

*SiPIN* 光电二极管具有直径为  $0.4mm$  的光接收面积，当波长  $700nm$  的红光以强度  $0.1mW/cm^{-2}$  入射时，产生  $56.6nA$  的光电流。请计算它的灵敏度和量子效率。

解：该灵敏度实际上指的是  $PIN$  二极管的响应度：

因入射光强  $I = 0.1mW/cm^{-2}$ ，所以入射功率为

$$P_{in} = AI = \pi(0.02cm)^2(0.1 \times 10^{-3}Wcm^{-2}) = 1.26 \times 10^{-7}W$$

灵敏度

$$R = i = I_{ph}/P_{in} = (56.6 \times 10^{-9}A)/(1.26 \times 10^{-7}W) = 0.45A/W$$

量子效率为：

$$\eta = R \frac{hc}{q\lambda} = (0.45A/W) \frac{(6.62 \times 10^{-34}J \cdot s)(3 \times 10^8m/s)}{(1.6 \times 10^{-19}C)(700 \times 10^{-9}m)} = 0.80 = 80\%$$

## 1 光程差计算

波长为  $1.55\mu m$  的两束光沿  $z$  方向传输，从  $A$  点移动到  $B$  点经历的路径不同，其光程差为  $20\mu m$ ，计算这两束光的相位差。

解：

两束光的相位差

$$\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta z}{\lambda} = 2\pi \times 20/1.55 = 25.8\pi(\text{弧度})$$

## 2 mW 和 dBm 换算

一个 LED 的发射功率是  $3mW$ ，如用  $dBm$  表示是多少？经过  $20dB$  损耗的光纤传输后还有多少光功率？

解：

LED 的输出功率计算为

$$1dBm = 10lgP = 10lg3 \approx 4.77dBm$$

经过  $20dB$ 损耗的光纤传输后，还有  $4.77 - 20 = -15.23dBm$  的光功率

## 3 求只传输一个模式的纤芯半径

阶跃光纤  $n_1 = 1.465$ ， $n_2 = 1.460$ ，如果光纤只支持  $1.25\mu m$  波长光的一个模式传输，计算这种光纤纤芯最大的允许半径。

解：

纤芯半径为

$$a = \frac{2.405\lambda_c}{2\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = \frac{2.405 \times 1.25}{2\pi\sqrt{1.465^2 - 1.460^2}} = 3.96\mu m$$

所以直径为  $7.9\mu m$ 。由此可见，与多模光纤的纤芯直径  $100\mu m$  相比，要想单模工作，光纤的纤芯直径必须非常小。

## 4 传播模式数量计算

多模光纤直径  $100\mu m$ ，阶跃光纤纤芯和包层的折射率分别是  $1.5$  和  $1.485$ ，光源波长为  $0.82\mu m$ ，计算这种光纤能够传输的模式数量。当工作波长变为  $1.5\mu m$  时，又可以传输多少个模式。

解：

光源波长为  $0.82\mu m$ ，得到

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi(50)}{0.82} \sqrt{1.5^2 - 1.485^2} = 81$$

然后，可以求出光纤能够传输的模式数量为  $N = V^2/2 = 81^2/2 = 3286$ 。

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi(50)}{1.5} \sqrt{1.5^2 - 1.485^2} \approx 44$$

光源波长为  $1.5\mu m$ ，得到

同样，可以求出光纤能够传输的模式数量为  $N = V^2/2 = 44^2/2 = 968$ 。

可见，长波长光源允许的模式比短波长光源的少。

## 第一题

1.*SiAPD* 在  $830nm$ 没有倍增即  $M = 1$  时的量子效率为  $70\%$ ，反向偏压工作倍增系数  $M = 100$ ，当入射功率为  $10nW$  时，光电流是多少？

解：

没有倍增时的灵敏度为

$$R = \eta \frac{q\lambda}{hc} = 0.70 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})(830 \times 10^{-9})}{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)} = 0.47A/W$$

没有倍增时的初始光电流为

$$I_{ph0} = RP_{in} = 0.47(10 \times 10^{-9}) = 4.7nA$$

倍增后的光电流为

$$I_{ph} = MI_{ph0} = 100 \times 4.7 = 470nA$$

2.设  $PIN$  光电二极管的量子效率为  $80\%$ ，计算其在  $1.3\mu m$  和  $1.5\mu m$  波长时的响应度，并说明在哪个波长处光电二极管更加灵敏。

解：

$1.3\mu m$  时光电二极管的响应度为

$$R = \frac{q\lambda(\mu m)}{1.24} = \frac{0.8 \times 1.3}{1.24} = 0.84A/W$$

$1.55\mu m$  时光电二极管的响应度为

$$R = \frac{q\lambda(\mu m)}{1.24} = \frac{0.8 \times 1.55}{1.24} = 1A/W$$

响应度正比于波长， $1.55\mu m$  处光电二极管比  $1.3\mu m$  处灵敏

## 第三题

3.光缆损耗为  $2dB/km$ ，系统的平均连接损耗为  $1.5dB/km$ ，光源与光检测器处的连接损耗为每个  $1dB$ ，系统余量（裕度）为  $6dB$ ，光发送机率为  $-13dBm$ ，光接收机灵敏度为  $-42dBm$ 。设系统为损耗限制系统，求最大无中继传输距离。

