

## 注意事项

实验上课前请认真阅读实验讲义，预习实验内容，完成实验预习题，扫描下方二维码即可进入填写实验预习题：



实验课堂上请注意以下事项：

光纤传感实验必作内容为光纤透射和反射式位移传感实验，选作内容为光纤微弯传感、光纤电流和电压传感实验。实验课堂上请注意以下事项：

- (1) 不要用手直接触摸光学镜片表面。
- (2) 使用光纤连接时应对好卡口，用力不可过猛，否则容易损坏光纤接头。  
光纤不可大角度弯折，否则易损坏。
- (3) 不要直视激光器出射激光，避免对视力造成伤害。
- (4) 实验中请不要到其他人实验台拿取元件，若自己实验台实验器材出现问题，请及时通知老师。
- (5) 实验中请注意光路调节，调好光路后方容易观察实验现象。
- (6) 微弯光纤实验中不可推进挤压光纤过多否则会损坏光纤。

实验课结束后一个星期内，请扫描实验室门口张贴的二维码，进入并完成实验课后题。若本实验不是你的必做实验，则本实验无需提交实验报告，只需要在实验结束时当堂提交实验测量数据即可。

光纤传感实验课后题：



## 光纤传感实验

光纤的研究和应用是 20 世纪 70 年代末开始发展的一个新兴领域。进入新世纪，光纤在信息通信和传感器领域发展迅速，越来越显示出其重要地位。光纤传感器件具有体积小、重量轻、抗电磁干扰强、防腐性好、灵敏度高优点；用于测量压力、应变、微小折射率变化、微振动、微位移等诸多领域。

光纤传感器按传感原理可分为功能型和非功能型。功能型光纤传感器是利用光纤本身的物理特性把光纤作为敏感元件，所以也称为传感型光纤传感器。非功能型光纤传感器是利用其它敏感元件感受被测量变化，光纤仅作为传输介质，传输来自远外或难以接近场所的光信号，所以也称为传光型传感器。

光纤传感器按被调制的光波参数不同又可分为强度调制光纤传感器，相位调制光纤传感器，频率调制光纤传感器，偏振调制光纤传感器和波长(颜色)调制光纤传感器。

光纤传感器按被测对象的不同，又可分为光纤温度传感器，光纤位移传感器，光纤浓度传感器，光纤电流传感器，光纤流速传感器，光纤液位传感器，光纤电压传感器等。

光纤传感器可以探测的物理量很多，无论是探测哪种物理量，其工作原理都是用被测量的变化调制传输光光波的某一参数，使其随之变化，然后对已调制的光信号进行检测，从而得到被测量。将光纤和传感器结合一起的光纤传感器是将力热光电等物理基本概念和原理结合起来的综合实验。

### 待研究问题

1. 光纤传输光的基本原理如何，如何分类？
2. 透射型和反射型光纤位移传感器是如何工作的？
3. 微弯光纤位移传感器的原理和工作特点如何？
4. 光纤电流、电压和温度传感器的基本工作原理如何，有何特点？

### 实验原理

#### 1. 透射式横(纵)向光纤位移传感

透射式光纤位移传感是一种强度型光纤传感，实验通过改变两透射多模光纤出光芯径的相对位置（横向或者纵向）观测传输功率的变化，从而绘制功率随横

向或纵向位移的关系曲线。

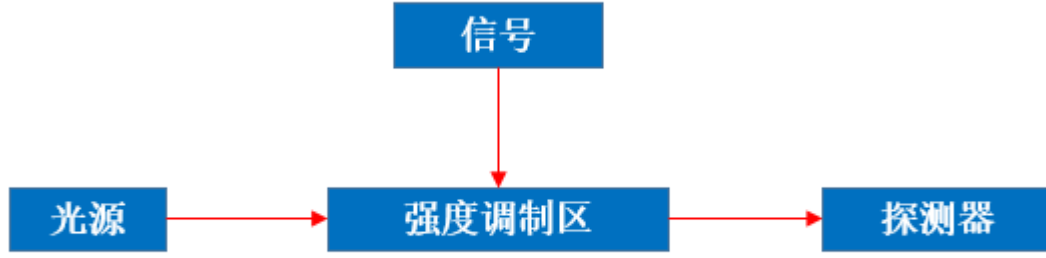


图 1 强度调制型传感器示意图

强度调制光纤传感器的基本原理是待测物理量引起光纤中的传输光光强变化，通过检测光强的变化实现对待测量的测量，其原理如图 1 所示。

对多模光纤来说，光纤端出射光场的场强分布由下式给出，式中  $I_0$  为由光源耦合入发射光纤中的光强； $\phi(r, z)$  为纤端光场中位置  $(r, z)$  处的光通量密度； $\sigma$  为一表征光纤折射率分布的相关参数，对于阶跃折射率光纤， $\sigma=1$ ； $r$  为偏离光纤轴线的距离， $z$  为离发射光纤端面的距离， $a_0$  为光纤芯半径， $\xi$  为与光源种类、光纤数值孔径及光源与光纤耦合情况有关的综合调制参数。

