

# Ld 光纤温度传感及分子固有电矩 对测温精度的影响

里佐威 韩玉华 姜山青 侯兰田  
(吉林大学物理系)

**摘要**——本文介绍了液芯光纤传感测温原理和实验装置。理论计算和实验结果证明,用此方法可测得  $10^{-4}^{\circ}\text{C}$  温度的微小变化量。

## 一、引 言

我们研制了一种 Ld 多模光纤,它是以石英为包皮的空芯光纤,芯内充以特种液体,它不仅可用于通讯,光谱研究等方面;而且当用于传感温度、压力、电磁场时,具有石英光纤所不具备的特性<sup>[1]</sup>。用于温度传感时,它的灵敏度极高。我们用 4.5 m 长 Ld 光纤做为传感元件,已测到  $10^{-4}^{\circ}\text{C}$  的微小温度变化量。

## 二、光纤传感测温原理

光纤传感有传感型和传光型两类。我们采用传感型光纤测温,即用 Ld 光纤做为敏感元件。实验中我们同时也利用 Ld 光纤做为传输光信道用。实验原理如图 1 所示。

很多物质,包括气体、固体和液体,其折射率都具有随温度变化的特性<sup>[2]</sup>。作为敏感元的 Ld 光纤,当温度发生变化时,制成 Ld 光纤材料的折射率  $n$  随着发生变化,这就使测量光路的位相发生变化。参考光纤放在某一恒温区,不受温度变化影响,其相干光位相不发生变化。由于通过敏感光纤和参考光纤的两束相干光位相差发生变化,必然造成干涉条纹移动<sup>[3]</sup>,只要计算出干涉条纹移动的数目,便可测出温度的微小变化。

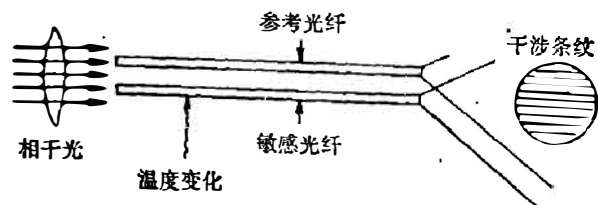


图 1 温度传感原理

Fig. 1 The principle of temperature sensing.

### 三、实验装置及步骤

#### 1. 实验装置

分别选用两根 Ld 光纤, 一根长 4.5 m, 这根光纤做敏感元; 另一根长 1 m 做参考元。为了补偿环境对实验影响, 敏感元光纤传导光信道部分的长度与参考元光纤长度相等, 并处于同样条件下。用 He-Ne 激光器做为相干光源, 同时入射两根光纤; 这两根光纤都放在一个暗箱中(见图 2)。

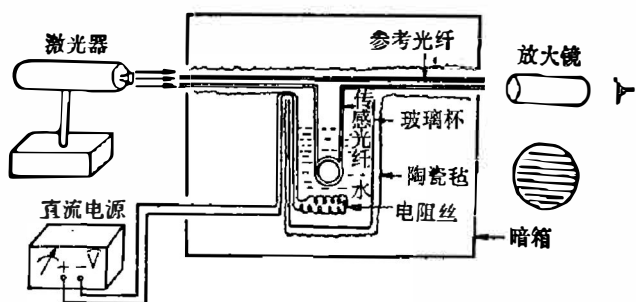


图 2 实验装置图

Fig. 2 The schematic of experimental set-up.

做为敏感元件的光纤放入用陶瓷纤维毡绝热的玻璃杯中, 玻璃杯中盛有水, 水中放入一个电阻为  $R$  的电阻丝, 其两端与箱外的直流电源连接。用一放大镜来观察干涉条纹及其移动。

#### 2. 实验步骤

(1) 调节激光器照射两根光纤, 使其出射光强均匀, 并使干涉条纹清晰。

(2) 通过放大镜观察干涉条纹, 待稳定后给电阻丝通以电流, 并记下通电时间和电流强度的大小。

(3) 观察干涉条纹的移动, 记下条纹移动数目  $\Delta N$ 。

(4) 由焦耳-楞次定律, 计算电流所产生的热量  $Q$ 。

(5) 测出玻璃杯、电阻丝、水的质量, 查出比热。在热平衡条件下, 计算出温度变化量  $\Delta T$ 。

$$\Delta T = \int_0^{t_0} K I^2 R dt / (C_W m_W + C_G m_G + C_R m_R); \quad (1)$$

式中,  $t_0$  是通电时间;  $K$  为热功当量;  $I$  为电流强度;  $C$  和  $m$  分别代表比热和质量;  $W$ 、 $G$ 、 $R$  分别代表水、玻璃杯和电阻丝。这里忽略了敏感元光纤质量对温度变化的影响。

(6) 该装置的最小可探测温度(平均移动一个条纹时改变的温度)为

$$\sigma_T = \Delta T / \Delta N \quad (2)$$

### 四、实验结果与分析

#### 1. 实验结果

我们选用质量  $m_G = 198.5g$  的玻璃杯, 内盛  $1300g$  水。水中电阻丝质量为  $5.6g$ , 其阻值为  $15.0\Omega$ 。给电阻丝通  $1A$  的电流。分别测出通电时间  $t$  及所对应的干涉条纹移动数  $\Delta N$ 。其数据见表 1。

