

项目二

初识光纤与光缆

任务一 了解光纤基础理论

任务描述

光纤是光导纤维的简称,是一种由玻璃或塑料制成的纤维,可作为光传导工具。本任务将学习光纤结构与类型、光纤的传导模、数值孔径以及光纤的制造和成品测试。

任务目标

- 识记:光纤的结构及类型。
- 领会:光纤的数值孔径。
- 应用:光纤不同的分类类型。

任务实施

一、认识光纤的结构

光纤是由纤芯和包层同轴组成的双层或多层的圆柱体的细玻璃丝。光纤的外径一般为 $125 \sim 140 \mu\text{m}$, 芯径一般为 $3 \sim 100 \mu\text{m}$ 。光纤是光纤通信系统的传输介质,其作用是在不受外界干扰的条件下,低损耗、小失真地传输光信号。

光纤主要由纤芯和包层组成,最外层还有涂覆层和套塑。其结构如图 2-1-1 所示。

光纤的中心部分是纤芯,其折射率比包层稍高,损耗比包层更低,光能量主要在纤芯内传输;包层为光的传输提供反射面和光隔离,将光波封闭在光纤中传播,并对纤芯起着一定的机械保护作用。光纤纤芯和包层折射率分别为 n_1 和 n_2 。光波在光纤中是通过全反射传播的,因此只有 $n_1 > n_2$ 才能达到传导光波的目的。



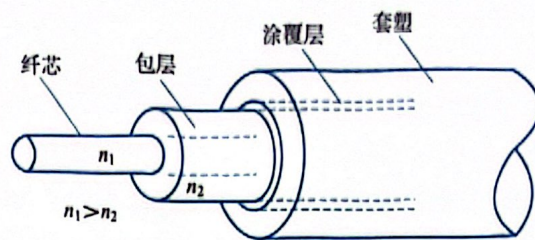


图 2-1-1 光纤的结构示意图

为了实现纤芯和包层的折射率差异,需要纤芯和包层的材料不同。目前纤芯的主要成分是石英(SiO_2)。在石英中掺入其他杂质,就构成了包层,如果要提高石英材料的折射率,可以掺入二氧化锗、 P_2O_5 等;如果要降低石英材料的折射率,可以掺入 B_2O_3 、氟(F)等。

实际的光纤不是裸露的玻璃丝,而是在光纤的外围附加涂覆层和套塑,主要用于保护光纤,增加光纤的强度。

二、了解光纤的类型

(一)按材料成分分类

按照光纤的材料来分,一般可分为石英玻璃光纤、掺稀土光纤、复合光纤、氟化物光纤、塑包光纤、全塑光纤、碳涂层光纤和金属涂层光纤八种。

1. 石英玻璃光纤

石英玻璃光纤是一种以高折射率的纯石英玻璃(SiO_2)材料为芯,以低折射率的有机或无机材料为包层的光学纤维。石英玻璃光纤传输波长范围宽,数值孔径(NA)大,光纤芯径大,力学性能好,很容易与光源耦合。在信息传输、传感、光谱分析、激光医疗、照明等领域的应用极为广泛。

2. 掺稀土光纤

掺稀土光纤是在光纤的纤芯中,掺杂铒(Er)、钕(Nd)、镨(Pr)等稀土族元素的光纤。1985年,南安普顿(Southampton)大学的佩恩(Payne)等首先发现掺杂稀土元素的光纤有激光振荡和光放大作用。目前使用的1550 nm波段的EDFA就是利用掺铒的单模光纤作为激光工作物质的。

3. 复合光纤

复合光纤是在石英玻璃(SiO_2)原料中适当混合氧化钠(Na_2O)、氧化硼(B_2O_3)、氧化钾(K_2O)等氧化物制成的光纤。其特点是软化点低,纤芯与包层的折射率差别大,把光束束缚在纤芯的能力强,主要应用于医疗业务的光纤窥镜。

4. 氟化物光纤

氟化物光纤(Fluoride Fiber)是由多种氟化物玻璃制成的光纤。这种光纤原料简称ZBLAN[氟化锆(ZrF_4)、氟化钡(BaF_2)、氟化镧(LaF_3)、氟化铝(AlF_3)、氟化钠(NaF)等氟化物简化的缩略语]。其工作波长为2~10 μm ,具有超低损耗的特点,用于长距离光纤通信,目前尚未广泛实用。

