实验七光纤光学与音频信号通信

一、引言

光纤通信是用激光作为信息的载体，以光纤作为传输介质的一种通信方式。因此，现代信息社会得以实现的最重要的两大关键技术是激光和光纤。光纤是光导纤维的简称。它是工作在光波波段的一种介质波导，利用光学全反射原理，将光的能量约東在光吸收和光散射都非常小的波导界面内，并引导光波沿着光纤轴线方向传播。

最早的光通讯是1880年出现的贝尔光电话，将声膜的振动用光照反射、会聚到硅电池上，转换为电信号。光源为阳光或弧光灯，传输介质为空气。由于通话距离最远仅达到213米，因此实用性不强。1960年，激光器在美国的发明，使沉睡了80年的光通讯沐浴到复苏的曙光，但直到1979年，美国和日本研制出寿命达100万小时的室温连续工作半导体激光

器，光通讯的光源问题才真正解决。1960年，最好的玻璃纤维的光损耗仍在1000Bkm，

许多人都放弃了用光纤作传输介质的努力。1966年，华裔科学家高馄博士发表了《光频率的介质纤维表面波导》的论文，首次明确指出“只要设法降低玻璃纤维中的杂质，就能够获得能用于通信的、传输损耗较低的光导纤维”。1970年，美国康宁玻璃公司率先研制成功

了损耗为20dB/km的石英光纤，到1976年，日本电报电话公司已经将光纤损耗降低到

0.47dBkm。中国从1976年拉出200m长的第一根石英光纤，到1979年，光损耗降已为4dB/km。低损耗通信光纤迅速发展到现在，损耗已小于0.2dBm。1980年，美国标准化光

纤通讯系统投入商业应用:1982年，中国第一条实用化的光纤通信线路跨越武汉三镇。横跨大西洋和太平洋的海底光缆系统分别于1988年和1989年铺设完成。光纤光缆逐渐取代传统的金属电缆，成为现代信息传输的主要方式。光纤通信距离从10公里增加到可长达1万

公里，且其通信容量可高达1000Gb/skm。2009年，高锟以“涉及光纤传输的突破性成就”

分享了该年度的诺贝尔物理学奖。

光纤通信之所以发展迅猛，主要缘于它具有以下几个特点:通信容量大、传输距离远信号串扰小、保密性能好;抗电磁干扰、传输质量佳;光纤尺寸小、重量轻，便于敷设和运输;材料来源丰富，节约了大量有色金属铜;耐化学腐蚀，光缆适应性强，寿命长。光纤除了在现代通信系统中有着重要的应用外，在传感器技术方面，也有着独特的优势。光纤传感器是利用待测物理量对光纤内传输的光波的光学参量进行调制并传输至光学探测器进行解调，从而获得待测物理量的变化信息的装置，它具有损耗低、信息量大、线径细、质量轻可绕性好的特点，可用于位移、振动、压力、电流、磁场、温度、浓度等各种物理量的测量，在通信、计算机、医学、自动控制、交通运输、国防等领域获得了广泛的应用。光纤主要由纤芯、包层、涂敷层及套塑四部分组成，其构造如图1所示。

纤芯一般由直径为5-50um、接有少量P2O5和纤芯

包层

涂层

GeOn的高纯度SiO2构成，掺杂剂的作用是提高纤芯的

折射率。为减少光散射和光吸收，纤芯的杂质含量般不大于106

包层主要也是由高纯度SiO2构成，掺有少量的氟和需以降低其折射率。包层的直径一般为125um

图1光纤结构示意图

包层外的涂敷层一般为环氧树脂或硅橡胶，其作

用在于是增强光纤的机械强度。光纤的最外层是套塑，套塑大都是采用尼龙或聚乙稀，其作用也是加强光纤的机械强度，没有套塑层的光纤称为裸光纤

光纤的分类方式有很多种，按照纤芯折射率分布形式可分为阶跃折射率光纤和渐变折射率光纤;按照光在光纤中的传输模式可分为单模光纤和多模光纤;按光纤的工作波长可分为短波长光纤、长波长光纤和超长波长光纤;而按照制造光纤所用的材料又可分为石英系光纤、

