

## 三光束光纤干涉仪

郭斯淦 郑顺旋 梁振斌 余永安

(中山大学物理系, 广州) (香港浸会学院物理系)

### A three-beam optical fiber interferometer

Guo Sigan, Zheng Shunxuan, Liang Zhenbin

(Department of Physics, Zhonshan University, Guangzhou)

Yu Yongan

(Department of Physics, The Baptists Institute, Hongkong)

**提要:** 本文提出了一种三光束多模光纤干涉仪, 研究了它的某些特性, 与其它干涉仪相比, 它有独特的优点。

**关键词:** 三光束, 光纤干涉仪, 光纤传感器

### 一、前言

世界上自1977年提出光纤传感技术以来, 由于光纤具有体积小、可弯曲、轻便、抗电磁干扰、抗腐蚀、信息容量大等优点, 因而光纤传感技术已成为一热门课题, 各国竞相发展。但总的说来, 仍属初始阶段, 许多基础工作有待发展。在光纤传感技术中, 传输的光参数主要为光的位相、振幅、偏振、波长和光纤斑纹<sup>[1]</sup>。在位相传输中, 由于光的频率高, 所以只能通过信号光与参考光的干涉来表达光的位相变化。目前, 已报道的光纤干涉仪共有四种, 迈克尔逊(Michlson)光纤干涉仪; 马赫-陈德尔(Mach-Zehnder)光纤干涉仪; 萨格纳斯(Sagnac)光纤干涉仪及法布里-珀罗(Fabry-Perot)光纤干涉仪<sup>[2~6]</sup>。这些光纤干涉仪分属于双光束及多光束光纤干涉仪。它们各有优缺点, 亦各有其应用范围。本文作

者利用三缝干涉原理, 提出了一种三光束光纤干涉仪, 测试了它的某些性能。三光束光纤干涉仪与已报道的四种光纤干涉仪相比, 有其独特之处。它同样可作为光纤传感技术的一种基本器件。

### 二、实验装置与结果

本实验装置如图1所示。图中HN为He-Ne激光器, 波长为632.8nm, 输出功率为5mW, 多模;  $M_1$ 、 $M_2$ 为分束镜,  $M_1$ 的反射率为30%,  $M_2$ 的反射率为50%;  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 为起偏器, 为尼科尔棱镜;  $B$ 为楔形镜, 楔角为30';  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 为耦合目镜;  $H$ 为光纤夹持器;  $C$ 为照相机(或毛玻璃屏)。光纤长度随意, 但要其三光路的光程接近相等, 这样, 干涉级次较低。我们采用的是多模阶跃式石英光纤, 光纤直径240 $\mu$ m, 纤芯直

收稿日期: 1988年1月4日。

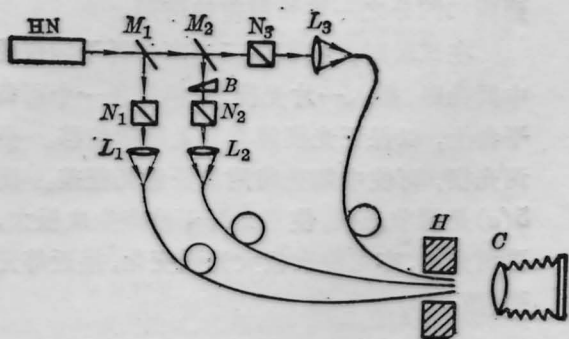


图 1

径  $130\ \mu\text{m}$ 。

上述所有元件放置在一桌面上，由于是光纤，故元件可以任意放置，不必严格在一水平面上，但三光纤的光程(包括在空气传输部份)应尽量相等。三光纤的出射端则要夹紧，互相平行。三光纤保持在同一水平面上(干涉条纹与此水平面垂直)，这样可保证从三光纤出射的三光束之间夹角小，条纹间隔宽，易于观察。观察干涉条纹时，可用一毛玻璃屏在光纤出射端前后移动，可观察到清晰的干涉条纹。由于我们使用的是多模光纤，所以干涉条纹是叠加在光纤斑纹场上的。移开毛玻璃屏，放上照相机，那么，在透镜焦平面上同样可观察到干涉条纹。用或不用相机，均可拍得清晰的干涉条纹。图 2(a) 是挡了一条光路，成为马赫-陈德尔干涉仪时，双光束产生的干涉条纹(使用天津红快型光谱干板拍摄)。图 2(b) 是三光束光纤干涉产生的干涉条纹。显然，在二主极大光强中间，产生一条次极大的干涉条纹。图 2(b) 与 (a) 相比较，三光束光纤干涉仪的主最大条纹，较双光束的干涉条纹锐，反差亦好。

