

单模光纤损耗特性和截止波长测量

[实验目的]

1. 了解单模光纤的工作原理及相关特性；
2. 掌握阶跃型光纤截止波长的测量方法。

[实验原理]

1. 光纤的结构与导波特性的

光纤是一种高度透明的玻璃丝，由纯石英经复杂的工艺拉制而成，从横截面上看基本由 3 部分组成，即折射率较高的芯区，折射率较低的包层和表面涂层。根据芯区折射率径向分布的不同，可分为两类光纤，折射率在纤芯与包层介面突变的光纤称为阶跃光纤；折射率在纤芯内按某种规律逐渐降低的光纤称为渐变光纤，不同的折射率分布，传输特性完全不同。图 1 给出了这两种光纤横截面的折射率分布，其典型尺寸为：单模光纤纤芯直径 $2a=8-12\mu\text{m}$ ，包层直径 $2b=125\mu\text{m}$ ；多模光纤 $2a=50\mu\text{m}$ ， $2b=125\mu\text{m}$ 。对单模光纤， $2a$ 与 λ 处同一量级，由于衍射效应，模场强度有相当一部分处于包层中，不易精确测出 $2a$ 的精确值，因而只有结构设计上的意义，在实际应用中并无实际意义，实际应用中常用模场或模斑直径(MFD)表示。

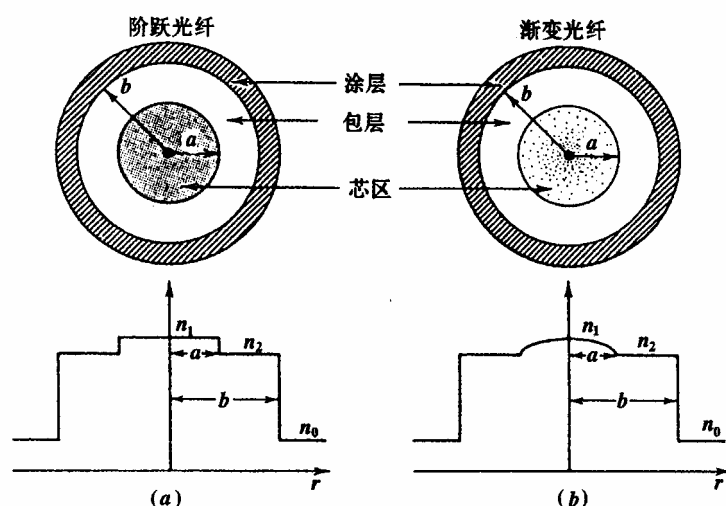


图 1 阶跃光纤(a)与渐变光纤(b)的横截面和折射率分布

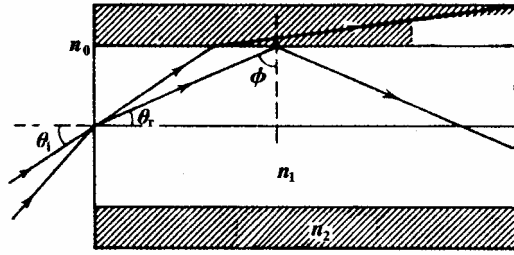


图 2 光在光纤中的传播途径

图 2 所示为阶跃光纤剖面，入射光在纤芯和包层的界面发生全反射，所有满足全反射条件的光线都将被限制在纤芯中，这是光纤约束和导引光传输的基本机制。图 3 所示为渐变光纤剖面，渐变光纤的芯区折射率不是一个常数，它从芯区中心的最大值 n_1 逐渐降低到纤芯-包层界面的最小值 n_2 ，大部分渐变光纤按二次方规律下降。在阶跃光纤中光线以曲折的锯齿形式向前传播，而在渐变光纤中则以一种正弦振荡形式向前传播。如图可见，类似于阶跃光纤，入射角大的光线路径长，由于折射率的变化，光速在沿路径变化，虽然沿光纤轴线传播路径最短，但轴线上折射率最大，光传播最慢，而斜光线的大部分路径在低折射率的介质中传播，虽然路径长，但传输得快，因而合理设计折射率分布，可使所有光线同时到达光纤输出端，降低了多径或模间色散。

