

# 普物虚拟实验报告 2

雷远航 学号:3210105807

December 16, 2022

## Abstract

光纤传感器实验

## 一、实验目的

- 了解光纤的基本知识
- 掌握光纤耦合的计算方法
- 掌握利用光纤的相位调制原理制作相关传感器

## 二、实验原理

### 光纤的基本知识:

纤芯的折射率必须比包层的折射率大,这样才会产生全反射。 $\varphi = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$

在光纤断面上,当光线入射角小于一个定值时,折射光线在纤芯和包层界面的入射角  $\varphi$  才会大于临界角,光线才能在光纤内多次全反射而传递到另一端。光纤的数值孔径 NA

$$NA = n_0 \sin \theta_a = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

**NA越大激光能力越强,光纤与光源间耦合更易发生,但光信号的畸变越大。**

### 光纤的耦合

光纤与光源的耦合:直接耦合和经聚光器件耦合。光耦合效率与光纤端面质量和耦合透镜的数值孔径有关,当光纤断面处理的质量较好,数值孔径与耦合透镜数值孔径相匹配时可得到最佳耦合效率. 这种耦合方法能提高耦合效率。耦合效率 的计算公式为

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \quad \eta = \frac{10}{L} \lg \frac{P_1}{P_2} (\text{dB/km})$$

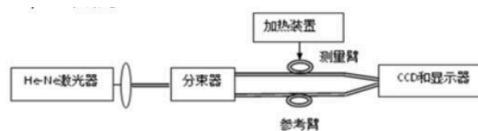
P1为耦合进光纤的光功率(近似为光纤的输出光功率)。P2为光源输出的光功率

## 光纤干涉仪的相位调制机制

当真空中波长为 $\lambda_0$ 的光入射到长度为 $l$ ，纤芯折射率为 $n$ 的光纤上时，若以其入射端面为基准，则出射光的相位为  $\varphi = k_0 n l = k l$

$k, n$ 及 $l$ 的变化都会导致光波相位的变化，

即实现相位调制  $\Delta\varphi = \Delta(kl) = k_0 l \Delta n + k_0 n \Delta l$



光纤长度和直径的变化以及折射率的变化都会引起相位调制。  
温度变化对相位调制的作用

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T} = k_0 \left( l \frac{\Delta n}{\Delta T} + n \frac{\Delta l}{\Delta T} \right)$$

$$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = k_0 \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} + n \frac{\Delta l}{l\Delta T} \right)$$

## 光纤干涉仪的结构与测温原理

光纤干涉仪由两臂组成，一个是参考臂，提供相位基准；另一个是传感臂，用于光相位调制，对待测物理量的变化敏感

$$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} + n \frac{\Delta l}{l\Delta T} \right)$$

当温度变化 $\Delta T$ 时，干涉场中任意一点上干涉条纹的移动数目为 $\Delta m$   $\Delta\varphi = 2\pi\Delta m$

剥去护套层的石英玻璃光纤  $\frac{1}{n} \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} \right) = 0.68 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ,

其线性膨胀系数  $\frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T} = 5.5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_0 = 632.8\text{nm}$ ,  $\frac{\Delta\varphi}{\varphi\Delta T} = 0.74 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

由 $n=1.456$ ,  $\lambda_0 = 632.8\text{nm}$ ,  $\frac{\Delta n}{\Delta T} = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ,  $\frac{\Delta l}{\Delta T} \times \frac{1}{l} = 5.5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ,



$$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = 107 \text{rad}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m})$$