$$\phi(r, z) = \frac{I_0}{\pi \sigma^2 a_0^2 [1 + \xi(z/a_0)^{3/2}]^2} \exp \left\{ -\frac{r^2}{\sigma^2 a_0^2 [1 + \xi(z/a_0)^{3/2}]^2} \right\} \quad (1)$$

如上式可见当光线本身参数一定时，出射光场光强与偏离光纤轴线距离和与发射端面的距离都有关。如果接收光纤采用与发射光纤同种光纤时，所接收到的光强可表示为：

$$I(r, z) = \iint_S \phi(r, z) ds = \iint_S \frac{I_0}{\pi \omega^2(z)} \exp \left\{ -\frac{r^2}{\omega^2(z)} \right\} ds \quad (2)$$

(2)式中  $\omega(z) = \sigma a_0 [1 + \xi(z/a_0)^{3/2}]$ ，这里， $S$  为接收光面，即纤芯端面。

在纤端出射光场的远场区，为简便计算，可用接收光纤端面中心点处的光强来作为整个纤芯面上的平均光强，在这种近似下，得在接收光纤终端所探测到的光强公式为：

$$I(r, z) = \frac{SI_0}{\pi \omega^2(z)} \exp \left\{ -\frac{r^2}{\omega^2(z)} \right\} \quad (3)$$

透射式强度调制光纤传感原理如下图所示，调制处的光纤端面为平面，通

常入射光纤不动，而接收光纤可以作纵(横)向位移，这样，接收光纤的输出光强被其位移调制。

透射式调制方式的分析比较简单。在发射光纤端，其光场分布为一立体光锥，各点的光通量由(1)式中函数 $\phi(r, z)$ 来描述，其光场分布坐标如图所示。当 $z$ 固定时，得到的是横向位移传感特性函数，当 $r$ 取定时(如 $r=0$ )，则可得到纵向位移传感特性函数。

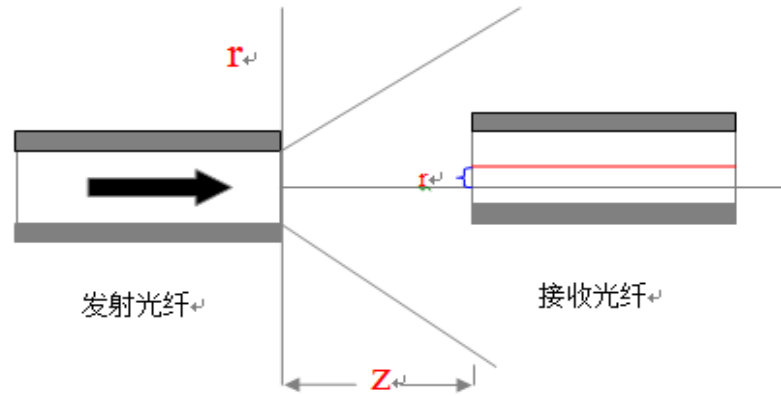


图2 光纤位移传感器示意图

调制处的光纤端面为平面，通常发射光纤不动，而接收光纤可以做横向位移，纵向位移。这样，接收光纤的输出光强被其位移调制。这里采用发射光纤不动，接收光纤移动的办法，实现光纤被横向位移和纵向位移调制。

## 2. 反射式光纤位移传感

反射式光纤传感实验的光纤探头A由两根光纤组成，一根用于发射光，一根用于接收反射回来的光， $R$ 是反射材料的反射率。由发射光纤发出的光照射到反射材料上，通过检测反射光的强度变化，就能测出反射体的位移。采用的光纤传感器的原理如图所示。光纤探头A由两根光纤组成，一根用于发射光，一根用于接收反射回的光， $R$ 是反射材料。系统可工作在两个区域中，前沿工作区和后沿工作区（见反射式调制特性曲线）。当在后沿区域中工作时，可以获得较宽的动态范围。

对于反射型光纤位移传感器，其光强响应特性曲线是这类传感器的设计依据。该特性调制函数可借助于光纤端出射光场的场强分布函数给出：

$$\phi(r, x) = \frac{I_0}{\pi \sigma^2 a_0^2 [1 + \xi(x/a_0)^{3/2}]^2} \exp\left\{-\frac{r^2}{\sigma^2 a_0^2 [1 + \xi(x/a_0)^{3/2}]^2}\right\} \quad (3)$$