解：由已知得： $\alpha_f = 2dB/Km$ ， $\alpha_c = 1dB$ ， $\alpha_{\text{连}} = 1.5dB/Km$ ， $M_s = 6dB$ ， $P_T = -13dBm$ ， $P_r = -42dBm$ 。

$$P_T \geq R_r + C_L + M_S = P_r + \alpha_{\text{连}}L + 2\alpha_c + M_S$$

$$-13 \geq -42 + 2 * L + 1.5 * L + 1 * 2 + 6$$

$$L_{max} = 6km$$

## 第四题

4.工作在  $1550nm$  的  $WDM$  系统，信道间隔为  $100GHz$ ，请问其波长间隔是多少？如果信道间隔分别为  $200GHz$ ， $500GHz$ ， $25GHz$ ，重复计算其波长间隔。对于这些不同的波长间隔， $C$  波段能够容纳多少信道？

解：

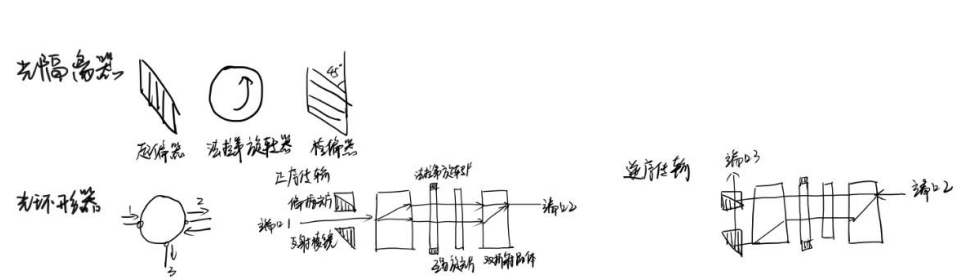
$$\Delta\lambda = \lambda^2 \frac{\Delta f}{c}$$

$C$  波段波长范围： $1530nm - 1565nm$ ，波长带宽为  $35nm$

$\Delta f(GHz)$	$\Delta\lambda(nm)$	允许容纳的信道数量
25	0.2	175
50	0.4	87
200	1.6	21
500	4	8

## 第五题

5、绘图说明光隔离器（Optical isolator）和光环行器（Optical circulator）的结构和工作原理, 试说明两者的共同点与区别。



光隔离器和光环行器都是光学器件，它们在光通信系统中扮演着重要的角色，但它们在功能和结构上存在一些共同点和显著的区别。

共同点：

1. 非互易性：光隔离器和光环行器都具有非互易性，这意味着它们只允许光沿一个方向传输，而阻止或减少反向传输的光。
2. 控制光的传播：两者都是用于控制光的传播方向和路径的光学器件，它们通常由光学材料制成，如玻璃、塑料或硅，并使用全反射或干涉原理来控制光的传播。
3. 提高系统稳定性：它们都有助于提高光通信系统的稳定性和可靠性，通过减少反射光对光源和系统的不良影响。

区别：

1. 端口数量：光隔离器通常为两端口器件，只允许光从一个端口输入，从另一个端口输出，阻止光反向传播。而光环行器是多端口器件，允许光在多个端口之间循环传输，像一个环形路一样。
2. 工作原理：光隔离器主要利用磁光晶体的法拉第效应，通过外加磁场使偏振光发生偏转，实现光的单向传输。光环行器则通常由法拉弟旋转器和两侧的两个偏振棱镜组成，通过偏振光在外磁场作用下旋转，实现光的单向传输。
3. 应用场景：光隔离器常用于激光器与传输光纤间接入，以抑制线路中从光纤远端面、光纤连接器界面等处产生的反射光返回激光器，保证激光器工作状态的稳定。光环行器则在光通信中单纤双向通信、上下话路、合波/分波及色散补偿等领域有广泛的应用，它可以完成正反向传输光的分离任务。
4. 性能参数：光隔离器的性能参数包括插入损耗、隔离度、回波损耗、偏振相关损耗(PDL)及偏振模色散(PMD)等。而光环行器的技术指标包括插入损耗、隔离度、串音、偏振相关损耗、偏振模色散及回波损耗等。

总的来说，光隔离器和光环行器虽然在某些方面有相似之处，但它们在结构和功能上有明显的不同，适用于不同的应用场景。

## 1.一段12 km长的光纤线路，其损耗为1.5 dB/km。试回答：

(1) 如果在接收端保持0.3 μW的接收光功率，则发送端的功率至少为多少？

(2) 如果光纤的损耗变为2.5 dB/km，则所需的输入光功率为多少？

解： (1) 总损耗为： $12 \times 1.5 = 18dB = 10 \times \log_{0.3} x$ ，解得 $x = 18.928\mu w$

