

华中科技大学

光学与电子信息学院二〇一一级

《光纤光学》考试试卷 A（闭卷）

专业：_____ 班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____

题 号	一	二	三	四	总分
得 分					
阅卷人					

一、 选择题（下列各题四个备选答案中有一个正确答案，请将其代号写在题干前面的括号内。每小题 2 分，共 30 分）

（ C ） 1 下面关于光纤的描述，**不正确**的是：

- A、光纤中允许传播的模式数目与纤芯半径有关；
- B、阶跃折射率分布光纤的纤芯各处折射率均相等；
- C、单模光纤的判据是归一化频率 $V < 2.405$ ；
- D、塑料光纤比石英玻璃光纤重量更轻、韧性更好。

（ D ） 2 光纤的制备工艺，其中描述**不正确**的是：

- A、光纤原材料的提纯采用“加温—蒸馏—冷凝”工艺；
- B、光纤制备通常包括“预制棒—拉丝”两个步骤；
- C、化学气相沉积法（MCVD）采用氢氧焰为热源；
- D、管外气相沉积法（OVD）预制棒的生长方向沿母棒轴向垂直生长。

（ B ） 3 在普通 G652 单模光纤中，下面那个波长处损耗较大而**不适于通信传输**：

- A、1550 nm；
- B、1390 nm；
- C、1310 nm；
- D、1610 nm。

（ B ） 4 以下关于光纤的损耗描述**不正确**的是：

- A、红外吸收决定了石英光纤工作波长的上限；
- B、光纤中高阶模弯曲损耗小，低阶模弯曲损耗大；
- C、OH 根离子吸收谱的谷区构成了光纤通信波段的三个窗口；
- D、理想条件下光纤损耗的下限由瑞利散射和本征吸收组成。

（ C ） 5 在运用几何光学方法与模式理论分析阶跃折射率分布光纤时，以下阐述**正确**的是：

- A、子午光线与偏斜光线具有相同的数值孔径和收光角；

- B、导模截止时，场在包层中不存在，导模场的约束最强；
- C、外界输入的光场只能激励起光纤中允许存在的固有模式；
- D、TE(TM)模与偏斜光线相对应。

(D) 6 现有一个 2×2 定向耦合器，1、2 端口为输入，3、4 端口为输出。理想情况下，仅从 1 端口输入时，3、4 端口耦合分光比为 20:80。现从 1 端口输入光功率 1mW，2 端口输入光功率 2mW，则在 4 端口输出的光功率为：

- A、2mW；
- B、2.4mW；
- C、0.6mW；
- D、1.2mW。

(A) 7 以下论述**正确**的是：

- A、导模对应于分立的本征值，而辐射模对应于连续的本征值；
- B、泄露模对应于折射光线，不被光纤束缚；
- C、辐射模与隧道光线相对应；
- D、渐变折射率光纤中光线的角向运动速度保持不变。

(D) 8 关于光纤光栅的说法，**不正确**的是：

- A、长周期光纤光栅是透射型光纤光栅，短周期光纤光栅是反射光纤光栅；
- B、长周期光纤光栅的光学特性是由向前传输的导模与包层模耦合的结果；
- C、Bragg 光纤光栅是可以用来补偿光纤色散；
- D、长周期光纤光栅透射谱谐振波长与包层周围介质的折射率无关。

(C) 9 阶跃折射率分布光纤满足弱导近似时，若已知其归一化截止频率 $V=3.2$ ，则光纤中允许存在的精确导模数目是：

- A、2；
- B、4；
- C、6；
- D、8。

(C) 10 关于自聚焦透镜的描述，**不正确**的是：

- A、自聚焦透镜通过改变其长度来使焦距变化；
- B、自聚焦透镜的横向折射率分布是渐变的；
- C、自聚焦透镜的制备工艺与普通单模光纤相同；
- D、0.25P 的自聚焦透镜可以对光线进行准直。