式中  $I_0$  为由光源耦合入发射光纤中的光强； $\phi(r, x)$  为纤端光场中位置  $(r, x)$  处的光通量密度； $\sigma$  为一表征光纤折射率分布的相关参数，对于阶跃折射率光纤， $\sigma=1$ ； $r$  为偏离光纤轴线的距离， $x$  为光纤端面与反射面的距离， $a_0$  为光纤芯半径， $\xi$  为与光源种类、光纤数值孔径及光源与光纤耦合情况有关的综合调制参数。

在反射式光纤位移传感器中，探头结构中发射光纤与反射光纤使用同种光纤时，接收到的光强可表示为：

$$I(r, x) = \iint_S \phi(r, x) ds = \iint_S \frac{I_0}{\pi \omega^2(x)} \exp\left\{-\frac{r^2}{\omega^2(x)}\right\} ds \quad (4)$$

式中  $\omega(x) = \sigma a_0 [1 + \xi(x/a_0)^{3/2}]$ ，这里， $S$  为接收光面，即纤芯端面。

在纤端出射光场的远场区，为简便计算，可用接收光纤端面中心点处的光强来作为整个纤芯面上的平均光强，在这种近似下，得在接收光纤终端所探测到的光强公式为：

$$I_A(x) = \frac{RSI_0}{\pi \omega^2(2x)} \exp\left\{-\frac{r^2}{\omega^2(2x)}\right\} \quad (5)$$

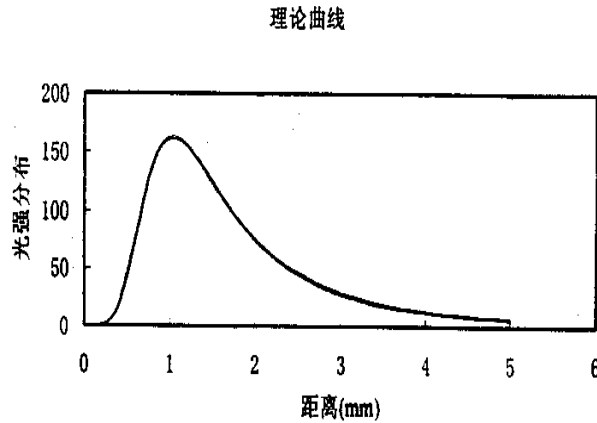


图 3 反射式调制特性曲线

### 3. 微弯光纤位移传感器

微弯型光纤传感器的原理结构如下图(4)所示。当光纤发生弯曲时，由于其全反射条件被破坏，纤芯中传播的某些模式光束进入包层，造成光纤中的能量损耗。

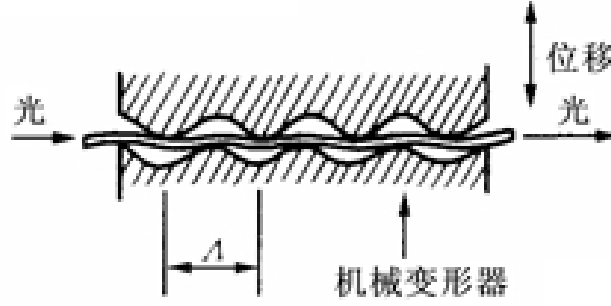


图 4 微弯位移传感器示意图

为了扩大这种效应，我们把光纤夹持在一个周期波长为  $\Lambda$  的梳妆结构中。当梳妆结构（变形器）受力时，光纤的弯曲情况将发生变化，于是纤芯中跑到包层中的光能（即损耗）也将发生变化，近似的将把光纤看成是正旋微弯，其弯曲函数为：

$$f(z) = \begin{cases} A \sin \omega \cdot Z & (0 \leq Z \leq L) \\ 0 & (Z < 0, Z > L) \end{cases} \quad (6)$$

上式中  $L$  是光纤产生微弯的区域， $A$  为其弯曲幅度， $\omega$  为空间频率，设光纤微弯变形函数的微弯周期为  $\Lambda$ ，则有  $\Lambda = 2\pi / \omega$ 。光纤由于弯曲产生的光能损耗系数是：

$$\alpha = \frac{A^2 L}{4} \left\{ \frac{\sin[(\omega - \omega_c)L / 2]}{(\omega - \omega_c)L / 2} + \frac{\sin[(\omega + \omega_c)L / 2]}{(\omega + \omega_c)L / 2} \right\} \quad (7)$$