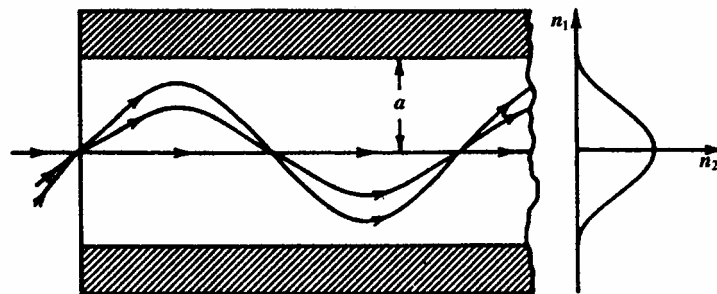


图 3 渐变光纤中的光线轨迹

光纤是光纤通信的传输媒质，用石英材料制成，属于介质波导，可将光线限制在光纤芯子中传播。光纤的主要特性是损耗、色散和非线性。

2. 光纤的损耗特性

光纤损耗是通信距离的固有限制，在给定发送功率和接收机灵敏度条件下，它决定了从光发送机到光接收机之间的最大距离，损耗过大将严重影响通信系统的性能。

光纤的衰减机理主要有三种：即光能量的吸收损耗、散射损耗和辐射损耗。吸收损耗与光纤材料有关，散射损耗则与光纤材料及光纤中的结构缺陷有关，而辐射损耗则由光纤几何形状的微观和宏观扰动引起。光纤的损耗用衰减系数 α 表

示:

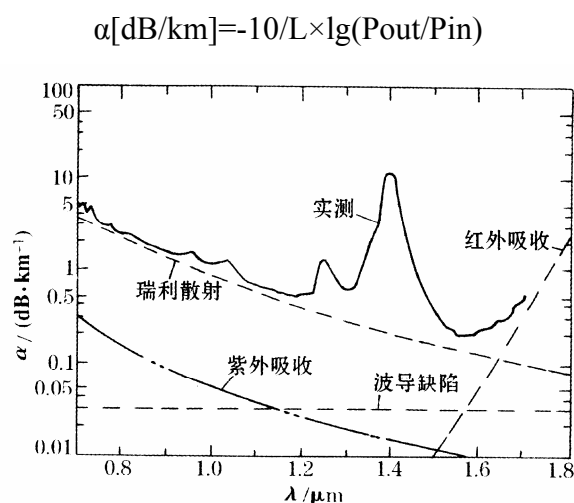


图 4 单模光纤的损耗谱特性

图 4 为光纤衰减系数随波长的变化曲线，图 5 为光纤衰减研究的进展情况。早期，由于技术上的原因光纤通信只能利用 0.8~0.9μm 的短波长波段，因为这个波段的损耗最小，且可得到与之匹配的光源与光电探测器。随着光纤杂质浓度的降低，光纤衰减大为减小。1.3μm 和 1.5μm 是光纤的另两个低损耗窗口。目前，在 1.3μm 波段，商品光纤的衰减为 0.35dB / km，而在 1.5μm 波段为 0.25dB / km，已接近光纤固有损耗的极限。当更进一步减小光纤损耗时，可以得到在 1.45~1.65μm 波段的低损耗。这将极大地扩展光纤的可用带宽。

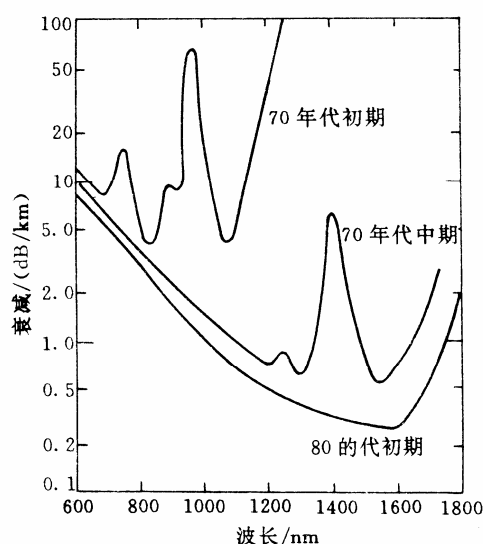


图 5 光纤衰减研究的进展情况

3. 阶跃光纤的截止波长测量

光纤是一种介质波导，在光纤内传输的导波有各种不同模式。对于一定波长

的光，它在光纤内传输时包含哪些模式，取决于光纤的内部结构(n_1 、 n_2 、 a 和 b 的数值)。在光纤传输理论中，通常以归一化频率 V 来表征光纤的特性，理论分析表明，各模式在 V 逐渐变小达到某一数值时将会截止，即 V 小于某一数值以后，该种模式将不能在光纤中传输，弱波导纤维各低阶模式的截止归一化频率如下：