多组分玻璃光纤、塑料包层石英芯光纤、全塑料光纤和氟化物光纤等。

本实验的目的是:了解光纤光学的基础知识:学习测量光纤数值孔径和损耗特性的方法了解光纤温度传感器的工作原理;了解光纤音频通信的基本原理和系统构成。

二、实验原理

1.光源与光纤的耦合效率

光源与光纤耦合时，为了降低耦合损耗，使更多的光功率注入光纤，获得最大的耦合效

率，必须考虑光纤和光源的特性以及具体的耦合方法。HeNe激光器输出的高斯光束经过透

镜后仍为高斯光束。仔细选择透镜的焦距，使经透镜耦合后的高斯光束的束腰(光束中最

窄的位置)与纤芯直径相等，即2Wo＝2a，如图2所示。只要将光纤的端面置于高斯光束的

焦点处，即可获得最佳的耦合效率。耦合效率定义为

P

其中，Po是光纤输入功率，P是经光纤耦合后的输出功率

He-Ne光器

WHO

光纤

图2光纤与He-Ne激光器的耦

2.光纤的数值孔径

光纤的数值孔径(NA- numerical aperture)是表征光纤集光能力的一个重要物理量。由

于光线传播具有可逆性，因此，数值孔径既反映了光纤的入射性质，又反映了光纤的出射性质。NA越大，则光纤端面接收或会聚光的能力越强。从几何光学的观点来看，并不是所有入射到光纤端面上的光线都能进入光纤内部进行传播，都能从光纤入射端进去，从出射端出来。而是只有入射角度小于某一个角的光线，オ能在光纤内部传播，如图3所示。设0角是入射光线与光纤轴之间的夹角，这个角度的正弦值就定义为光纤的数值孔径NA，即

本实验采用“远场光斑法”近似测量光纤的数值孔径，其测量原理如图4所示，由光

纤出射的光照射到观察屏上，测出光纤端面与观察屏之间的距离h，以及观察屏上光斑直径2r之后，就可以由下式求出光纤的数值孔径

NA=sing=

(3)

with

参考图3，若光线在纤芯和包层界面的入射角为临界角a＝90°-B，则所有与光纤光轴夹

角小于0的光线都能约束在光纤内。较为常见的一种情况是，N1＝1.464，N2＝1.460。由斯涅

尔( Snell)定律:

N,1.460

sinoM,1.464

可得O。＝85.8°，O＝4.20。

3.光纤的损耗

光波在光纤中传播会产生各种原因引起的损耗，除接续损耗弯曲损耗等附加损耗外，损耗主要来自于材料的两种固有损耗，一种是瑞利散射引起的，来源于光纤材料结晶的不均匀，其损耗与光波长的四次方成反比;另一种是光纤材料(包含杂质)的吸收，可分为紫外吸收与红外吸收。

光纤对光波产生的衰减作用称为光纤损耗。功率传输损耗是光纤最基本和最重要的特性之一，它在很大程度上决定了光纤通信的中继距离。光波在光纤的实际传输过程中，随着传播距离的增加，光功率以指数形式逐渐衰减，即

P(L)=P(0)e e(a

(4)

其中，P(の)为光纤的输入功率，P(Lの)为光波传输L距离后光纤的输出功率，()为损耗系数，

它是光波波长的函数。在光通信中，光信号的损耗一般以分贝(dB)为单位，并采取以下

的光纤损耗定义式

A4(2)=16<

光纤的损耗系数定义为单位距离上的损耗，即

db/Km

L

本实验采用“截断法”测量光纤的损耗。首先，在稳定的光强输入条件下，测量长度为

L的整根光纤的输出功率P2;然后，保持耦合条件不变，在离光纤输入端约处截断光纤，测量此短光纤的输出功率P1。当＞时，短光纤损耗可以忽略，故可近似认为P1和P2是被截断光纤(长度为L-1)的输入功率和输出功率。这样，按照(5)式和(6)式便可以分别求出损耗和损耗系数。本实验所测量的损耗为包括吸收损耗、散射损耗和辐射损耗在内的总损

耗

4.光纤温度传感器

光纤温度传感器是一种相位调制型光纤传感器，它的工作原理基于光纤双光東干涉相位的变化。由激光器发出的相干光，经光纤分束器分别送入两根长度基本相同的光纤中，其中根叫探测臂，另一根叫参考臂。从两根光纤输出的激光束叠加后将产生干涉，形成干涉条

纹。由双光東干涉理论可知，干涉场的光强J(1+cos)，9是相位差，表达式为

T

(7)=-m(T)L(T)