式中  $\omega_c$  称为谐振频率。

$$\omega_c = \frac{2\pi}{A_c} = \beta - \beta' = \Delta\beta \quad (8)$$

上式中  $A_c$  为谐振波长， $\beta$  和  $\beta'$  为纤芯中两个模式的传播常数，当  $\omega = \omega_c$  时，这两个模式的光功率耦合特别紧，因而损耗也增大。如果我们选择相邻的两个模式，对光纤折射率为平方律分布的多模光纤可得：

$$\Delta\beta = \sqrt{2\Delta} / r \quad (9)$$

$r$  为光纤半径， $\Delta$  为纤芯与包层之间的相对折射率差。由(8)(9)两式得：

$$A_c = \frac{2\pi r}{\sqrt{2\Delta}} \quad (10)$$

对于通讯光纤  $r = 25\mu m$ ,  $\Delta \leq 0.01$ ,  $A_c \approx 1.1mm$ 。(7)式表明损耗  $\alpha$  与弯曲幅度

的平方成正比，与微弯区的长度成正比。通常，我们让光纤通过周期为  $\Lambda$  的梳妆结构来产生微弯，按(10)式得到的  $A_c$  一般太小，实用上可取奇数倍作为实验时的实际梳妆结构周期，即 3、5、7 倍等，同样可得到较高的灵敏度。

#### 4. 光纤电压传感器

典型光纤电压传感器一般使用非光纤功能型的结构，即将光纤用于光的传输，但光纤的柔性传输特性也在该类传感器中发挥重要作用，可以保证传感器灵敏度高且结构紧凑。

常见的光纤电压传感器使用电光晶体作为传感元件，其原理是利用电光晶体加电压后从光学各向同性变为双折射晶体的特性，加电压后的电光晶体可以改变通过该晶体光束偏振方向，进而搭配偏振片可以实现灵敏的强度调制，通过探测出射光束光强实现电压灵敏传感。

某些晶体的线性电光效应称为普克尔效应，它一般有两种：一种是外加电场平行于光的传播方向，称为纵向普克尔效应；外加电场会引起晶体的折射率改变，这反映在折射率椭球上，必然会导致椭球变形，即会使椭球方程系数发生变化，并且椭球的主轴也可能不再是原来的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  了，即椭球可能发生旋转，加电场后的椭球主轴称之为感应主轴。显然，感应主轴的方向和长度与所加的电场及晶体的电光系数有关。

对于负单轴晶体  $\text{LiNbO}_3$ ，未加电场时，在主轴坐标中，折射率椭球方程

$$\frac{1}{n_o^2} x^2 + \frac{1}{n_o^2} y^2 + \frac{1}{n_e^2} z^2 = 1 \quad (11)$$

对于 650nm 入射光， $n_e=2.207$ ， $n_o=2.286$ 。

外加电场后，它的折射率椭球方程变为：

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{n_o^2} - r_{22}E_y + r_{13}E_x \right) x^2 + \left( \frac{1}{n_o^2} + r_{22}E_y + r_{13}E_x \right) y^2 + \left( \frac{1}{n_e^2} + r_{33}E_x \right) z^2 \\ & + 2r_{51}E_y yz + 2r_{51}E_x zx - 2r_{22}E_x xy = 1 \end{aligned} \quad (12)$$

上式中  $r_{ij}$  为非线性电光系数，对于  $\text{LiNbO}_3$  晶体，以  $10^{-10}\text{cm/v}$  为单位，则  $r_{13}=8.6$ ， $r_{33}=30.8$ ， $r_{51}=r_{63}=28$ ， $r_{22}=3.4$ 。

在不同方向上加电场可得到不同形状、大小、取向的折射率椭球。一般  $\text{LiNbO}_3$  晶体工作在  $x$ (或  $y$ )向加电场的横向运转方式，即电场方向平行于  $x$  轴(或  $y$  轴)，

通光方向为 z 轴方向。

若 x 向加电场，即  $E_x \neq 0, E_y = E_z = 0$ ，则(12)式变为：

$$\frac{1}{n_o^2} x^2 + \frac{1}{n_o^2} y^2 + \frac{1}{n_e^2} z^2 + 2r_{51}E_x z x - 2r_{22}E_x x y = 1 \quad (13)$$

为了找出感应主轴的方向和长度，必须进行坐标变换，即将(13)式所代表的椭球变换到主轴坐标系中，变换到主轴坐标系后，椭球方程的交叉项系数必等于 0，经过这样的处理后得到：感应主轴 z 不变， $x', y'$  旋转了  $45^\circ$ ，感应主轴折射率分别为：

$$\begin{aligned} n_x' &= \left( \frac{1}{n_o^2} - r_{22}E_x \right)^{-1/2} \approx n_o \left( 1 + \frac{1}{2} n_o^2 r_{22}E_x \right) \\ n_y' &= \left( \frac{1}{n_o^2} + r_{22}E_x \right)^{-1/2} \approx n_o \left( 1 - \frac{1}{2} n_o^2 r_{22}E_x \right) \\ n_z &= n_e \end{aligned} \quad (14)$$