根据表 1 数据, 做温度变化  $\Delta T$  与条纹移动数  $\Delta N$  线性图(见图 3)。

从图 3 不难看出, 每条条纹所对应的温度变化正是  $\Delta T - \Delta N$  直线的斜率。由最小二乘法拟合直线求得斜率  $\sigma_T$  为<sup>[4]</sup>

$$\sigma_T = \frac{\overline{\Delta T} \cdot \overline{\Delta N} - \overline{\Delta T \cdot \Delta N}}{\overline{\Delta N^2} - \overline{\Delta N}^2} = 4.12 \times 10^{-4} \text{ (度/条)} \quad (3)$$

表 1 实验结果  
Table 1 The results of the experiment

$t(s)$	$\theta(4.1868J)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta N(\text{条})$
20.0	72.0	0.0538	80.0
25.0	90.0	0.0674	104.0
30.0	108.0	0.0800	128.0
35.0	126.0	0.0940	161.0
40.0	144.0	0.1070	210.0

可见,我们的实验能测出  $10^{-4}^{\circ}C$  的温度变化量。

## 2. 实验分析

Ld 光纤对温度元敏感, 主要是由于构成光纤的材料, 特别是 Ld 光纤芯材料特性所决定的。我们所用 Ld 光纤的芯材料是液体——氯苯。液体分子的折射率  $n$  与分子固有电矩  $P_0$ 、介电常数  $\epsilon_r$  及温度  $T$  的关系式为<sup>[5]</sup>

$$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{N_0}{\epsilon_0} \frac{P_0^2}{3kT} \cdot \frac{\epsilon_r(n^2 + 2)}{(2\epsilon_r + n^2)(\epsilon_r + 2)} \quad (4)$$

对氯苯, 分子偶极矩  $P_0 = 0.56 \times 10^{-29}(\text{C}\cdot\text{m})$ ;  $\epsilon_r = 5.7$ ;  $n = 1.50$ 。由式(4)可见,  $P_0$  对其它量的影响起重要的作用。将阿佛加德罗常数  $N_0 = 6.023 \times 10^{23}$ , 玻尔兹曼常数  $k = 1.38 \times 10^{-27}$  及真空介电常数  $8.854 \times 10^{-12}(F/m)$  代入上式, 经微分并将  $n = 1.50$  代入, 得:

$$dT = 7.71 \times 10^2 dn \quad (5)$$

实验中, 入射激光的波长  $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ 。对所用的敏感元光纤, 假定在光纤中直线传播, 则每米光纤光程变化一个波长应满足

$$dn = 6.328 \times 10^{-7}; \quad (6)$$

对应温度的变化量为

$$dT = 4.88 \times 10^{-4}。$$

4.0 m 长敏感光纤光程变化一个波长对应温度变化为

$$dT' = 1.22 \times 10^{-4}。$$

理论计算结果与实验结果基本符合。如果适当增加敏感光纤长度, 测量精度还可提高 1~2 个数量级。

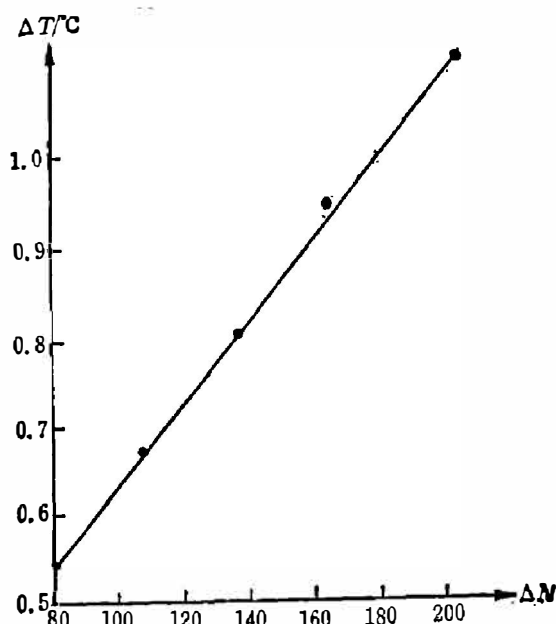


图 3 温度变化与条纹移动数目线性图  
Fig. 3 The linear relationship between the variation of temperature and the shifting number of interference fringes.

## 参 考 文 献

- [1] Papp A. and Harms H., *Appl. Optics*, **16**(1977), 5:1319.
- [2] H. Aulich, *Appl. Optics*, **19**(1980), 22:3737.
- [3] A. Sharma B., *Optical Fiber Systems and Their Components*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981, 220.
- [4] 李锡碯, 实验的数学处理, 科学出版社, 1980, 75.
- [5] 冯慈璋, 极化与磁化, 高等教育出版社, 1986, 1. 55.
- [6] 饭田修一等著, 物理学常用数表, 张质贤等译, 科学出版社 1979, 143.

# TEMPERATURE SENSING BY MEANS OF Ld OPTIC FIBER AND THE EFFECT OF MOLECULAR INTRINSIC ELECTRIC DIPOLE MOMENT ON MEASUREMENT ACCURACY

LI ZOUWEI, HAN YUHUA, JIANG SHANQING, HOU LANTIAN

(*Department of physics, Jilin University*)

## ABSTRACT

A method for measuring temperature by means of liquid-core optic fiber is presented. The experimental results and theoretical calculations show that a temperature variation of  $10^{-4}\text{°C}$  can be measured.