(B) 11 光纤中的色散以下说法**正确**的是：

- A、材料色散小于零的波长区域称为反常色散区；
- B、非零色散位移光纤比色散位移光纤更适合于密集波分复用光通信系统；

- C、带啁啾的光脉冲经过光纤后，色散都将导致脉冲展宽；
- D、材料色散引起的群延时与光源谱宽无关。

(C) 12 关于单模光纤的双折射，以下说法**不正确**的是：

- A、光纤中存在三种双折射：线双折射、圆双折射以及椭圆双折射；
- B、双折射是由于相互正交的偏振模传播常数不同导致；
- C、普通单模光纤中基模的偏振态沿光纤长度方向不发生变化；
- D、偏振模色散来自于两正交偏振模之间的差分群延时。

(B) 13 以下关于隔离器与环形器的说法**不正确**的是：

- A、隔离器与环形器都是光学非互易性器件；
- B、偏振相关隔离器可用于实际光通信系统以提高传输性能；
- C、环形器与隔离器的工作原理类似，都是基于法拉第旋光效应；
- D、环形器可以用来构建光反射镜。

(C) 14 关于掺铒光纤放大器的说法，**不正确**的是：

- A、980nm 波长用于泵浦时，铒离子相当于三能级系统；
- B、同等功率下，980nm 泵浦较 1480nm 泵浦粒子数反转完全，噪声特性好；
- C、接收机前置放大应用中通常采用后向泵浦方式；
- D、光纤放大器带宽是指增益由最大值下降 3dB 所对应的波长带宽。

(C) 15 对光纤参数加以测试，以下说法**不正确**的是：

- A、为了准确测量损耗与色散，要求光纤中传播的模式处于稳态分布；
- B、单模光纤的模场半径可以用来估算单模光纤的连接损耗以及弯曲损耗等；
- C、截止波长的测量与待测光纤长度无关；
- D、光纤活动连接器的物理接触可大大减少菲涅尔反射损耗。

二、简答题（每小题 5 分，共 20 分）

1. 简述 WKB 近似法的基本思想和适用范围。

答：导模场分布的变化主要体现在相位的变化上，可以将场解分解为缓慢变化的振幅函数与快速变化的相位函数的乘积，将 $F(r)$ 的求解归结于求光程函数表达式，利用相位匹配条件求取本征值。WKB 方法是有适用范围的。当 $2m+l$ 很大时，才可用 WKB 思想求解模场，即模式比较多时才能用。如果模式数少，那么再用 WKB 方法求解的话误差是很大的

2. 根据光纤波导的模式分析理论，简述纵向传播常数 β 与横向传播常数 U 和 W 的物理意义并结合导模的截止与远离截止条件讨论 U 和 W 的取值变化情况。

答：纵向传播常数即与本征解相对应的本征值，代表导模的相位在光纤传播方向上单位长度的变化量。也可以看成是导模的等效折射率，其取值决定了导模的截止与远离截止。

横向传播常数 U 和 W 分别反映了导模在芯区中的驻波场的横向震荡频率，以及导模在包层中消逝场的衰减速度。

导模截止时， $W \rightarrow 0$ ，场在包层中不衰减，导模转化为辐射模， $U \rightarrow V$ 。

导模远离截止时， $W \rightarrow \infty$ ，场在包层中不存在，约束最强， $U \rightarrow 0$ 。

3. 从模式耦合理论出发简述长周期光纤光栅与光纤布拉格光栅的工作原理，并说明这两种光纤光栅的工作波长和哪些参数相关？

答：Bragg 光纤光栅的光学特性是由前向传输的导模与相向传输的导模耦合的结果，而长周期光纤光栅的光学特性则是由同向传输的导模和包层模耦合的结果。Bragg 光栅的工作波长和等效折射率以及光栅周期有关，长周期光栅的工作波长由谐振条件决定，和光栅周期，参与耦合的纤芯导模折射率以及包层模折射率有关。

4. 简述半导体激光器与单模光纤直接耦合效率较低的原因及损耗的来源，并提出提高耦合效率的方法。

答：LD 发出的光在空间分布很不均匀，长几十微米，宽零点几微米，远场图为细长的椭圆。发散角垂直方向 30-45 度，水平方向 10 几度。对单模光纤来讲，既不是圆对称结构，又超出其数值孔径决定的接收角，因此难以耦合。

