

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。 VAD

(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； OH-吸收峰：1390，1240，950nm
D、1610 nm。

(B) 4 以下关于光纤的损耗描述**不正确**的是： 紫外为电子跃迁，
A、红外吸收决定了石英光纤工作波长的上限； 红外为材料振动或多声子吸收
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；
偏斜光线收光角大于子午光线

相对折射率差值越大，NA越大，能够提高光纤耦合效率，但是会降低
通信容量

多模SIOF通信容量低
SIOF不适合传输图像

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；

- 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。
- TE/TM对于子午，EH、HE对于偏斜
- (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； $1 \times 0.8 + 2 \times 0.2 = 1.2\text{mW}$
B、2.4mW；
C、0.6mW；
D、1.2mW。
- 泄漏模-隧道光线
- (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。
- 辐射模-折射光线
第一射线不变量-轴向传播速度不变
第二射线不变量-角向速度与半径成反比
- 不同导模之间的本征值时分立的，不同辐射模之间的本征值连续
- (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用于密集波分复用光通信系统；
减小非线性效应
- 材料色散小于0为正常色散

- 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。 材料色散是波长的二阶微分

- (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： 非互易性器件：传播方向改变但是性质不变
A、隔离器与环形器都是光学非互易性器件； 只能针对特定波长
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。 980nm反转完全，噪声好，量子效率低
- (C) 14 关于掺铒光纤放大器的说法，**不正确**的是： 1480nm量子效率高，但是反转不完全，噪声性能差
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； 后向泵浦用于高输出功率
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； 待测光纤长度越长，则截止波长测量越短
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。

WKB假设导模场的变化主要表现在相位变化上，可以将导模场解认为是缓慢变化的振幅部分和快速变化的相位部分的乘积，将 $F(r)$ 的求解归结于光程函数表达式，利用相位匹配条件求解本征值。

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。

纵向传播常数 β 表示在轴向上相速度，即单位长度变化的相位。横向传播常数 U 反映导模在纤芯中横向振荡快慢， W 反映导模在包层中衰减快慢。导模截止时， W 趋于无穷， U 趋于0，模式主要在包层中损耗。导模远离截止时， W 趋于0， U 趋于导模截止条件 V_c ，模式束缚在纤芯中。

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？

布拉格光栅是利用向前传输和反射的导模之间进行耦合，得到反射谱上特定波长的极大值，工作波长与光栅周期和等效折射率相关。长周期光栅利用向前传输的包层模和纤芯模进行耦合，得到透射谱上特定的峰值，工作波长与光栅周期和两个模式之间的有效折射率差值决定。

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。

半导体激光器近场光斑和远场光斑均不对称，并且具有较大的光束发散角，与单模光纤模场半径相差较大，所以耦合效率低，损耗的来源主要有：场型失配损耗、输出场非圆对称损耗、模场半径失配损耗、端面菲涅尔反射损耗

可以在LD输出端面和光纤端面之间用透镜进行变换，使其与光纤进行匹配。

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。

$$\Delta t < \frac{2 * 1m}{\frac{c}{n}} = \frac{2m * 1.5}{3 * \frac{10^8m}{s}} = 10ns$$

$$WT=2\mu m, WR=4\mu m$$

忽略端面菲涅尔反射，一次耦合模场失配损耗为 1.938dB

$$P(\text{dBm}) - (-31\text{dBm}) > 2 * (2 + 7.5 + 2) + 4 * 1.938\text{dB}$$

$$\text{解得：} P > -0.248\text{dBm} \text{ 即 } P > 0.944\text{mW}$$

所以不用画端面凸起

dBm减去dBm得到dB

闪耀光纤光栅



闪耀 FBGs：与光纤的纤轴成一定角度所刻制成的光栅，被选择的波长的光被反射至纤芯外。

可用于均衡EDFA 对光的响应。

2. 现有 980nm 和 1480nm 波长泵浦激光器、980nm/1550nm 和 1480nm/1550nm



980nm

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。

980nm

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。

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 2x2 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）。



注：P1为已知条件

2. 已知一阶跃折射率分布光纤的纤芯直径为 10μm，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 1.20μm 的光波传输多少模式？

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0.12 \quad v = 3.14$$
$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi}{\lambda} a NA = 2.405 \quad \text{传输6个导模}$$
$$\lambda = 1.57 \times 10^{-6} \text{m}$$

