu$ 对应的复相干度绝对值的峰值, 可以求得如下的判别公式:

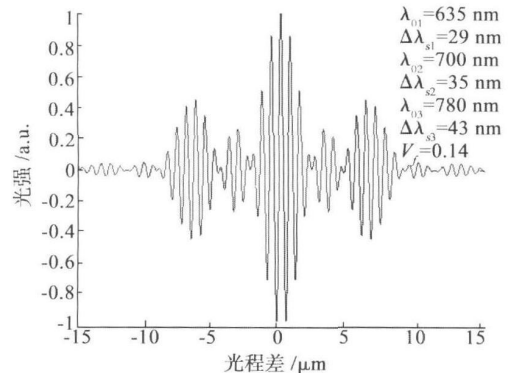
$$\exp\left[-3.56\left(\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_s}\right)^2\right] \geq \frac{1}{3} \exp\left[-3.56\left(\frac{\Delta\lambda_s}{\lambda_{02}}\right)^2\right] \times [2\cos\left(2\pi\frac{\Delta\lambda_s}{\lambda_{02}}\frac{1}{(\Delta\nu_s/\Delta\nu)}\right) + 1] \quad (18)$$

若取 $\Delta\nu_s/\Delta\nu=1/a$ 时满足优化设计, 由此推导出:

$$\lambda_{01} = \frac{\lambda_{02}^2}{\lambda_{02} + a\Delta\lambda_s} \quad (19)$$

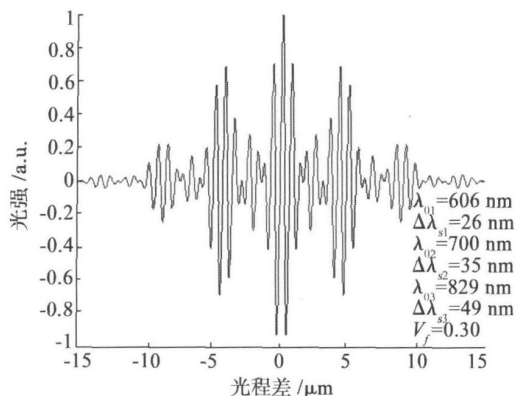
$$\lambda_{03} = \frac{\lambda_{02}^2}{\lambda_{02} - a\Delta\lambda_s} \quad (20)$$

给定 $\lambda_{02}=700\text{ nm}$ 及 $\Delta\lambda_s=35\text{ nm}$, 计算表明当 $a=3.11$ 时满足设计要求。由式 (19)、(20) 和 (15) 求得 $\lambda_{01}=606\text{ nm}$, $\Delta\lambda_{s1}=26\text{ nm}$; $\lambda_{03}=829\text{ nm}$, $\Delta\lambda_{s3}=49\text{ nm}$, 并根据设计结果可以得到 $V_c=0.30$ 。图 4 表示了高斯型三组合光源产生的干涉图, 图 4(a) 是任意选择参数构成的组合光源产生的干涉图, 图 4(b) 是经优化设计的组合光源产生的干涉图。



(a) 未优化的组合光源

(a) Randomly chosen parameters



(b) 优化的组合光源

(b) Optimally chosen parameters

图4 高斯型三组合光源产生的干涉图

Fig. 4 Interferograms generated using a three-synthesized source with Gaussian power density spectrum

同理,对洛伦兹型频谱分布的光源可以求得:

$$\left| \chi(\tau) \right| = \frac{1}{3} \exp(\pi \Delta \nu_s |\tau|) \left| [2 \cos(2\pi \Delta \nu \tau) + 1] \right|$$

$$\alpha(\tau) = \begin{cases} 0, & n - 1/3 \leq |\Delta \nu \tau| \leq n + 1/3 \\ \pi, & n + 1/3 < |\Delta \nu \tau| < n + 2/3 \end{cases}$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

(21)