由于氦-氖激光输出不偏振，所以我们在每一光路中，加上一块尼科尔棱镜，以使每一光路产生偏振光，以此来改善干涉条纹的质量。图 3(a) 是三光路产生相同偏振方向的光束时，干涉条纹的照片。显然，主、次极大的光强比增大。若把其中一个尼科尔棱镜转动  $90^\circ$ ，这时又成为双光束光纤干涉仪，次极大消失

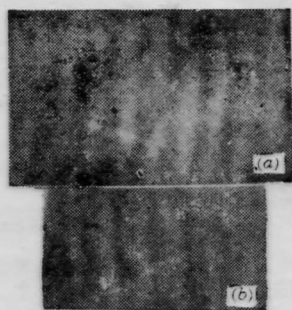


图 2

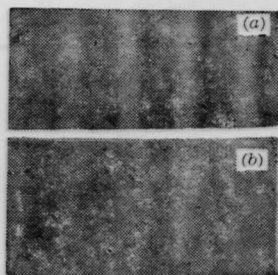


图 3

(图 3(b))。

### 三、改变中间光路光程的试验

我们设计三光束光纤干涉仪的目的，是为光纤传感技术开发一种新装置。因而，我们改变其中一光路的光程(中间光路)，以模拟功能型的敏感信号对光程的影响。

从三缝干涉知道，三缝干涉产生的干涉条纹，是在二主极大之间产生一次极大(见表 1)。次极大位于干涉级序  $\pm 1, \pm 3, \dots$  等奇级序位置。从上面的实验亦可知，三个多模光纤光束干涉亦有同样效果。假若在三光纤的中间光纤加一光程差，显然，各级序之间光强比发生变化。若加上四分之一波长光程差时，其结果如表 2 所示。各级序光强相等(表 2)。

但中间光纤作为光纤传感器的功能臂来说，外界信号使中间光纤增加的光程不一定是四分之一波长，而是任意的。假设三光纤中左右两光纤干涉，产生一系列干涉条纹，在偶级序其合成光波振幅矢量为  $OE$ (见图 4)，

表 1

三光束干涉级次 $m$	-2, -1, 0, 1, 2				
第一光束的位相 $\varphi_1$	-2 $\pi$ , - $\pi$ , 0, $\pi$ , 2 $\pi$				
第二光束的位相 $\varphi_2(\varphi_2=\varphi_1+m\pi)$	-4 $\pi$ , -2 $\pi$ , 0, 2 $\pi$ , 4 $\pi$				
第三光束的位相 $\varphi_3(\varphi_3=\varphi_1+2m\pi)$	-6 $\pi$ , -3 $\pi$ , 0, 3 $\pi$ , 6 $\pi$				
振幅矢量	↑	↓	↑	↓	↑
	↑	↑	↑	↑	↑
	↑	↓	↑	↓	↑

表 2

序数 $m$	-2, -1, 0, 1, 2				
第一光束位相 $\varphi_1$	-2 $\pi$ , - $\pi$ , 0, $\pi$ , 2 $\pi$				
中间光束位相 $(\varphi_2=\varphi_1+m\pi+\frac{\pi}{2})$	-				
	$-\frac{7}{2}\pi$	$-\frac{3}{2}\pi$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{5}{2}\pi$	$\frac{9}{2}\pi$
第三光束位相 $(\varphi_3=\varphi_1+2m\pi)$	-6 $\pi$ , -3 $\pi$ , 0, 3 $\pi$ , 6 $\pi$				
振幅矢量	↑	→	↓	→	↑
	↑	→	↓	→	↑

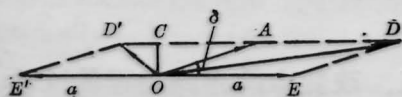


图 4

设数值为  $a$ , 则奇级序干涉条纹的合成波振幅矢量为  $OE'$ , 显然数值亦为  $a$ , 但方向相反。因为外界对中间光纤作用, 引起的附加光程差为任意, 所以可设中间光纤光波的相位与  $OE$  矢量相差为  $\delta$ , 中间光纤光波矢量用  $OA$  表示, 其数值为  $b$ 。偶级序条纹因与  $OA$  干涉而加强, 以  $OD$  矢量表示。奇级序条纹减弱, 由  $OD'$  表示。从图可知

$$\overline{OD}^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos \delta$$

$$\overline{OD'}^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \delta$$

$$\overline{OD}^2 - \overline{OD'}^2 = 4ab \cos \delta = 4\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} \cos \delta$$

式中光强  $\overline{OD}^2$ 、 $\overline{OD'}^2$  及  $I_1$ 、 $I_2$  均可测量。由此可见, 从三光纤干涉条纹两相邻的强度差, 可以得知中间光纤与两边光纤的光程差(位相差), 或中间光纤负载前后的光程变化, 这样, 从光强的数值可感知外界信号的大小。