LP ₀₁ 模	$V_c=0$
LP ₁₁ 模	$V_c=2.405$
LP ₂₁ 模	$V_c=3.832$
LP ₀₂ 模	$V_c=3.832$

从以上数据可以看出，LP₀₁模的截止频率等于 0，即不论 V 等于什么数值，它都可以在光纤内传输，所以称为基模，在 $V < 2.405$ 时，光纤中只有单一的基模传输。在这范围内工作的光纤称为单模光纤，它具有色散小，信息容量大等特点。对于一根特定的光纤(a , n_1 , A 已确定)，只要波长充分长，总可以单模方式传输，开始实现单模传输的波长称为截止波长 λ_c , $\lambda > \lambda_c$ 时，只有基模传输，各高阶模都被截止。

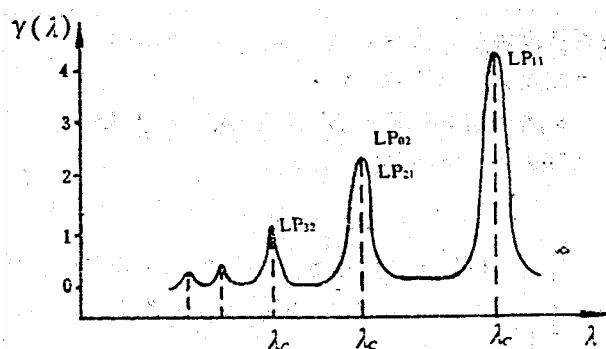


图 6 光纤弯曲损耗与波长的关系

光纤弯曲时，在光纤内传输的光有一部分辐射到光纤之外，光纤内导波的强度将发生衰减。经过理论分析可知，由弯曲而引起的附加损耗在各模的截止点附近特别显著，而在偏离截止点稍远处附加损耗却很小。附加损耗与波长的关系如图 6 所示。测量附加损耗与波长的关系，就可以定出光纤的截止波长(λ_c 对应于波长最大的那个附加损耗峰)。

[实验装置]

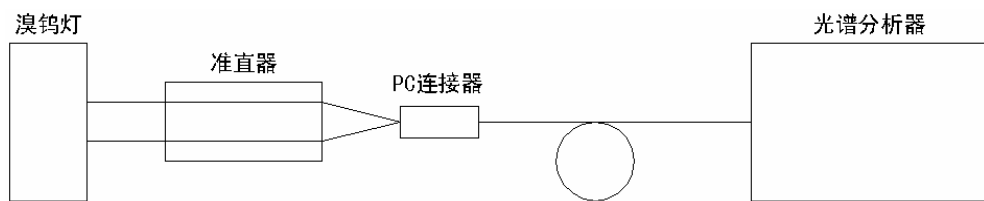


图 7 光纤截止波长测量实验装置图

[实验内容]

1. 实验装置连接

- a. 按图示光路连接实验装置，溴钨灯电源连接至 LVS 输出，缓慢增加 LVS 输出电压至 12V
- b. 将实验仪主机背板通讯接口用串行通讯电缆连接至计算机主机 COM1 口，打开实验仪主机电源后再运行计算机上的测试软件。

2. 单模光纤截止波长测量

- a. 将溴钨灯辐射光束耦合进入单模光纤，单模光纤输出接入光谱分析器，输出狭缝置 2mm。
- b. 保持单模光纤为自然伸展状态，将光谱分析器功率探头输出连接至 PD，OPMMOD 置 PD/mW，量程(OPMRTO)置 10nW 档。
- c. 测量单模光纤输出光谱，波长范围 900-1300nm，波长间隔 0.1nm。
- d. 将此光谱设为损耗谱计算基准。
- e. 将单模光纤按直径 30mm 绕 5 圈，测量此时的单模光纤输出光谱。
- f. 求单模光纤弯曲损耗谱，确定单模光纤截止波长。

[注意事项]

1. 系统上电后禁止将光纤连接器对准人眼，以免灼伤。
2. 光纤连接器陶瓷插芯表面光洁度要求极高，除专用清洁布外禁止用手触摸或接触硬物。空置的光纤连接器端子必须插上护套。
3. 所有光纤均不可过于弯曲，除特殊测试外其曲率半径应大于 30mm。