(7)

其中，为波长:n是光纤折射率，一般为1458:L是光纤的长度:T是温度。当＝2kπ时(k为千涉级次)，干涉场光强取极大值:当p(2k+1)π时，干涉场光强取极小值。

当外界的温度作用在其中一根光纤(探测臂)上时，光纤在温度场作用下，长度和折射率都将发生变化，这使得相位也会发生变化

△p

L△+H△L

位相变化将导致干涉条纹产生移动。

5.音频信号通信

音频信号传输系统由“光信号发送器”、“传输光纤”和“光信号接收器”三部分组成其工作原理是:将音频信号按一定的方式调制到载运信息的光波上，经光纤传输到远端的接收器，再经解调将信息还原并输出。在光纤传输过程中，将音频信号转变成光信号和将光信号还原为音频信号是整个系统的关键，下面分别介绍系统各部分的作用

光信号发送器的作用是将音频电信号调制到激光器发出的光载波上，使之变成载有音频信息的光信号，而后进入光纤传送到光信号接收器。本实验采用

调制后光信号

直接强度调制方法把电信号转换为光信号。直接调制.

时间

的方法是把传送的信息转变为电流信号，用其驱动平

回

导体发光二极管(LED- Light Emitting Diode)，使LED

发出的光载功率的大小随电流信号的变化而变化。如

驱动电流

图5所示，当驱动电流较小时，LED的发射功率与驱动电流基本上呈线性关系，当驱动电流达到某一阈值以后，音频信号与LED的静态驱动电流相叠加，使LED发送随音频信号变化的光信号。半导体发光二极

图5音频信号调制为光信号

管输出的光功率与其驱动电流的关系称为LED的电光

特性。为了避免和减小非线性失真，使用时应给LED一个适当偏置电流，其值等于这一特性曲线线性部分中点对应的电流值，而调制信号的峰峰值也应位于电光特性线性范围内。对于非线性失真要求不高的情況下，也可把偏置电流选为LED最大允许工作电流的一半，这样可使LED获得无截至畸变幅度最大的调制，这有利于信号的远距离传输

光信号接收器的作用是把传输光纤中的光信号耦合到光电二极管中，由光电二极管将光信号转换成与之成正比的电流信号，再经电流电压转換电路・把电流信号变成电压信号，音频电压信号经音频功率放大器后驱动喇叭发声。本实验的光信号接收采用硅光电二极管

( Spd-silicon Photo Diode)，峰值响应波长在820m左右，工作时SPD把经光纤出射端输

出的光信号转化为与之光功率成正比的光电流，经过1V转換电路，再把光电流转換成与之成正比例的电压信号

实验所用的音频信号光纤传输实验原理框图及激光二极管输出P特性曲线如图6。音频信号输入光信号发送器，经放大成为流过LED的音频制电流。以实现“电-光”过程的

调制。LED要工作在线性区，就必领加我偏置电流。由在电阻Re上的压降a，可测

量调制信号。由图右的激光二极管输出P-特性曲线可知，1过小或过大，将导致音频调制信号发生“截止形变”或“饱和形变”。

P수饱和形变

光信号

音频信号

光信号LED

O「接收器

截止形变一

发送器RU

SPD

图6.音频信号光纤传输实验仪原理框图(左)和LED输出P特性曲线(右)被音频电流调制的光信号经光纤传到光信号接收器，其中SPD为“光一电”二极管探测器，实现与“电-光”LED的相反功能，则可解调出音频电压信号U传送到扬声器。

三、实验装置

本实验所使用的仪器及光学元件有:HeNe激光器、光功率计、FD-OFT-A型音频信号

光纤传输实验仪、收音机、显微物镜、五维调整架、光纤、光纤切割刀、光纤错。

四、实验內容

1.光源与多模光纤耦合

(1)打开He-Ne激光电源，预热15分钟

2)显微物镜耦合:确定光束通过显微物镜后的焦平面位置，将处理好的光纤置于合适的铜棒中并夹紧，仔细调节五维调整架，使光纤端面处于物镜焦点上;

