

# 单模光纤干涉仪温度与热辐射 传感特性的测量

黄肇明 杨小红

(上海科学技术大学物理系)

## 提 要

我们利用单模光纤构造了一台 Mach-Zehnder 干涉仪, 并研究了它对温度和热辐射的传感特性。获得的结果是对温度和热辐射的响应率分别约为  $110 \text{ rad/m}^\circ\text{C}$  和  $3.7 \times 10^{-5} \text{ rad/m erg}$ 。在热辐射探测中, 我们估计被光纤所吸收的辐射能仅为通过整个接收面积的  $5 \sim 8\%$ 。

## 一、光纤 Mach-Zehnder 干涉仪系统

图 1 是干涉系统的方框图。光源 1 用 He-Ne  $6328 \text{ \AA}$  激光器。激光束经分光镜 2 后分为两束, 再经  $10 \times$  显微物镜 3 聚焦后注入由调整架 4 夹持的光纤中。每一输出光束都必须得到如图 2 所示的良好基模圆光斑。它是一个圆形的高斯光束。因为激光的相干面积足够大, 我们将两光纤的输出光束直接合并, 便可得到如图 3 所示的良好干涉条纹。光纤参考臂置于恒温器 6 的  $0^\circ\text{C}$  冰水之中, 光纤探测臂是将光纤绕成圆盘形, 并置于  $\phi 65$  的铝盒 5 之中。在测量温度特性时, 铝盒内充水, 使光纤均匀受热以便于测量光纤的温度。在测量热辐射特性时, 盒内不加水, 并且将光纤盒竖直地放置于黑体炉的辐射孔之正前方。黑体炉温为  $400\text{K}$ 。温度或热辐射引起的干涉条纹的变化, 用硅靶摄像管 7 及电视机 8 来监测, 并且用光电倍增管 9 和 X-Y 记录仪 10 记录干涉条纹的变化。

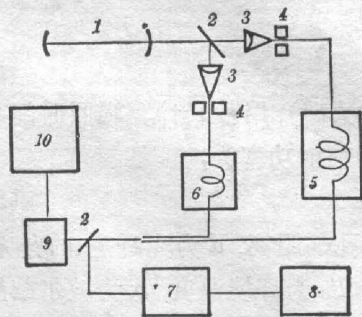


图 1 实验系统方框图  
Fig. 1 Block diagram of the experimental system



图 2 基模 ( $LP_{01}$ ) 光斑  
Fig. 2 Fundamental mode ( $LP_{01}$ ) pattern

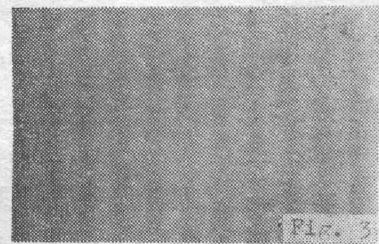


图 3 光纤 Mach-Zehnder 干涉条纹  
Fig. 3 Interference fringes of the (bulk) optic fiber Mach-Zehnder interferometer

环境因素对实验结果有很大的影响。它们主要来自底座的振动、室温的变化、空气的流动以及实验人员靠近光纤带来的热辐射的影响等。为了减少环境的影响,将暴露在空气中的部分光纤用双层套管保护起来。另外,选择在深夜进行实验。实验人员远离光纤探测臂,以尽量减少人体辐射的影响。采取了这些措施之后,干涉条纹的漂移是很小的。

## 二、实验结果与讨论

### 1. 单模光纤 Mach-Zehnder 干涉仪的温度特性(见图 4 所示)

我们使用的光纤是为光通信而研制的,其截止波长在  $0.8\mu\text{m}$  左右,纤芯直径约为  $9\mu\text{m}$ 。光纤外包皮有两层,内层是环氧树脂,外包层是很厚的一层硅酮橡胶。图 4 中实验曲线 1 是剥去硅酮橡胶的实验结果。曲线 2 是未剥去硅酮橡胶的实验曲线。曲线 3 是文献[1]根据公式

$$\Delta\phi/\phi \Delta T = (\partial n/n \partial T) + \{\varepsilon_z + n^2[(\varepsilon_r(P_{11} + P_{12})/2) - (\varepsilon_z P_{12}/2)]\}/\Delta T \quad (1)$$

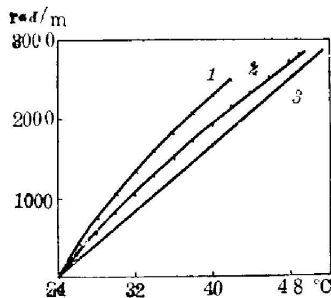


图 4 单模光纤干涉仪的温度特性

Fig. 4 Temperature characteristic of the single-mode fiber interferometer.

