

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0263-03

光纤连接器端面几何参量自动测量仪的误差分析

蒋和伦¹ 何国田^{2,3}

¹ 重庆工商大学计算机科学与信息工程学院, 重庆 400067
² 重庆师范大学物理学与信息学院, 重庆 400047
³ 重庆大学光电工程学院, 重庆 400020

摘要 光纤连接器是最重要的光无源器件之一,在光纤通信系统中不可或缺;其插入损耗和回波损耗对其性能有较大的影响。为了保证光纤连接器性能及互换性,对其端面几何参量的检测非常必要。对研制出的光纤连接器端面几何参量自动测量仪的原理及特点进行了分析,讨论影响测量精度的因素,并提出相应的改进措施。模拟结果表明,提出的处理方法具有测量精度高、速度快的特点。因此,该结果证明提出的方法可有效用于光纤连接器端面几何参量自动测量中。

关键词 干涉测量;几何参量;光纤连接器;正弦移相技术;表面形貌

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s2.0263

Error Analysis of Geometry Automatic Measurement Parameters of Optical Fiber Connector End Face

Jiang Helun¹ He Guotian^{2,3}

¹ Computer Science and Information Engineering Institute, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China
² College of Physics and Information, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China
³ College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400020, China

Abstract Fiber-optic connector is one of the most important optical passive devices in the integral fiber-optic communication systems. Its insertion and return losses have great impact on its performance. In order to ensure the performance of fiber-optic connectors and interchangeability, it is necessary to test its end face geometric parameters. This paper analyzes the principle and the characteristics of the geometry parameters automatic measurement of the optical fiber connector end face and discusses the factors that affect the measurement accuracy. It also makes appropriate improvements. Simulation results show that the proposed approach has characteristics of measurement accuracy and high speed. Therefore, the results show that the proposed method can be effectively used for the geometry parameters automatic measurement of the optical fiber connector end face.

Key words interferometry; geometric parameters; fiber optic connectors; sinusoidal phase-shifting technology; surface morphology

1 引 言

光纤连接器是光纤通信系统中使用量最大的光无源器件,它是光纤激光器、光信息处理系统、光纤通信系统、光学仪器仪表中被广泛应用的耦合器件,已广泛用于从光源与光纤、光纤与光纤以及光纤与探测器之间的光耦合^[1]。

各种光耦合要求光纤连接器必须具备体积小、

重量轻、光损耗低、可靠性高、便于操作及互换性等特点^[2,3]。这就要求在光纤连接器制造过程中及后期对其进行检测,为研磨与抛光工艺、成品检测和装配过程提供可靠的依据,实现具有符合特定要求的宏观与微观几何表面形貌,降低光损耗和提高传输的可靠性,达到最佳耦合的目的。因此,对光纤连接器端面的检测研究具有十分重要的意义。光纤连接

基金项目: 国家自然科学基金(60674097)、中国博士后科学基金(20080340742)和重庆市项目(KJ090821)资助课题。

作者简介: 蒋和伦(1965—),男,副教授,硕士,主要从事电子仪器及检测等方面的研究。E-mail: jianghelun@sina.com

器端面插入损耗和回波损耗是评价其性能的主要指标,其端面几何参数对插入损耗和回波损耗有很大影响^[4~6]。在互相配合使用时,还存在互不匹配性能问题。对其检测主要有步进移相法,存在精确移相难等问题。

由于半导体激光器(LD)具有稳定的单模输出、波长可调、低电流损耗以及尺寸小、价格低等优点^[7~10],利用半导体激光器的波长可调谐性对它的输入电流进行直接调制,很容易实现测量精度较高的光外差干涉技术。本文基于正弦相移技术(SPM),提出光纤连接器端面几何参数的检测方法,并进行误差分析。

2 测量原理

图1为光纤连接器端面几何参数检测的SPM干涉测量仪原理图。半导体激光器(LD)为光源。激光器发出的光经透镜组L1准直扩束后,被分束器BS分成两束平行光。平行光的一束被反射镜M反射作为参考光,另一束经透镜组L2后,由被测光纤连接器端面反射作为物光。CCD光敏面上接收的是两束光的干涉图像。面阵CCD尺寸为0.85 cm,像素数为480×720。CCD摄像头捕获的模拟视频干涉图经过模/数转换后送入计算机进行傅里叶变换处理,得到光纤表面形貌参数^[5](曲率半径 R ,顶点偏移量 δ ,光纤高度 H)。

高精度信号发生器输出的正弦电压经半导体激光调制器(LM)驱动LD,使LD发出的光的波长随正弦变化

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \beta a \cos(\omega_c t + \theta), \quad (1)$$