10

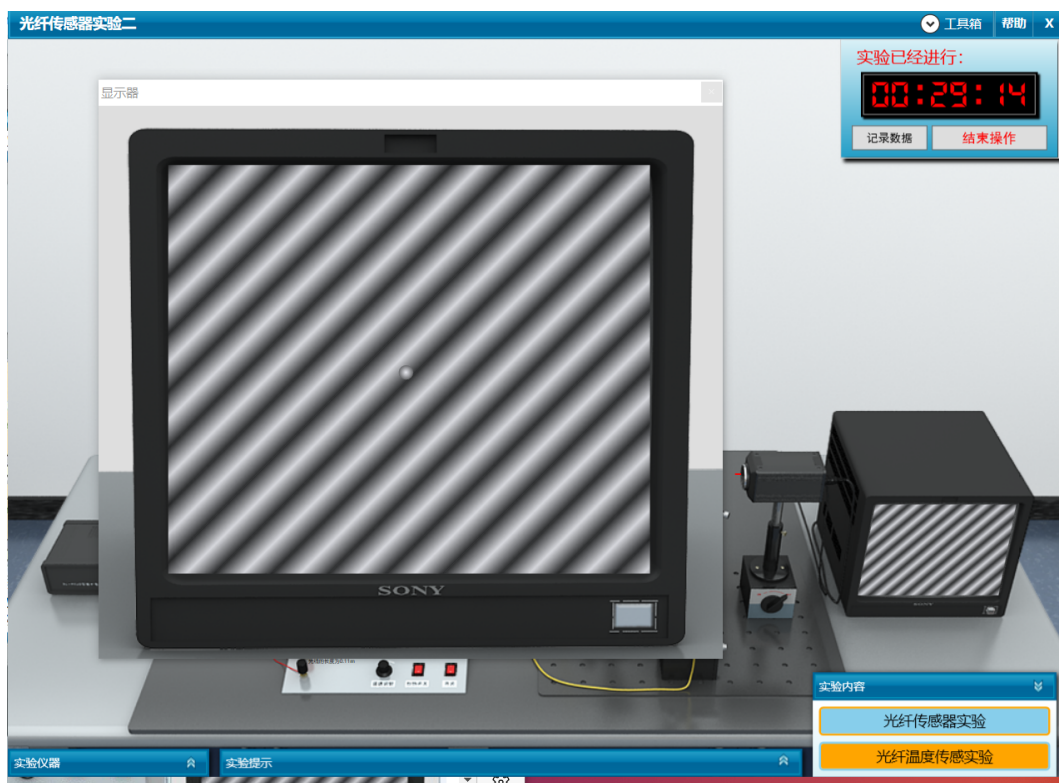
## 三、实验数据

### 光纤耦合效率计算:

实验过程中数据记录的截图:



---



实验数据截图:

**实验数据记录**

光纤被加热部分的长度(m) 0.11

实验使用的激光的波长(nm) 650

**光纤灵敏度数据处理**

升温过程开始计算条纹移动数目时（右移条纹数为 +0 ），点击按钮保存当前状态

开始数条纹时请点击按钮 保存温度 升温时的初始温度是30.54℃

升温过程实验数据记录表格：

条纹数	+0	+3	+6	+9	+12	+15	+
数 (°C)	32.91	34.35	35.78	37.22	38.75	40.11	41

升温过程中，光纤的灵敏度为(rad/(m\*°C)) \_\_\_\_\_

降温过程开始计算条纹移动数目时（左移条纹数为 -0 ），点击按钮保存当前状态

开始数条纹时请点击按钮 保存温度 降温时的初始温度是50.11℃

降温过程实验数据记录表格：

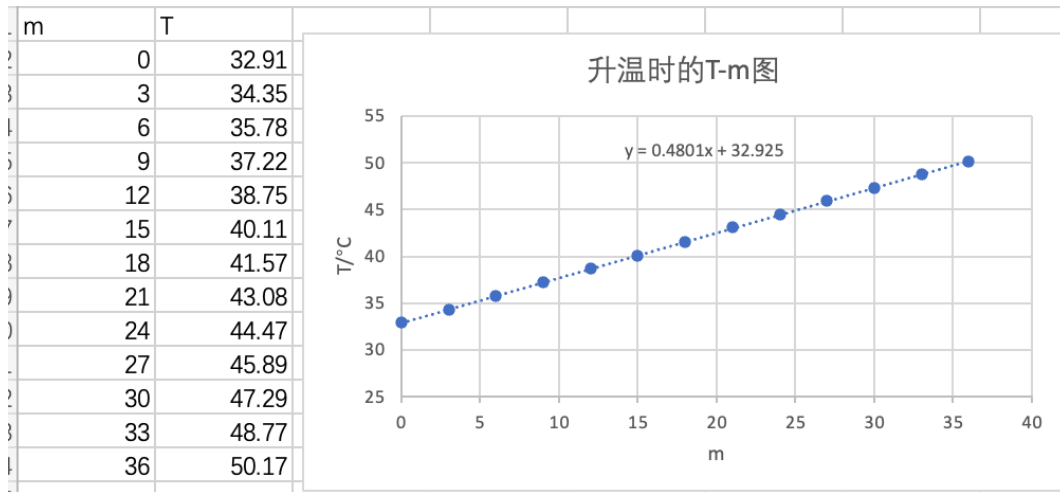
左移条纹数	-0	-3	-6	-9	-12	-15
温度示数 (°C)	48.74	47.75	46.71	45.72	44.67	43.68