的计算结果。式中  $\phi$  是相位,  $n$  是折射率,  $P_{11}$ 、 $P_{12}$  是光弹性系数,  $\varepsilon_z$ 、 $\varepsilon_r$  是轴向和径向应变。计算结果  $\Delta\phi/\phi \Delta T = 0.715 \times 10^{-5} \text{ rad}/^\circ\text{C}$ , 或者  $\Delta\phi/L \cdot \Delta T = 104 \text{ rad}/\text{m}^\circ\text{C}$ 。曲线 3 是后一种计算的结果。

我们认为上述计算值可能是作者在某个温度下计算出来的,而未计及  $n$  和  $P_{11}$ 、 $P_{12}$  随温度的变化以及  $\varepsilon_r$  随光纤内部径向温度梯度的变化,造成计算值与实验曲线不符。当然,若将计算值推广到整个温度范围可能也是不适当的。

我们还认为开始升温的几度内,光纤内部的径向温度梯度很大,所以  $\varepsilon_r$  也很大。随着温度的提高,内部径向温度梯度逐渐下降而趋向平稳。这就导致了  $\Delta\phi/L \cdot \Delta T$  值逐渐下降,最后甚至小于  $104 \text{ rad}/\text{m}^\circ\text{C}$ 。

比较一下曲线 1 和曲线 2。显然由于硅酮橡胶的存在使光纤内部的温度梯度下降。硅酮橡胶的厚层使光纤对温度的变化不敏感。

### 2. 热辐射特性的测量

在黑体炉温度与环境温度均稳定的情况下,打开快门(耐火砖),用秒表计算辐照时间  $t$ ,并记录下  $t$  时间内干涉条纹的变化数  $m$ 。光纤探测臂受到的辐射功率为:

$$P = [\varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4)/\pi l^2] (\pi D^2/4) L d, \quad (2)$$

式中  $\pi D^2/4$  是黑体炉辐射孔的面积,  $l$  是光纤接收面到辐射孔的距离,  $d$  为光纤总的外径(包括硅酮橡胶),  $L$  为被照射光纤的长度,  $T$  为黑体炉温度,  $T_0$  为环境温度,  $\sigma$  为玻尔兹曼常数,  $\varepsilon$  为黑体辐射效率( $\varepsilon = 0.95$ ),那么光纤探测器的响应率  $R$  为:

$$R = 2\pi m/P t I_0. \quad (3)$$

我们得到的平均响应率为  $R = 3.7 \times 10^{-5} \text{ rad}/\text{m} \cdot \text{erg}$ 。

实验所用的光纤是没有剥去硅酮橡胶的,其总直径为  $0.4 \text{ mm}$ ,而实际光纤直径为  $0.12 \text{ mm}$ 。所以大部分热辐射能是被硅酮橡胶所吸收。我们估计石英光纤吸收到的辐射能

为 5~8%。

我们还发现若用高温源(如电烙铁)靠近光纤探测臂,再进行热辐射实验,则  $R$  值显著下降。其恢复时间长达二天以上。初步认为这是光纤内部长久地保持残留热应变所致。这个“时效”问题很显著,并且是有害的。

光纤干涉仪如用于热辐射探测和测温上,首先,要去掉硅酮橡胶代之以吸收热辐射很敏感的涂层,以提高  $R$  值——“增敏”;其次参考臂光纤应当用硅酮橡胶之类的涂层,使之对温度和热辐射有缓冲作用而“脱敏”。最后应有一个廉价且实用的电子学方法,来提高对干涉条纹相移的探测能力。如果能把探测相移的能力提高到  $10^{-7}$  rad<sup>[2]</sup>,则可望测到  $10^{-10}$  J 的热辐射能。

### 参 考 文 献

- [1] A. P. Pan, *et al.*; “An Investigation Fiber-Optic Mach-Zehnder Interferometer”, (The academic report on International Symposium on Optical Waveguide Sciences, 1983, Kweilin, China).
- [2] T. G. Giallorinzi, *et al.*; *Opt. & Las. Tech.*, 1981, **13**, No. 2 (Apr), 75.

## Temperature and heat radiation sensitivity of a single-mode fiber interferometer

HUANG ZHAOMING AND YANG XIAOJIANG  
(Shanghai University of Science and Technology)

(Received 23 December 1983; revised 23 March 1984)

### Abstract

A Mach-Zehnder interferometer using single-mode fibers has been built, and its temperature and heat radiation sensitivity has been investigated. The results are that the temperature responsivity and the heat radiations responsivity are about 110 rad/m°C and  $3.7 \times 10^{-5}$  rad/m erg respectively. In heat radiation measurement, the absorbed heat radiation energy in the optical fiber is estimated to be 5~8% of the total energy passing the receiving area.