这表明在  $x'$  方向的感应主轴折射率  $n_x$  比原来的主折射率  $n_o$  增大了，而  $y'$  方向的感应主轴折射率  $n_y$  比原来的主折射率  $n_o$  减小了，其差值比

$$\Delta n = n_x' - n_y' = n_o^3 r_{22} E_x$$

若设 z 轴方向射到晶体上的光是 x(或 y)轴方向振动的线偏振光，在未加电压时，晶体对各个方向振动沿 z 轴传输的光的折射率都相同（为  $n_o$ ），因而光通过晶体后不改变偏振态，但在 x 轴方向加电压后，由于折射率椭球变了形，感应主轴方向  $x'$  和  $y'$  方向转了  $45^\circ$ ，且感应主折射率变为  $n_x$  和  $n_y$ ，是两个不相等的数，所以 x 方向（或 y 方向）振动的光进入晶体就要分解为  $x'$  和  $y'$  方向振动的二个偏振分量，射出晶体时两者就有位相差。

当  $x'$  和  $y'$  方向上两个振动分量经过长为 L 的晶体而出射，这时两个分量间存在的位相差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot L \cdot \Delta n = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{22} \cdot \frac{L}{d} V \quad (15)$$

式中 d 为 x（加电场）方向上的晶体厚度，V 为所加的电压。两个偏振分量的位相差  $\delta$  是由晶体的电光效应引起的，故称为晶体的电光延迟。在晶体尺寸一定情况下，它与所加电压成线性关系。

由此可见， $\delta$  和 V 有关，当电压增加到某一值时， $x'$ 、 $y'$  方向的偏振光经过



晶体后产生  $\lambda/2$  的光程差，位相差  $\delta=\pi$ ， $T=100\%$ ，这一电压叫半波电压，通常用  $V_\pi$  或  $V_{\lambda/2}$  表示。

$V_\pi$  是描述晶体电光效应的重要参数，在实验中，这个电压越小越好，如果  $V_\pi$  小，需要的调制信号电压也小，根据半波电压值，我们可以估计出电光效应控制透过强度所需电压。

由(15)式可得：

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{22}} \left( \frac{d}{l} \right) \quad (16)$$

如设入射到加压晶体上的线偏振光的强度为  $I_0$ ，则从检偏器出来的光强可表示为

$$I = I_0 \sin^2 \delta / 2 \quad (17)$$

对于 x 方向加场 z 向通过的  $\text{LiNbO}_3$  晶体， $\delta$  由(5)式确定，可改写为

$$\delta = \pi V / V_\pi \quad (18)$$

所以：

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \left( \frac{\pi V}{2V_\pi} \right) \quad (19)$$

可见，从检偏器出来的光强随所加电压而变，这就实现了电光强度调制的目的。因此，一个电光晶体配以起偏器和检偏器，就能组成一个简单的电光强度调制，如图 5 所示。

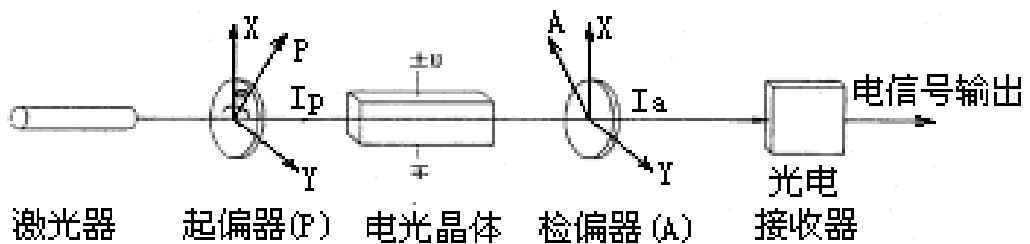


图 5 光纤电压传感器光路示意图

#### 4. 光纤电流传感器

光纤电流传感器通常是根据法拉第磁光效应，在被测电流产生的磁场作用下，晶体光学介质中沿磁场方向传播的线偏振光的偏振方向将发生变化，从而引起在光纤中光功率的变化，探测该光纤传输光功率的变化可以获得电流大小数据。

如图6所示当一束线偏振光通过放置在磁场中的法拉第磁光材料后，若磁场方向与光的传播方向平行，则出射线偏振光的偏振平面将产生旋转，即电流信号产生的磁场信号对偏振光波的偏振面进行调制，此时

$$\theta = VHL \quad (20)$$

上式中， $\theta$  为偏振面的偏转角； $L$  为光通过介质的路径长度； $H$  为磁场强度； $V$  为磁光材料的特性常数—费尔德(Verdet)常数，它与介质的性质、工作波长和温度有关。