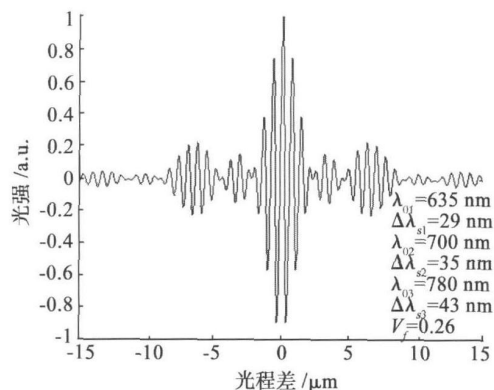
根据前面所叙述的判断条件,有:

$$\exp\left(-\pi \frac{\Delta \nu}{\Delta \nu_s}\right) \geq \frac{1}{3} \exp\left(-\pi \frac{\Delta \lambda_s}{\lambda_{02}}\right) \times$$

$$\left[2 \cos\left(2\pi \frac{\Delta \lambda_s}{\lambda_{02}} \frac{1}{(\Delta \nu_s / \Delta \nu)}\right) + 1 \right]$$

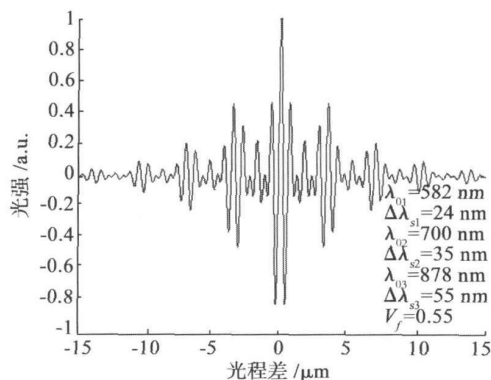
(22)

给定 $\lambda_{02} = 700 \text{ nm}$ 及 $\Delta \lambda_s = 35 \text{ nm}$, 当 $a = 4.05$ 时满足设计要求。由式(19)、(20)和(15)求得 $\lambda_{01} = 582 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s1} = 24 \text{ nm}$; $\lambda_{03} = 878 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s3} = 55 \text{ nm}$, 由设计结果可以得到 $V_f = 0.55$ 。图5中的图(a)和图(b)分别表示了任意选择参数构成组合光源产生的干涉图和经优化设计的组合光源产生的干涉图。



(a) 未优化的组合光源

(a) Randomly chosen parameters



(b) 优化的组合光源

(b) Optimally chosen parameters

图5 洛伦兹型三组合光源产生的干涉图

Fig. 5 Interferograms generated using a three-synthesized source with Lorentzian power density spectrum

3 实验及分析

由上面的分析可知,组合光源比单光源的零级条纹可见度大大增加,组合光源中的三组合光源比双组合光源的零级条纹可见度有明显改进,并且洛伦兹型组合光源比高斯型组合光源更具优越性。组合光源的使用,给干涉系统的准直带来困难,且比起单光源系统成本会增加,但它在提高确定零级条纹位置的准确性方面大大优越于单光源系统。

利用迈克尔逊干涉仪对优化设计的组合光源进行了试验。组合光源中的2个或3个低相干光源的光束经分光棱镜混合后引入干涉仪中,迈克尔逊干涉仪中的一个反射镜由压电陶瓷(PZT)微位移器带动扫描,探测器接收干涉光并对干涉条纹强度进行探测。低相干光源采用超辐射发光二极管(SLD),其光谱近似呈高斯型分布。

对双组合光源优化设计后得到2个光源的中心波长和波带宽度分别为 $\lambda_{01} = 635 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s1} = 18 \text{ nm}$; $\lambda_{02} = 750 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s2} = 25 \text{ nm}$, 对此双组合光源进行实验得到零级条纹可见度 $V_f = 0.1$ 。对三组合光源的优化设计结果为 $\lambda_{01} = 664 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s1} = 20 \text{ nm}$; $\lambda_{02} = 750 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s2} = 25 \text{ nm}$; $\lambda_{03} = 861 \text{ nm}$, $\Delta \lambda_{s3} = 33 \text{ nm}$; 实验得到零级条纹可见度 $V_f = 0.19$ 。上述实验结果与优化设计结果接近,表明了设计的合理性。上一节分析中采用的光源相干长度比上述SLD光源的相干长度要短,因此实验得到的零级条纹可见度相对要小。理论分析也表明,组合光源的零级条纹可见度与光源的相干长度有关,在其他条件相同的情况下,相干长度越长,零级条纹可见度越小。因此,减小单个光源的相干长度可以使零级条纹可见度有效提高。