β 为LD波长的光热调制效率, λ_0 为与 I_0 对应的半

导体激光的中心波长, $a = K_{LM}A_0K_{LM}$ 是LM的调制系数, A 是正弦电压的振幅, ω_c 为调制频率。

CCD探测的干涉信号交流分量为^[8]

$$s(x, y, R, \delta, H) = s'_0 + s_0 \cos[z \cos(\omega_c t + \theta) + \alpha(x, y, R, \delta, H)], \quad (2)$$

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \Delta\lambda(t) = \lambda_0 + \beta_1 A \cos(\omega_c t + \theta), \quad (3)$$

$$g(t) = g_0 + \Delta g(t) = \beta_2 [s_0 + A \cos(\omega_c t + \theta)], \quad (4)$$

式中 s_0 为干涉信号振幅, s'_0 为干涉信号直流分量, z 称为正弦相位调制深度,相位 $\alpha(x, y, R, \delta, H)$ 为被测测量光纤形貌信息。由(3)式和(4)式知,波长调制同时出光强调制,其光强调制可表述为

$$s'_0(x, y, t) = g(t - \tau_0) + g(t - \tau_r), \quad (5)$$

$$s_0(x, y, t) = 2 \sqrt{g(t - \tau_0)g(t - \tau_r)}. \quad (6)$$

由(5)式和(6)式知,光强调制将引入误差。对(2)式进行归一化处理,得

$$s_1(x, y, R, \delta, H) = \cos[z \cos(\omega_c t + \theta) + \alpha(x, y, R, \delta, H)], \quad (7)$$

对(7)式进行傅里叶变换得

$$\begin{aligned} F_1(\omega + \omega_c) &= -J_1(z) \exp(j\theta) \times \\ &\quad \mathcal{F}\{\sin[\alpha(x, y, R, \delta, H)]\}, \\ F_2(\omega + 2\omega_c) &= -J_2(z) \exp(j2\theta) \times \\ &\quad \mathcal{F}\{\cos[\alpha(x, y, R, \delta, H)]\}. \end{aligned} \quad (8)$$

对(7)式进行反傅里叶变换为

$$\begin{aligned} \mathcal{F}\{\sin[\alpha(t)]\} &= -F_1(\omega + \omega_c) / J_1(z) \exp(j\theta), \\ \mathcal{F}\{\cos[\alpha(t)]\} &= -F_2(\omega + 2\omega_c) / J_2(z) \exp(j2\theta). \end{aligned} \quad (9)$$

由(9)式得 $\sin \alpha(x, y, R, \delta, H)$ 和 $\cos \alpha(x, y, R, \delta, H)$,并根据反正切函数求出相位 $\alpha(x, y, R, \delta, H)$,从而计算出被测光纤端面形貌相位。根据 $\alpha(x, y, R, \delta, H)$ 值及参考文献[1]方法可解算出光纤端面参数 (R, δ, H) 。

3 模拟实验与误差分析

模拟条件:LD的波长为660 nm,调制浓度 $z = 2.33$ rad,调制频率 $\omega_c = 600 \pi$, $\theta = \pi/3$ 。被测光纤连接器端面大小为 $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$, $R = 10 \text{mm}$, $\delta = 22.3 \mu\text{m}$, $H = 36.2 \text{nm}$ 。信噪比(SNR)分别为30 dB和60 dB。采样频率为4.8 kHz,一个调制周期内采集16幅图,连续采集16个周期。CCD像素设为300 pixel×300 pixel。

利用(2)式,(4)式及文献[5]方法,模拟出光纤连接器端面如图2所示。

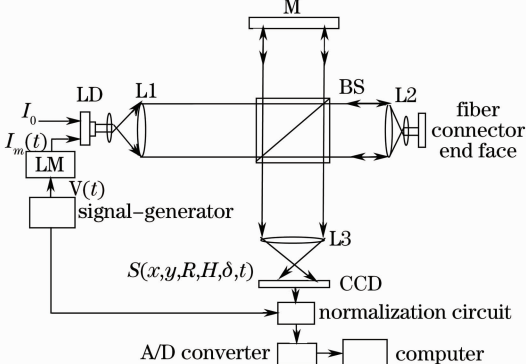


图1 SPM干涉测量仪原理图

Fig. 1 Sinusoidal phase modulating laser-diode interferometer for measuring geometric parameters of fiber connector end face