光源发出的光经起偏器后变成线偏振光，线偏振光经过位于电流产生的磁场中的磁光材料后偏振方向受到磁场调制，经过检偏器后进行强度探测和信号处理。

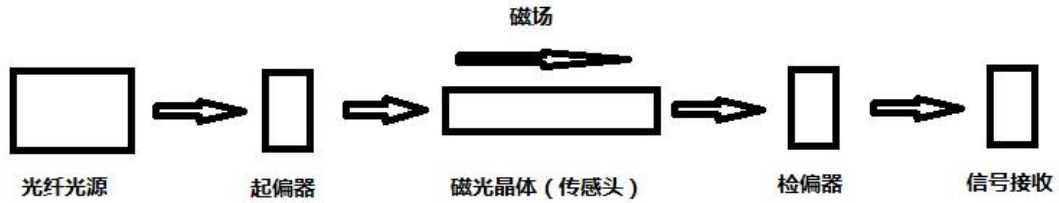


图6 光纤电流传感器示意图

根据马吕斯定律，若不考虑衰减，起偏器的射出光强与检偏器的射出光强之间有如下关系

$$I = I_0 \cos^2 \theta' \quad (21)$$

$\theta'$  是导线中无电流流过（ $I=0$ ）时的起偏器与检偏器的透光轴相交的角度。

由于  $\theta'$  角不能直接精确检测出，而是通过光强的变化来反映的，在根据上式进行  $\theta' - I$  转换时，为了得到最大的转换灵敏度和最佳线性度，要考虑起偏器与检偏器的透光轴相交的角度  $\theta'$  的位置

光强对偏转角的变化率，即转换灵敏度为：

$$\frac{dI}{d\theta'} = -2I_0 \sin \theta' \cos \theta' = -I_0 \sin 2\theta' \quad (22)$$

令  $dI/d\theta' = 0$ ，求得最大灵敏度位于  $\theta' = (2k + 1)\pi/4$ （ $k$ 为整数）的那些点，同时可以看出，由于在该处曲线斜率的变化率为零（ $d^2I/d\theta'^2 = 0$ ），因此B点也是线性度最好的点。如果将交角  $\theta'$  固定在  $45^\circ$ ，当有电流流过产生的磁场使偏振方向偏转  $\theta$  角时：

$$I = I_0 \cos^2(45^\circ + \theta) = \frac{1}{2} I_0 (1 - \sin 2\theta) \quad (23)$$

实验中电流传感电源箱可以给磁光线圈提供电流并显示示数，这样只需通过监视通过检偏器的出射光功率即可获取功率与电流的一一对应关系。

## 5. 光纤温度传感器

在光纤中传播的光的相位由以下三个因素决定：(1)光纤波导的物理长度；(2)光纤折射率及其分布；(3)光纤波导的横向几何尺寸。温度能直接改变上述三个因素的参数，产生相位变化。光纤长 $L$ ，对波长 $\lambda$ 的光波以光纤入口平面为基准测得的相位为

$$\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} = \frac{2\pi n_1 L}{\lambda_0} = k_0 n_1 L \quad (24)$$

式中 $\lambda_0$ 为真空中的光波长； $L$ 为光纤的长度； $n_1$ 为光纤芯的折射率； $k_0$ 为光在真空中的波数；

假设折射率分布随温度变化保持恒定，那么光纤中的相位随温度变化则表示为：

$$\Delta\phi = \Delta\phi_L + \Delta\phi_n + \Delta\phi_d \quad (25)$$

式中， $\Delta\phi_L$ 为光纤长度变化产生的相位变化，称为应变效应； $\Delta\phi_n$ 为光纤折射率变化产生的相位变化，称为光弹效应； $\Delta\phi_d$ 为光纤波导横向几何尺寸变化产生的相位变化，称为泊松效应。

长度变化 $\Delta L$ 时光相位变化量为：

$$\Delta\phi_L = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L \quad (26)$$

折射率变化 $\Delta n$ 时光相位变化量为：

$$\Delta\phi_n = \frac{2\pi}{\lambda} L \Delta n \quad (27)$$

光纤波导横向几何尺寸变化 $\Delta d$ 时光相位变化量为：

$$\Delta\phi_d = \frac{2\pi L}{\lambda^2} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial d} \Delta d \quad (28)$$

泊松效应引起的光纤直径变化所产生波导传播常数的变化很小，所以可以忽略不计。因此相位变化为：

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} \left( \alpha + \frac{\partial n}{\partial T} \right) \Delta T \quad (29)$$