5. 塑包光纤

塑包光纤(Plastic Clad Fiber)是用高纯度的石英玻璃制成纤芯,用硅胶等塑料(折射率比石英稍低)作为包层的阶跃型光纤。它与石英光纤相比,具有纤芯粗、数值孔径(NA)高的优点。



因此,易与发光二极管 LED 光源结合,损耗也较小。所以,非常适用于局域网(LAN)或者近距离通信。

6. 全塑光纤

全塑光纤(Plastic Optical Fiber)的纤芯和包层都是用塑料(聚合物)制成的。全塑光纤的纤芯直径为 $1\,000\ \mu\text{m}$,是单模石英光纤的 100 倍,并且接续很简单,而且易于弯曲,容易施工。在汽车内部或者家庭局域网中得到应用。

7. 碳涂层光纤

碳涂层光纤(Carbon Coated Fiber, CCF)是在石英光纤的表面涂敷有碳膜的光纤。其利用碳素的致密膜层,使光纤表面与外界隔离,以改善光纤的机械疲劳损耗和氢分子的损耗。

8. 金属涂层光纤

金属涂层光纤(Metal Coated Fiber)是在光纤表面涂上 Ni、Cu、Al 等金属层的光纤。它在恶劣环境中得到广泛应用。

(二) 按折射率分类

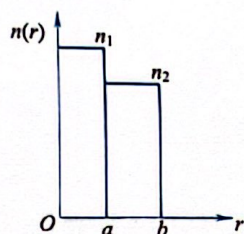
按照折射率来分,一般可以分为阶跃型光纤和渐变型光纤两种。

1. 阶跃型光纤

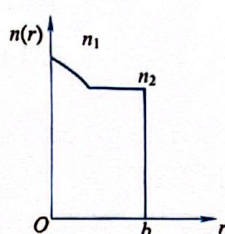
如果纤芯折射率(指数)沿半径方向保持一定,包层折射率沿半径方向也保持一定,而且纤芯和包层折射率在边界处呈阶梯形变化的光纤,称为阶跃型光纤,也可称为均匀光纤。这种光纤一般纤芯直径为 $50\sim 80\ \mu\text{m}$,特点是信号畸变大。其结构如图 2-1-2(a)所示。

2. 渐变型光纤

如果纤芯折射率沿着半径加大而逐渐减小,而包层折射率是均匀的,则称这种光纤为渐变型光纤,也称为非均匀光纤。这种光纤纤芯直径一般为 $50\ \mu\text{m}$,特点是信号畸变小。其结构如图 2-1-2(b)所示。



(a) 阶跃型光纤的折射率分布



(b) 渐变型光纤的折射率分布

图 2-1-2 阶跃型和渐变型光纤折射率分布

(三) 按传输模式数量分类

光纤的传输模式通常从两个方面来理解:波动光学和射线光学。

从波动光学的角度来讲就是:多种成离散分布而稳定状态的电磁场分布。

理论依据:在光纤中传播的电磁场,要遵循麦克斯韦方程组,且在满足纤芯和包层界面的边界条件下求解,得到的电磁场的解已经不再像在自由空间那样呈连续变化,而是离散化的解。

从射线光学的角度来讲就是:一组独立的传播角离散分布的光束或光线传播。

根据光纤中传输模式的数量,可分为单模光纤和多模光纤。



1. 单模光纤

单模光纤是指只能传输基模,即只能传输一个最低模式的光纤,其他模式均被截止。单模光纤的纤芯直径较小,为 $4 \sim 10 \mu\text{m}$,通常纤芯中折射率的分布认为是均匀分布的。由于单模光纤只传输基模,从而完全避免了模式色散,使传输带宽大大加宽。因此,它适用于大容量、长距离的光纤通信。这种光纤的特点是信号畸变小。

2. 多模光纤

多模光纤是指可以传输多种模式的光纤,即光纤传输的是一个模群。多模光纤的纤芯直径约为 $50 \mu\text{m}$,由于模式色散的存在会使多模光纤的带宽变窄,但其制造、耦合、连接都比单模光纤容易。