3. 在 1.55 μm 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%。

- 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；
- 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；
- 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？。

$$(1) n_1 = 1.5, n_2 = 1.4973$$

$$\text{材料色散 } \Delta\tau_m = 100 \text{ps/nm/km} \times 10 \text{km} \times 10 \text{nm} = 10 \text{ns}$$

$$\text{模式色散 } \Delta\tau_m' = 10 \text{km} \times 0.0018 \times 1.5 \times 1.5 / (3 \times 10^8 \text{km/s} \times 1.4973) = 90.16 \text{ns}$$

$$\text{脉宽 } \Delta\tau = 500 \text{ns}$$

$$\text{速率 } 20 \text{Mbps}$$

bps: bit per second

Bps: byte per second

(2) 若要实现 1Gbps，则要 1ns，展宽 0.2ns，只能传输 20m

(3) 时延是 20ps，脉宽为 0.1nm

速率 2Mbps

可能用到的公式和数据：

$$\pi \text{ 取 } 3.14 \quad \log_{10} 0.64 = -0.2$$

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；

(2)右接头为1Gbps, 则要求115, 展宽0.215, 才能传输2011

(3)时延是20ps, 脉宽为0.1nm

速率2Mbps

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;

$$\tau_s = \frac{1}{V_s} = \frac{d\beta}{d\omega} = \frac{d\beta}{cdk_0}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sin \theta_p = \sqrt{2\Delta} (p/P)^{g/(g+2)}$$

$$P_{out}(r) = P_{out}(0) [1 - (r/a)^6]$$

$$B = \Delta n_{eff} = \Delta \beta / k_0$$

$$k = \omega \sqrt{\varepsilon \mu} = \omega / V_p = 2\pi / \lambda = nk_0$$

$$\Delta \tau_n = \frac{L \Delta n_1^2}{c n_2} \quad \frac{L \Delta n_1}{c}$$

$$\begin{bmatrix} r \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{A}L) & \sin(\sqrt{A}L)/(n_0\sqrt{A}) \\ -n_0\sqrt{A}\sin(\sqrt{A}L) & \cos(\sqrt{A}L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_0 \\ t_0 \end{bmatrix}$$

$$a_b = NA_f / [n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A}L)] + a_f \cos(\sqrt{A}L)$$

$$\theta_b = \sin^{-1} [-a_f \sin(\sqrt{A}L) n_0 \sqrt{A}]$$

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 - \frac{2\pi}{\Lambda} = 2\beta - \frac{2\pi}{\Lambda}$$

$$\delta = (1/2)(\beta_2 - \beta_1) = (1/2)k_0[n_2(\lambda) - n_1(\lambda)]$$

$$T_{ij} = P_j / P_i \quad \alpha = -10 \log \left[\left(\sum_{j=1}^N P_j \right) / P_i \right]$$

$$\alpha = -10 \log(P_j / P_i) = -10 \log(T_{ij})$$

$$\alpha = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (\text{dB}) \quad I = -10 \log_{10} \left(\frac{P'_{out}}{P'_{in}} \right) \quad (\text{dB})$$

$$I_b = -10 \log_{10} \left(\frac{P'_{back}}{P'_{in}} \right) \quad (\text{dB}) \quad \Delta \tau_n = -\frac{\lambda_0}{c} \cdot \frac{d^2 n}{d\lambda^2} \cdot \delta \lambda$$

$$\Gamma_{\theta_0} = 4.34 \left(\frac{r_0}{W} \right)^2$$

$$\Gamma_{z_0} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{z_0}{k_s W^2} \right)^2} \right] + \Gamma_{gap} \quad k_s = 2\pi n_s / \lambda_0$$

$$\Gamma_{gap} = -10 \log_{10} \frac{4 n_s n_{co}}{(n_s + n_{co})^2} \, (dB)$$

$$\Gamma_{\theta_0} = 4.34 \left(\frac{k_s W}{2} \right)^2 \sin^2 \theta_t + \Gamma_{gap}$$

$$\theta_t = \left(1 - \frac{n_{co}}{n_s}\right) \theta_c$$

$$\Gamma_W = -10 \log_{10} \left[\frac{4 W_T^2 W_R^2}{(W_T^2 + W_R^2)^2} \right] + \Gamma_{gap}$$