(2) 总损耗为： $12 \times 2.5 = 30dB = 10 \times \log_{0.3} x$ ，解得 $x = 300\mu w$

2.G.652 普通单模光纤传输线路长 80km，在 1550nm 的色散是  $D = 18ps/nm/km$ ，计算不同补偿方式的补偿光纤长度。

- (1) 用色散系数  $D = -100ps/nm/km$  的单模色散补偿光纤补偿；
- (2) 用色散系数是  $D = -770ps/nm/km$  的双模色散补偿光纤补偿；
- (3) 用色散系数  $D = -5 \times 10^7 ps/nm/km$  的啁啾光栅光纤补偿。

解：应用公式为： $D_s L_s + D_c L_c = 0$

- (1)  $80 \times 100 - 100 \times L_c = 0$  解得： $L_c = 14.4km$
- (2)  $80 \times 18 - 100 \times L_c = 0$  解得： $L_c = 1.87km$
- (3)  $80 \times 18 - 5 \times 10^7 \times L_c = 0$  解得： $L_c = 0.0288m$

3.简述相干光通信的原理;相干检测技术有几种调制方式有几种检测方式各种方式有什么区别

相干光通信原理简述

相干光通信是一种利用光信号的相位、频率和振幅来传输信息的通信技术。在相干光通信系统中，接收端采用相干检测技术来提取和还原光信号中的信息。通过比较信号光与本振光的相位和幅度差异，相干检测技术能够实现对光信号的精确测量和分析。相干检测技术的应用显著提升了相干光通信系统的性能，相比于传统的非相干光通信系统，相干光通信系统具有更高的接收灵敏度和选择性，这得益于相干检测技术能够有效地抑制噪声干扰并提取出微弱的信号成分。

相干检测技术的调制方式

相干检测技术可以根据信号光和本振光的频率值差异，分为以下几种调制方式：

1. 幅移键控 (ASK)：通过改变光信号的振幅来传输信息。
2. 频移键控 (FSK)：通过改变光信号的频率来传输信息。
3. 相移键控 (PSK)：通过改变光信号的相位来传输信息。
4. 正交幅度调制 (QAM)：结合了 ASK 和 PSK，通过同时改变光信号的振幅和相位来传输信息。
5. 正交相位调制 (QPSK)：一种特殊的 PSK，使用四个不同的相位来表示两个比特的信息。

相干检测的检测方式主要分为以下几种：

1. 零差检测：当接收信号与本地振荡频率相等时，为零差检测。
2. 外差检测：当接收信号与本地振荡频率不等时，为外差检测，此时会产生一个中频信号。

各种方式之间的区别

- 零差检测与外差检测：零差检测可以直接还原基带信号，但是信噪比最高，而外差检测会产生中频信号，需要进行二次解调才能被转换成基带信号。零差检测对本振光频率与信号光频率要求严格匹配，并且要求本振光与信号光的相位锁定。
- 同步检测与异步检测：同步检测比异步检测灵敏度高，因为同步检测可以利用相位信息来提高信号的信噪比。
- ASK、FSK 和 PSK：ASK 和 FSK 相对简单，但 PSK 提供更高的频谱效率。QAM 和 QPSK 则结合了这两种方法的优点，提供了更高的数据传输速率。

## 第四题

4.假设有一个光通信系统，使用100Gbps的QPSK调制格式。现在考虑将调制格式从QPSK改为16-QAM，同时保持相同的符号速率。请计算：

- (1) 改为16-QAM后，系统的数据速率是多少？
  - (2) 如果系统使用偏振复用，那么在QPSK和16-QAM两种调制格式下，系统的总数据速率分别是多少？
- (1) QPSK一个symbols占2bit，16QAM一个symbols占4bit

(2) 偏振复用后，速率变为原来的两倍

$$\begin{cases} R_{QPSK} = \frac{100Gbps}{2bit} = 50Gbps \\ R_{16-QAM} = R_{QPSK} * 4 = 50 \times 4 = 200Gbps \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_{QPSK} = 2 \times 100 = 200Gbps \\ R_{16-QAM} = 2 \times 200 = 400Gbps \end{cases}$$

## 第五题

5.假设有一个光通信系统，使用 80 个波长通道，每个通道的带宽为 50GHz。每个波长通道使用 100Gbps 的 QPSK 调制格式。现在考虑使用空分复用 (SDM)，将每个波长通道的光信号分成 4 个空间模式进行传输。请计算：

(1) 使用空分复用后，系统的总数据速率是多少？

(2) 如果每个空间模式使用16-QAM调制格式，那么系统的总数据速率又是多少？

解： (1) QPSK每个符号有2个比特信息， $R_{SDM} = \frac{R_{\lambda}}{2} = 50Gbaud$ ， $R_{0\lambda} = 4 \times 80 \times R_{\lambda} = 32Tbps$

(2) 16-QAM每个符号有4个比特信息，符号速率不变， $R_{16-QAM} = 4R_{SDM} = 4 \times 50 = 200Gbps$ ， $R_{16-QAM\lambda} = 4 \times 80 \times R_{16-QAM} = 64Tbps$