4 结 论

对白光光源的光谱形状进行选择和对光谱参数进行优化设计,可以使白光光源的零级条纹更容易识别。从干涉图整体上来看,所提出的组合光源优化设计方法更有利于零级条纹识别。

参考文献

- [1] KNO G S, CHM S C. The Mirau correlation microscope [J]. Appl Opt 1990, 29(26): 3775-3783.
- [2] SCHMIT J, OLSZAK A. High-precision shape measurement by white-light interferometry with real-time scanner correction[J]. Appl Opt 2002, 41(26): 5943-5950.
- [3] 陈惠芳,严惠民,施柏煊. 白光干涉法测量金属箔厚度 [J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 6-9.
CHEN H F, YAN H M, SHI B X. Foil thickness measurement with white light interferometry[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument 2003, 24(4): 6-9.
- [4] KM SW, KM G H. Thickness-profile measurement of transparent thin-film layers by white-light scanning interferometry[J]. Appl Opt 1999, 38(28): 5968-5973.
- [5] 陈计金. 非接触白光干涉法测量圆柱筒壁厚[J]. 仪器仪表学报, 1994, 15(1): 94-96.
CHEN J J. Noncontact measurement of cylindrical wall thickness with white light interferometry[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument 1994, 15(1): 94-96.
- [6] WANG D N, NING Y N, GRATAN K Y V. Optimized multiwavelength combination sources for interferometric use[J]. Applied Optics 1994, 33(31): 7326-7333.
- [7] RAO Y J, NING Y N, JACKSON D A. Synthesized source for white-light sensing system[J]. Opt Lett, 1993, 18(6): 462-464.
- [8] BORN M, WOLF E. Principles of optics[M]. UK: Cambridge University Press 2002.
- [9] HE Z, HOTATE K. Distributed photonic sensing with synthesized optical coherence function[J]. Proc SPIE 2005, 5952, 59520J 1-59520J 15.
- [10] 谢建平,张晓世,吴为民,等. 白光干涉仪中多波长值的优化选择[J]. 量子电子学报, 2001, 18(4): 293-296.
XIE J P, ZHANG X SH, WU W M, et al. Optimum selection of multiwavelength in white-light interferometer [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics 2001, 18(4): 293-296.
- [11] 宋桂菊,方祖捷,王向朝. 多光源白光干涉仪的最佳波长组合[J]. 光学学报, 2001, 21(4): 463-467.
SONG G J, FANG Z J, WANG X ZH. The optimum wavelength combination in multi-light-source white-light interferometer[J]. Acta Optica Sinica 2001, 21(4): 463-467.

作者简介



鄢建平, 1982年于长春理工大学获得学士学位, 1993年于中科院光电技术研究所获硕士学位, 现为武汉大学副教授, 主要研究方向为精密测量及仪器。

E-mail: yunjp@163.com

Yun Jianping received B. S. degree from Changchun University of Science and Technology in 1982 and M. S. degree from Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Science in 1993. He is currently an associate professor in Wuhan University; his main research directions are precise test technologies and its instruments.
E-mail: yunjp@163.com



王生怀, 2002年于湖北工业大学获得学士学位, 2005年于湖北工业大学获得硕士学位, 现为华中科技大学 05级博士研究生, 主要研究方向为精密机械与精密测量、表面形貌测量与评定。

E-mail: shwangkh@163.com

Wang Shenghuai received B. S. degree in 2002 and M. S. degree in 2005 both from Hubei University of Technology. He is currently a doctoral candidate in Huazhong University of Science and Technology; his main research directions are precision machine and measurement measurement and evaluation of surface topography.
E-mail: shwangkh@163.com