(3)利用功率计直接测量光源输出功率Po和光纤输出功率P，计算耦合效率y。

2.截断法量光纤的损耗特性

(1)选取约2m长的塑料多模光纤，光纤端面处理后置于铜棒中并夹紧

(2)当耦合输出功率最大时，用功率计测量此时的功率值P1

(3)在距光纤输入端约10cm处剪断光纤，并测量截下长光纤的长度L，测量此时的输出功率值P2;计算光纤的损耗(1)和损耗系数a(1)

3.光纤的数值孔径测量

根据远场光斑法的定义，设计并测量单模光纤的数值孔径

4.温度传感器

(1)用步骤3的光纤作为温度传感器的输入光纤，使其耦合最佳

(2)处理光纤温度传感器的两根输出光纤，仔细调节它们的位置和间距，并调节监视器的位置直到观察到干涉条纹

(3)缓慢调节一根光纤上的温度，观察干涉条纹的移动，确定其条纹变化数和温度之间的

关系。

5.LED电光特性

1)打开主机电源，将光纤其中一端接至ED发射中号输母端，另一端接至SPD欧中的信号输사端

(2)将光功率计开关置于测档。调节偏流调컵旋钮，使面板电流表读数为零，再将光功

率表也调零。偏置电流从5mA-50mA，每隔5mA记录对应的光功率值。根据测量结

果绘出LED电光特性曲线，即LED光功率与其驱动电流的关系图，分析其线性范围。

6.光纤传输系统幅频特性的测定

先接好音信号通道、光通道，把光功率计置于实档，将音频发生器产生信号和LED调制信号输入双综示波器观察。实验时先将音频发生器输出信号峰-峰值调为1V，偏流和调制信号幅度调节适当，以确保光信号发送器正常工作。然后将音频发生器输出

信号频率依次调为100Hz、500Hz、1KHz、SKHz、10KHz、15KHz、20KHz，用示波器

观测由光纤传输的光信号转化成的音频电信号的波形和峰-峰值。由观测结果绘出音频信号光纤传输系统幅频恃性曲线

7.语音信号的传送

将半导体收音机的信号接入发送器的输入端(在后面板上)，通过后面板上的转换开关接收功放输出端接上扬声器，实验整个音频信号光纤传输系统的音响效果。实验时调节发送器LED的偏置电流，考察传输系统的听觉效果

8.LED直流偏流与最大不失真调制幅度的关系测定

本实验要找出在不同的直流偏流下电路能加载的不失真调制幅度的大小，同时找到LED发光电路最佳工作点，以及在此工作点下能加载的最大不失真信号幅度。实验时先接好音频信号通道、光通道，把光功率计置于实验档。然后将音频发生器产生信号和LED调制信号输入双综示波器观察。调节音频信号发生器，使其输出信号峰-峰值为1V，

频率为10KHz。接着把偏流加至20mA，调节“LED发射器”中的幅度调节旋钮，使加在电路上的音频信号由小变大，观察调制信号的波形及失真情况。记录偏流为20mA时

最大不失真调制幅度的峰-峰值。分析观察到的现象，然后决定増大或减小偏流以找到最

佳静态工作点Do。实验时可调节音频信号幅度来检验新的工作点是否为/Do，若在示波器上能观察到调制信号同时出现截止和饱和失真(这时的偏置电流约为66mA左右，

则此时正处于最佳工作点。记录刚要同时出现两种失真现象时的偏流值和调制信号峰-峰值F∞。，则从电路方面考虑，通过LED的最佳工作电流和最大不失真交流幅度分别

为pQ和bQ/R。(本仪器R。-502)

五、注意事项

1.眼晴不要正视激光器发出的激光東和光纤耦合输出的激光束

2.对光纤端面进行处理时要十分小心，同时避免造成不必要的浪费

3.在用光纤切割刀切割纤芯端面时，光纤下面一定要垫纸，以免损伤刀口:

4.实验开始前及结束后，应把LED发射器的度词和流电位器逆时针旋至最小

5.在实验中，光纤与发射器和接收器接头插拔时应该注意不要用力过猛，以免损坏。

六、思考题

请列出光纤能够成为信息传播介质的物理原因

2.光纤的数值孔径与光纤的内全反射有什么关系?

3.引起光纤损耗的因素有哪些?列出实验中光传输系统中可能引起光信号的衰减的环节。

.结合LED特性曲线，说明如何实现用音频信号线性不失真地调节半导体激光二极管的发

射光强

5.切割光纤对操作和纤芯截面有什么的技术要求?哪个参数直接反映纤芯断面是否理想?