提高耦合效率，可以利用透镜耦合，将 LD 发出的光束进行转换，使其远场光斑尺寸形状以及发散角可以与单模光纤对应。

可以采用微透镜，GRIN 镜，光纤端面处理以及组合等手段。

三. 设计题（每题 10 分，共 20 分）

1. 利用光时域反射仪（OTDR）测量一段 50km 的单模光纤链路：由三段光纤 a、b、c 组成。其中 a 和 c 是同种光纤，长度均为 10km，损耗为 0.2dB/km，单模模场半宽为 $2\mu\text{m}$ ；b 光纤损耗为 0.25dB/km，单模模场半宽为 $4\mu\text{m}$ 。光纤折射率均为 1.5。请设计 OTDR 的各项性能参数包括注入光脉冲宽度，平均注入光功率，使得测量的空间分辨率达到 1m（假设 OTDR 探测器所需最低光功率为 -31dBm）。画出 OTDR 测得的背向散射功率随光纤长度的关系，标注清楚各段光纤的距离与损耗，以及光纤之间的永久性固定连接损耗大小与位置（忽略端面反射）。

答：此题考查 OTDR 的知识以及模场适配导致的损耗。

经过计算，光纤之间连接损耗为 2dB，往返一次总的损耗 31dB。因此输入光平均功率需 $\geq 0\text{dBm}$ 或是 1 毫瓦。脉冲宽度 10ns。

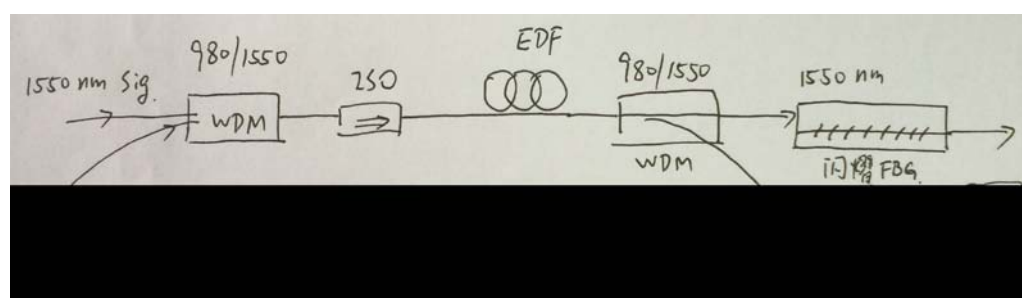
画图时，应有两个小台阶下降，损耗 2dB，分别对应 10km 与 40km 处。b 段光纤斜率稍大。

2. 现有 980nm 和 1480nm 波长泵浦激光器、980nm/1550nm 和 1480nm/1550nm 波分复用器、光隔离器、掺饵光纤、闪耀光纤光栅等器件若干，请设计一个增益平坦的低噪声 C 波段光纤放大器，画出系统结构简图，简述其工作原理。

答：此题应由 980nm 泵浦构成同向泵浦结构的低噪声放大器。若用 1480，扣两分。若不是同向 pump，扣两分。

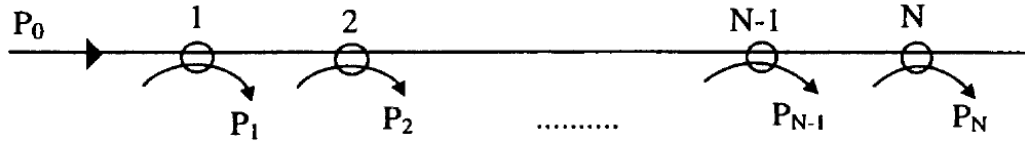
需简述 980nm 相比于 1480nm 的低噪声原理：三能级，反转数完全同向与背向相比，信号未经衰减就放大，噪声性能好。

闪耀光栅用来损耗 1530nm 处的增益峰，形成平坦光放大。



四. 计算题（每题 10 分，共 30 分）

1. 考虑如下的线性光纤链路， N 个 2×2 理想定向光纤耦合器（忽略任何附加损耗）级联在一起。假设输入光功率为 P_0 。 $P_1, P_2, \dots, P_{N-1}, P_N$ 是耦合器输出的下路光功率。请推导各耦合器的直通端插入损耗以使得 $P_1 = P_2 = \dots = P_{N-1} = P_N$ （不考虑光纤损耗）。