当  $\overline{OD}^2 - \overline{OD'}^2 = 0$  时,  $\delta = 90^\circ$ , 这就回复

到附加四分之一波长程差的情形。

在试验时, 我们在三光束光纤干涉仪的中间光路, 插入一片光楔, 光楔装在一个可调平台上, 以保证光楔能垂直光路微位移。微调光楔, 可使中间光路附加任意光程差。图 5(a) 是调节光楔, 使三光纤干涉产生次极大, 再调光楔, 亦可使次极大光强变化, 接近等光强(图 5(b))。

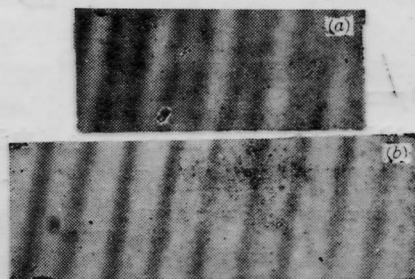


图 5

#### 四、结 论

三光束光纤干涉仪可作为一种光纤传感用的测位相变化的传感装置, 它的测量参数与双光束的马赫-陈德尔光纤干涉仪不相同。后者是产生等光强的干涉条纹, 当其中一臂光纤光程变化时, 干涉级次变化, 相当于干涉条纹移动。测量时, 在干涉条纹平面上, 用光电法扫描, 计算条纹变化数。而三光束光纤干涉仪则不同, 当敏感臂光程变化时, 引起主极大与次极大的光强变化, 在固定位置用两个接收器分别接收, 由电子学线路来完成相减运算, 因此, 它是一种新的光纤干涉测量方法。

三光束光纤干涉仪产生的干涉条纹的清晰度和锐度都比马赫-陈德尔干涉仪要好。这大大改善了测量精度。

从实验中可知, 二参考臂加起偏器, 而在敏感臂光纤中与电、磁等跟偏振有关的器件相接, 那么, 亦可以从干涉条纹的反差、主次极大的变化等参数来测量敏感臂偏振面变化的程度。(下转第655页)

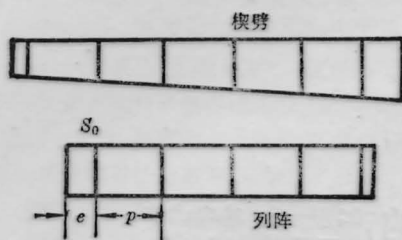


图4 干涉环在阵列上的位置

$$N = \text{int} \left( \frac{2d}{\lambda_1} + 0.5 \right) \quad (21)$$

波长的第二次估计值

$$\lambda'' = \frac{2d}{N} \quad (22)$$

就是所测的入射激光波长值。波长测量精度取决于厚度  $d_0$  和劈角  $\alpha$  的标定精度, 以及位相  $\phi$  的测量精度。

(上接第646页)

实验中, 我们所使用的是多模光纤, 所以干涉条纹是调制在光纤斑纹场上的。假若改用单模光纤, 并采用基横模的 He-Ne 激光, 干涉条纹质量会更好。

另外, 如果采用光纤星形耦合器代替各个激光分束器, 这种装置将会更加轻便小巧。

黄伟平、高峰、李月友同志参加大量工作, 在此谨表谢意。

(上接第672页)

$$\bar{R} = \frac{|E_4(0, t)|^2}{|E_3(0, t)|^2} = |H_{42}(0)|^2 \frac{I_{2L}(t)}{I_{30}(t)}$$

根据前面的分析,  $E_3(z, t)$  的相位共轭光的时间信息, 完全由  $E_{2L}(t)$  决定, 与  $E_{30}(t)$  无关, 这对于利用相位共轭技术实现同光路双向信

息传递, 具有重要的意义。

表1 激光波长测量结果

波长(nm)空气	测量值(nm)	相对精度
Ar <sup>+</sup> 496.507	496.508	$2.0 \times 10^{-6}$
CVL 510.554	510.555	$1.9 \times 10^{-6}$

### 参 考 文 献

- 1 R. Salimbeni, *Opt. Lett.*, **5**, 39 (1980)
- 2 J. L. Hall *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **29**, 367 (1976)
- 3 P. Juncar, *Opt. Commun.*, **14**, 438 (1975)
- 4 M.B. Morris, *Appl. Opt.*, **23** (21), 3862 (1984)

### 参 考 文 献

- 1 余永安 *et al.*, *仪器仪表学报*, **8** (1), 77 (1987)
- 2 G. M. Davis *et al.*, *Fiberoptic Sensor Technology Handbook*
- 3 李广平, *国外激光*, (12), 1 (1984)
- 4 张志鹏, *光纤传感器及其应用论文专辑*, **10**, 13 (1985)
- 5 G. Thomas *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-18** (4), 626 (1982)
- 6 V. I. Balaev *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.* **14** (1), 5 (1984)

### 参 考 文 献

- 1 M. Cronin-Golomb *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-20** (1)
- 2 N. V. Kukhtarev *et al.*, *Ferroelectrics*, **22**, 949 (1979)