降温过程中，光纤的灵敏度为(rad/(m\*°C)) \_\_\_\_\_

计算升温光纤温度灵敏度:

作图法:

利用作图法进行计算:



$$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T}$$

通过作图可知:  $\frac{\Delta m}{\Delta T} = 2.0828$

将数据进行带入可知:  $\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = 118.969(\text{rad/m}^{\circ}\text{C})$

逐差法:

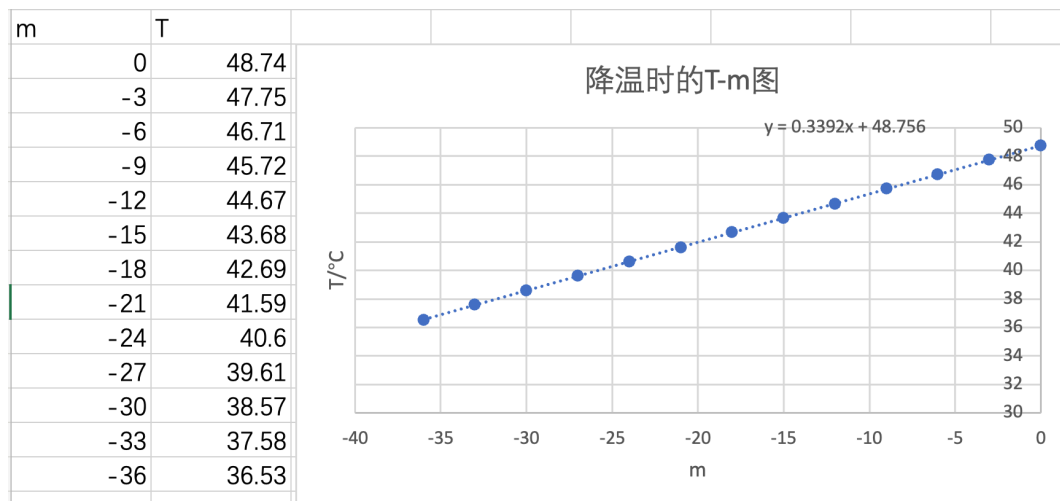
通过逐差法计算得到:  $\frac{\Delta m}{\Delta T} = 2.11$

$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T} = 120.522(\text{rad/m}^{\circ}\text{C})$

计算降温时光纤温度灵敏度

作图法:

利用作图法进行计算



$$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T}$$

通过作图可知:  $\frac{\Delta m}{\Delta T} = 2.94811$

将数据进行带入可知:  $\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = 168.397(\text{rad/m}^{\circ}\text{C})$

逐差法:

通过逐差法计算得到:  $\frac{\Delta m}{\Delta T} = 2.81$

$\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T} = 160.507(\text{rad/m}^{\circ}\text{C})$

## 四、总结与分析

### 思考题

1. 能否不用分束器做该实验? 是否有替代方案是什么?

可以, 只要用两个相同的相干波波源分别照射光纤即可, 这样也可以造成光的干涉.

2. 温度改变  $1^{\circ}\text{C}$  时, 条纹的移动量与哪些因素有关?

(1) 与光纤的温度灵敏度有关 (2) 与光纤置于温度场的长度有关

3. 温度改变  $1^{\circ}\text{C}$  时, 条纹的移动量与哪些因素有关?

可以, 可以用透镜将干涉条纹成像在光电探测器上进行测量.

4. 标定干涉仪光纤温度灵敏度的误差主要来源是什么?

光纤被加热部分的长度, 实验使用的激光的波长, 以及进行读数时的准确性质.

5. 在测温光纤传感器的测量臂感温段光纤上粘贴一金属片, 其温度灵敏度会如何变化?

会影响传感器的响应速度, 不会影响传感器的灵敏度。灵敏度（响应量与对应的待测量之比）是传感器的固有特性。光纤温度传感器, 直接反映的并不是被测温度, 而是自身的温度。只是在测量过程中, 传感器被加热（冷却）到和被测温度一致时, 传感器自身温度和被测温度相同时, 自身温度就代表了被测温度。在温度传感器上贴金属片, 会影响传感器被加热（冷却）到和被测温度一致的时间, 但不会影响传感器本身的灵敏度。

### 实验总结

通过本次线上实验我对光纤的知识有了一定的了解, 并且观察了光纤干涉的现象, 在计算光纤温度灵敏度时由于条纹的变化速度有一些快所以在读数的时候有时候总是看错, 应当对温度进行即使有效的控制.