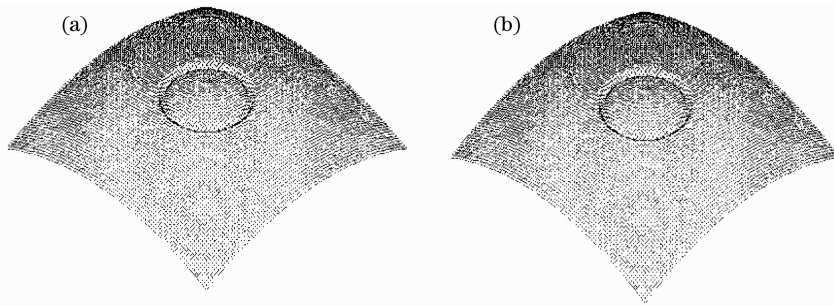


图2 (a)信噪比 30 dB 时,模拟的被测光纤连接器端面的形貌图;(b)信噪比 60 dB 时,模拟的被测光纤连接器端面的形貌图

Fig. 2 (a) Simulation of the measured optical fiber connector end face at SNR=30 dB; (b) simulation of the measured optical fiber connector end face at SNR=60 dB

当信噪比一定时,重复进行 20 次模拟,其均方根误差小于 1 nm。基于正弦相位调制干涉测量方法,模拟得到的 R, δ, H 值同模拟条件给出的值相比较,其误差小于 1%,表明本模拟方法是可行的。

本方法的误差有乘性噪声、加性噪声、光强调制等引入。乘性噪声由光路引入,设计光路应避免光的多次反射。加性噪声由电路引入,通过多次测量求均值可消除。波长调制引入光强调制,对干涉信号进行归一化处理,即由(7)式可消除其误差。

4 结 论

利用正弦相位调制干涉测量技术,提出一种测量光纤连接器端面几何参数的新方法。该方法利用 LD 作光源,无需对含有噪声的干涉信号进行专门的滤波降噪电路,就能实现高精度光纤连接器端面的几何参数检测。经模拟结果表明,提出的测量方法抑制噪声能力强,测量精度高,能在一定的噪声环境下进行可靠的光纤连接器端面几何参数的测量。该干涉仪移相方便,结构简单,重量轻,精度高,可应用于工业生产中。

参 考 文 献

- 1 Lu Yuangang, Wang Xiangzhao, Zhong Xianghong *et al.*. Interferometer for end face geometry parameter measurement of optical fiber connector [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(3): 341~345
- 路元刚, 王向朝, 钟向红等. 光纤连接器端面几何参量自动测量仪[J]. *光学学报*, 2005, **25**(3): 341~345
- 2 Ma Tian, Huang Yong, Yang Jinlong. Optical fiber connector [J]. *Optical Technique*, 2002, **28**(2): 160~162

- 马 天, 黄 勇, 杨金龙. 光纤连接器[J]. *光学技术*, 2002, **28**(2): 160~162
- 3 Yang Guogang. *Modern Optical Testing Technology* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1997
- 杨国光. *近代光学测试技术*[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997
- 4 Ding Zhibua, Wang Guiying, Wang Zhijiang *et al.*. An intelligent profilometer for roughness measurement [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 1996, **17**(1): 25~30
- 丁志华, 王桂英, 王之江等. 智能化表面粗糙度检测仪[J]. *计量学报*, 1996, **17**(1): 25~30
- 5 Lu Yuangang, Wang Xiangzhao, Zhong Xianghong *et al.*. Sinusoidal phase modulating interferometer for measuring geometric parameters of optical fiber connector end face [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2004, **15**(6): 667~670
- 路元刚, 王向朝, 钟向红等. SPM 光纤连接器端面几何参数干涉测量仪[J]. *光电子·激光*, 2004, **15**(6): 667~670
- 6 Li Lu, Wang Ming. A testing system for optical fiber connector end surface based on microscopic interferometry [J]. *J. Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition)*, 2009, **9**(1): 84~87
- 李 路, 王 鸣. 光纤连接器端面的显微干涉测试系统[J]. *南京师范大学学报(工程技术版)*, 2009, **9**(1): 84~87
- 7 X. F. Wang, X. Z. Wang, F. Qian *et al.*. Photothermal modulation of laser diode wavelength: application to sinusoidal phase modulating interferometer for displacement measurements [J]. *Opt. and Laser Technol.*, 1999, **31**(8): 559~564
- 8 He Guotian, Wang Xiangzhao, Zeng Aijun. Real-time surface profile measurement using sinusoidal phase-modulating interferometry [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11): 1997~2002
- 何国田, 王向朝, 曾爱军. 物体表面形貌的正弦相位调制实时干涉测量技术研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(11): 1997~2002
- 9 Osami Sasaki, Kazuhide Takahashi, Takamasa Suzuki. Sinusoidal phase modulating laser diode interferometer with a feedback control system to eliminate external disturbance [J]. *Opt. Eng.*, 1990, **29**(12): 1511~1515
- 10 Peter de Groot. Three-color laser-diode interferometer [J]. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(25): 3612~3616