

# 实验报告

学生姓名：秦嘉俊 学号：3210106182

## 1、实验目的

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

## 2、实验原理

### 2.1 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。

$$\phi_m = \arcsin(n_2/n_1)$$

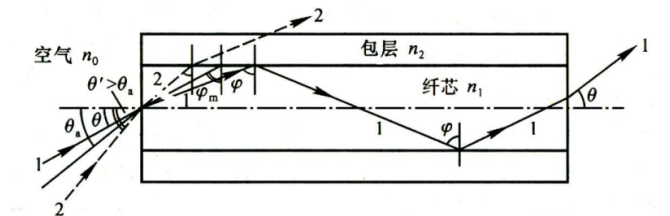


图 1: 光路图

在光纤断面上，当光线入射角小于一个定值  $\theta_a$  时，折射光线在纤芯和包层界面上的入射角  $\phi_m$  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

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

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。

## 2.2 光纤的耦合

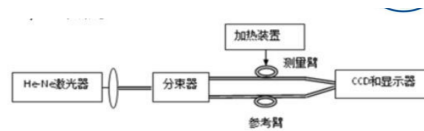
光纤与光源的耦合：直接耦合和经聚光器件耦合。光耦合效率与光纤端面质量和耦合透镜的数值孔径有关，当光纤断面处理的质量较好，数值孔径与耦合透镜数值孔径相匹配时可得到最佳耦合效率。这种耦合方法能提高耦合效率。耦合效率  $\eta$  的计算公式

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \quad \eta = \frac{10}{L} \lg \frac{P_1}{P_2} (dBkm)$$

$P_1$  为耦合进光纤的光功率（近似为光纤的输出光功率）。 $P_2$  为光源输出的光功率

## 2.3 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  $\phi = k_0 n l = k l$



$k, n, l$  的变化都会导致光波相位的变化，即实现相位调制  $\Delta\phi = \Delta(kl) = k_0 l \Delta n + k_0 n \Delta l$  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

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

## 2.4 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  $\frac{\Delta\phi}{l \Delta T} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} + n \frac{\Delta l}{l \Delta T} \right)$  其中  $\Delta\phi = 2\pi \Delta m$

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

其线性膨胀系数  $\frac{1}{l} * \frac{\Delta l}{\Delta T} = 5.5 \times 10^{-7} / ^\circ C, \lambda_0 = 632.8 nm, \frac{\Delta\phi}{\phi \Delta T} = 0.74 \times 10^{-5} / ^\circ C$  由  $n = 1.456, \lambda_0 = 632.8 nm, \frac{\Delta n}{\Delta T} = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ C, \frac{\Delta l}{\Delta T} * \frac{1}{l} = 5.5 \times 10^{-7} / ^\circ C$   
 $\frac{\Delta\phi}{l \Delta T} = 107 rad / (^\circ C * m)$

### 3、实验数据

#### 3.1 激光与光纤直接耦合的耦合效率和间接耦合的效率

<b>计算光纤的直接耦合率</b>	
功率计直接测量激光器发出的激光光强为(mW)	<u>2.076</u>
激光与光纤直接耦合时功率计测出的光强强度(nW) =	<u>623</u>
光与光纤的直接耦合效率(%) =	<u>0.030</u>
<b>计算光纤的间接耦合率</b>	
激光与光纤间接耦合时功率计测出的光强强度(nW) =	<u>1765</u>
光与光纤间接耦合效率(%) =	<u>0.085</u>

图 2: 直接/间接耦合的效率

#### 3.2 升温时光纤的灵敏度

清晰的干涉条纹:



图 3: 干涉条纹

(a)

(b)

图 4: 条纹变化与温度

### 3.2.1 逐差法算升温灵敏度

逐差法算升温灵敏度										
右移条纹数	+0	+3	+6	+9	+12	+15	+18	+21	+24	+27
温度示数 $^{\circ}/C$	29.48	31.00	32.45	34.00	35.50	36.95	38.50	40.05	41.55	43.10

$$\frac{\Delta\phi}{1\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{1\Delta T} = \frac{60\pi}{\sum_{i=6}^{10} (T_i - T_{i-5})} = 124.9 \text{rad}/(\text{m} \cdot ^\circ \text{C})$$

### 3.2.2 作图法算灵敏度

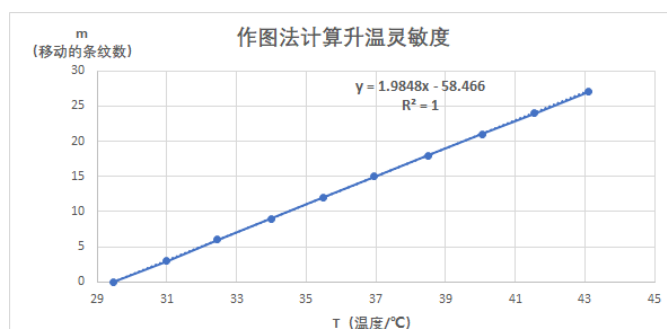


图 5: 作图法算灵敏度

拟合趋势线斜率为 1.9848

$$\frac{\Delta\phi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T} = \frac{2\pi}{0.10m} \times 1.9848 = 124.7\text{rad}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

### 3.3 降温时光纤的灵敏度

#### 3.3.1 逐差法算降温灵敏度

逐差法算降温灵敏度										
左移条纹数	-0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27
温度示数 $^\circ\text{C}$	45.02	43.99	43.22	42.12	41.02	39.92	38.82	37.72	36.62	35.52

$$\frac{\Delta\phi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T} = \frac{60\pi}{\frac{\sum_{i=6}^{10} (T_{i-5} - T_i)}{25}} = 176.0\text{rad}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

### 3.3.2 作图法算灵敏度

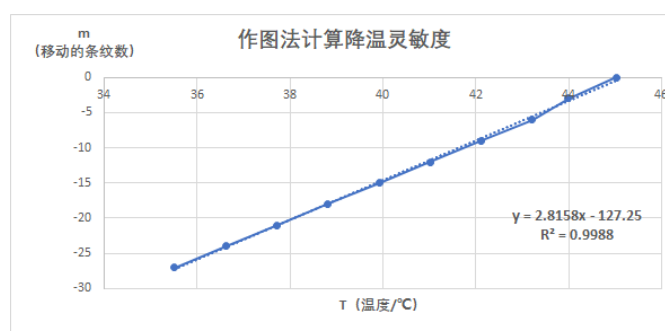


图 6: 作图法算灵敏度

拟合趋势线斜率为 2.8158

$$\frac{\Delta\phi}{l\Delta T} = \frac{2\pi\Delta m}{l\Delta T} = \frac{2\pi}{0.10m} \times 2.8158 = 176.9\text{rad}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

## 4、总结与分析

1. 能否不用分束器做该实验？是否有替代方案是什么？  
可以，用两个相同的相干波波源分别照射光纤，这样也可以造成光的干涉。
2. 温度改变 1°C 时，条纹的移动量与哪些因素有关？  
光纤置于温度场的长度和光纤的温度灵敏度。
3. 实验中不用 CCD 是否也能有办法看到干涉条纹吗？替代方案是什么？  
可以。用透镜将干涉条纹成像在光电探测器上并测量。
4. 标定干涉仪光纤温度灵敏度的误差主要来源是什么？
  - (a) 当前测量环境下的空气温度、湿度、大气压力，影响在空气中传播的激光波长。
  - (b) 被测工件温度，影响被测对象的热膨胀量。
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？  
不会变化。灵敏度（响应量与对应的待测量之比）是传感器的固有特性。