答：另 $P_1 = P_2 = \dots = P_{N-1} = P_N = P$ 第 N 个耦合器直通段插入损耗 $\alpha_N = [P_0 - (N-1)P] / (P_0 - NP)$

以 dB 来计的话即为 $10 \log_{10} (\alpha_N)$

2. 已知一阶跃折射率分布光纤的纤芯直径为 $10 \mu\text{m}$ ，数值孔径 $NA = 0.12$ ，问：（1）求该光纤单模工作条件下的截止波长；（2）对于 $1.20 \mu\text{m}$ 的光波传输多少模式？

答 （1） $NA = n_1 \sin \theta_{im} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} = 0.12$

由 $V = k_0 a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} n_1 \sqrt{2\Delta} = 2.40$ ，得 $\lambda_0 = 1.57 \mu\text{m}$

（2）由 $V = k_0 a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} n_1 \sqrt{2\Delta}$ ，得 $V = 3.14$ ， $2.40 < V = 3.14 < 3.823$ ，则该光纤

中传输的模式有 HE_{11} ， HE_{21} ， TE_{01} ， TM_{01} 。

3. 在 1.55 um 处,阶跃折射率分布多模光纤纤芯折射率为 1.5,相对折射率差为 0.0018, 光纤长度为 10km, 已知该光纤材料色散为 100ps/nm/km, 波导色散可忽略。通常为了实现光通信系统正常工作, 脉冲展宽不应超过光信号脉宽的 20%。
- 1) 光源谱宽为 10nm 时, 请计算总的群延时限制下的光信号最高传输速率;
 - 2) 若想在上述多模光纤中实现 1Gbps 的传输速率, 当光源谱宽为 10nm 时, 计算最长的传输距离;
 - 3) 将多模光纤换成单模光纤, 令其总色散为 20ps/nm/km, 若想实现 10Gbps 速率的 10km 传输, 对光源谱宽有怎样的要求? 。

答: 1) 首先由模间色散群延时计算, $\Delta\tau_m = \frac{L\Delta n_1^2}{cn_2} \square \frac{L\Delta n_1}{c}$, 得到模间色散导致的

群延时为 90ns。然后计算光源谱宽为 10nm 时由于材料色散导致的脉冲展宽为 10ns, 因此总的群延时导致的脉冲展宽为 100ns, 不超过 20%展宽情况下最小信号脉宽为 500ns, 最高传输速率为 2Mbps。

2) 1Gbps 允许最大展宽为 200ps, 根据上述关系可得到该多模光纤最大传输距离为 20m。

3) 10Gbps 允许最大展宽为 20ps, 10km 单模光纤传输时要求光源谱宽不超过 0.1nm。

可能用到的公式和数据:

π 取 3.14 $\log_{10}0.64=-0.2$

零阶贝塞尔函数前三个根: 2.40, 5.520, 8.654;

一阶贝塞尔函数前三个根: 0, 3.823, 7.016;

二阶贝塞尔函数前三个根: 5.136, 8.417, 11.620;

$$\tau_g = \frac{1}{V_g} = \frac{d\beta}{d\omega} = \frac{d\beta}{cdk_0}$$

$$\chi^2 = \omega^2 \epsilon \mu - \beta^2 = n^2 k_0^2 - \beta^2$$

$$U = a\chi_1 = \sqrt{n_1^2 k_0^2 - \beta^2} \cdot a$$

$$\beta = nk_0 \cos \theta_z \quad \lambda_m = (n_{eff}^{co} - n_{eff}^{cl,m}) \Lambda$$

$$W = -ia\chi_2 = \sqrt{\beta^2 - n_2^2 k_0^2} \cdot a$$

$$NA = n_i \sin \theta_{im} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_i \sqrt{2\Delta}$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$M = \frac{g}{2(g+2)} V^2$$

$$\sqrt{A} = \sqrt{2\Delta}/a_i$$

$$V = k_0 a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} n_1 \sqrt{2\Delta}$$

$$\bar{n}^2 (dr/dz)^2 = n^2(r) - \bar{l}^2/r^2 - \bar{n}^2 = g(r)$$