式中， $\alpha$  为光纤线膨胀系数； $\frac{\partial n}{\partial T}$  为光纤折射率随温度变化的系数；由此看出，温度的变化引起相位的变化，通过仪器测出相位的变化就可以测出温度。

图7即为马赫-泽德尔光纤温度传感器的装置图，它由激光器、扩束器、分束器、两根长度相同的单模光纤、探测器（或者白屏）等组成。由激光器发出的光经过分束器，分成两束光，一根为参考光，一根为测量光，一般参考臂放在恒温台上，光程保持不变，而测量臂在温度的作用下，折射率和长度都发生变化，产生相位差，形成干涉。变化两者的相位差，条纹就会发生移动。相位变化一个  $2\pi$ ，条纹就会移动一条。通过干涉条纹移动的数目就可以算出温度的变化。

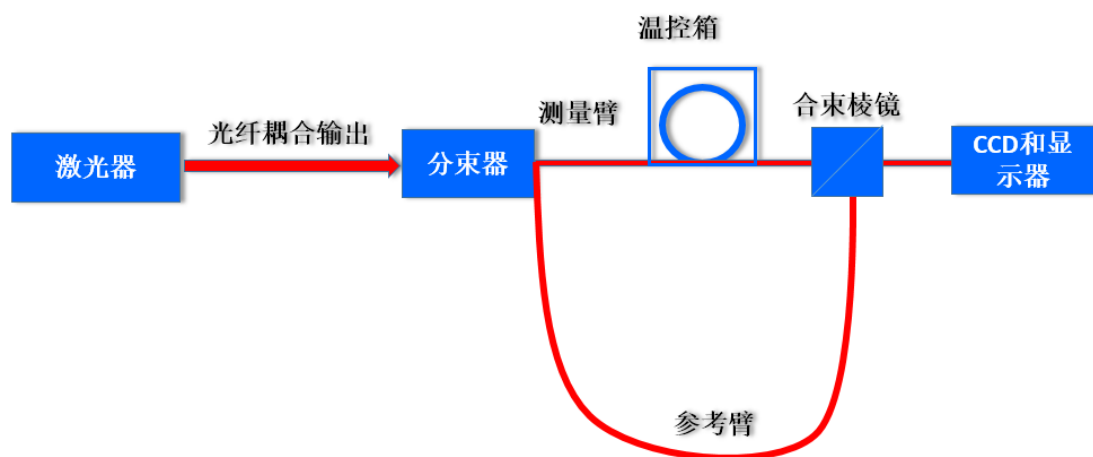


图7 光纤温度传感器结构图

## 实验仪器

光纤输出 650nm 半导体激光器、光纤准直镜、反射式传感用光纤、透射式传感用光纤、电光晶体、光纤功率计、反射镜、控制电源，光纤加热台、磁光晶体、U 型和 H 型滑道、微调位移台、分光棱镜、承托位移台、监视器。

## 实验要求

### 1. 预习要求

- (1) 了解光纤光学的基本知识。
- (2) 了解传感器的基本工作原理。
- (3) 阅读相关材料，了解电光效应和磁光法拉第效应的基本原理。

## 2. 实验过程要求

### (1) 透射式光纤位移传感实验（基础内容）

根据图 2 原理和实验室提供的光具座搭建光路，当  $r$  取定时(如  $r=0$ )，改变  $z$  可得到纵向位移传感特性，实验中发射光纤不动，缓慢改变接收光纤位置。

纵向:功率计读数最大为初始位置，0.05mm 步长测量功率值，至少测量到 1.2mm，可测量多次！

横向:功率计读数最大为初始位置，左右移动 0.01mm 步长测量功率值，至少测量到左右各 0.15mm 位置，可测量多次！

完成纵向和横向位移传感实验数据测量。

### (2) 反射式光纤位移传感实验（提升内容）

根据反射式光纤位移传感实验原理搭建光路，自左向右依次为光纤光源（波长 650nm，功率 2mW）、功率计、反射镜、Y 型光纤（可四维调整）。

逐渐将 Y 型光纤出射端和反射镜靠近（光纤输出端不要与反射镜接触），待不能再靠近时，调节 Y 型光纤的姿态（四维调整架的二维俯仰旋钮）使功率计示数最大。之后将 Y 型光纤靠近反射镜，从距离最近处开始测量，0.05mm 步长，至少测量到 3mm。

完成反射位移传感实验数据记录。

### (3) 微弯型光纤位移传感器（进阶内容）

根据微弯型光纤位移传感器原理使用实验室提供的仪器搭建光路，自左向右依次为光纤光源（波长 650nm，功率 2mW，光源输出光纤与微弯光纤中间用光纤法兰连接），微弯光纤（变形器），干板夹和功率计。

光源与功率计用微弯光纤连接起来，将微弯光纤夹持在变形器上，逐渐靠近两个变形器，同时观察功率计示数，待功率计示数开始变小或者光纤微露红光时开始测量。以 0.05mm 步长测量，测量范围为 2.6mm。

完成微弯光纤位移传感实验数据测量。

### (4) 光纤电压传感器（进阶内容）

按照图 5 的基本原理和实验室提供的光具座搭建光路，自左向右为光纤激光准直镜（波长 650nm，功率 2mW）、偏振片、电光晶体、偏振分光棱镜、光纤耦合器、功率计。调整光纤准直镜使出射激光光斑沿中心传播。安装电光晶体，调整

晶体位置，使出射激光能完全通过电光晶体。按照光路分别安装偏振片和分光棱镜，只需调整器件高低使激光从器件中通过即可。调整偏振片的偏振方向使透过偏振分光棱镜的激光强度最大（透过偏振分光棱镜的光为水平偏振光，偏振分光棱镜反射光为垂直偏振光）。在偏振分光棱镜后安装光纤耦合器，调整耦合镜的位置与光纤端口位置使更多激光耦合到光纤中，最终在功率计上会显示耦合光最大值。

调整好光路后打开光纤电压传感器电源（电光电源）开关，逐渐旋转电压调节旋钮，同时观察功率计示数变化，可以每隔 50V 记录一个功率计示数。

#### **（5）光纤电流传感器（进阶内容）**

按照图 6 的基本原理图和实验室提供的光具座搭建光路，自右向左为光纤激光准直镜（波长 650nm，功率 2mW）、偏振片、磁光晶体、偏振分光棱镜、光纤耦合器、功率计。

安装磁光晶体，调整线圈固定孔位，使出射激光能完全通过磁光晶体。按照光路分别安装偏振片和分光棱镜，只需调整器件高低使激光从器件中心通过即可。调整偏振片的偏振方向使透过偏振分光棱镜的激光强度最小（透过偏振分光棱镜的光为水平偏振光，偏振分光棱镜反射光为垂直偏振光）。调整光纤准直镜使透过偏振片的激光最强，同时记下偏振片的消光角度，调整偏振片角度使通过偏振分光棱镜后最强，安装光纤耦合器，调整耦合镜的位置与光纤端口位置使更多激光耦合到光纤中，最终在功率计上会显示耦合光最大值。然后调整偏振片使功率计示数为 0。（即旋回消光位置）

打开光纤电流电源开关，逐渐旋转电流调节旋钮，同时观察功率计示数变化，可以每隔 0.05A 记录一个功率计示数。

#### **（6）光纤温度传感器（高阶内容）**

参考图 7 原理图和实验室提供的光学仪器搭建光路。将光纤分束器的输入端与激光器输出口连接，并将分束器的两个输出端安装光纤准直镜。安装合束棱镜，将准直镜输出的光斑分别入射到合束棱镜的两个面上，并调节合束镜，使两个光斑尽量重合，直至在白屏上能看到干涉条纹，选择其中一路安装温度控制台，打开温度控制平台，调整温度显示，选择温度上升记录条纹移动个数，之后待稳定后再记录温度下降条纹移动个数（温度下降过程由于温度变化较慢，条纹变化过

程较为容易数)。

### 3. 实验报告要求 (可选)

(1) 根据纵向和横向位移传感实验数据, 绘制光强和位移变化曲线, 并分析该过程的变化规律。

(2) 根据反射位移传感实验数据, 绘制光强和位移变化曲线, 并分析该过程的变化规律。

(3) 根据微弯位移传感实验数据, 绘制光强和位移变化曲线, 并分析该过程的变化规律。

(4) 根据电压传感实验数据, 绘制光强和电压变化曲线, 并分析该过程的变化规律, 根据公式 (16) 计算该电光晶体的半波电压。

(5) 根据电流位移传感实验数据, 绘制光强和电流变化曲线, 并分析该过程的变化规律。

(6) 根据温度传感实验数据, 绘制温度和相位变化曲线, 并分析该过程的变化规律。

### 参考资料

- [1] 刘跃辉, 张旭苹, 董玉明. 光纤压力传感器[J]. 光电子技术, 2005, 25(2):124-132.
- [2] 王志, 初凤红. 光纤电流传感技术研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51, 10002
- [3] 赵凯华, 钟锡华. 光学[M], 第二版. 北京, 北京大学出版社, 1987:247-252
- [4] Victor V, shorthill R W, Fiber ring interferometer[J]. ApplOpt, 1976, 15(7):1099-1100
- [5] 苑立波, 温度和应变对光纤折射率的影响, 光学学报, 1997, 12, 5.