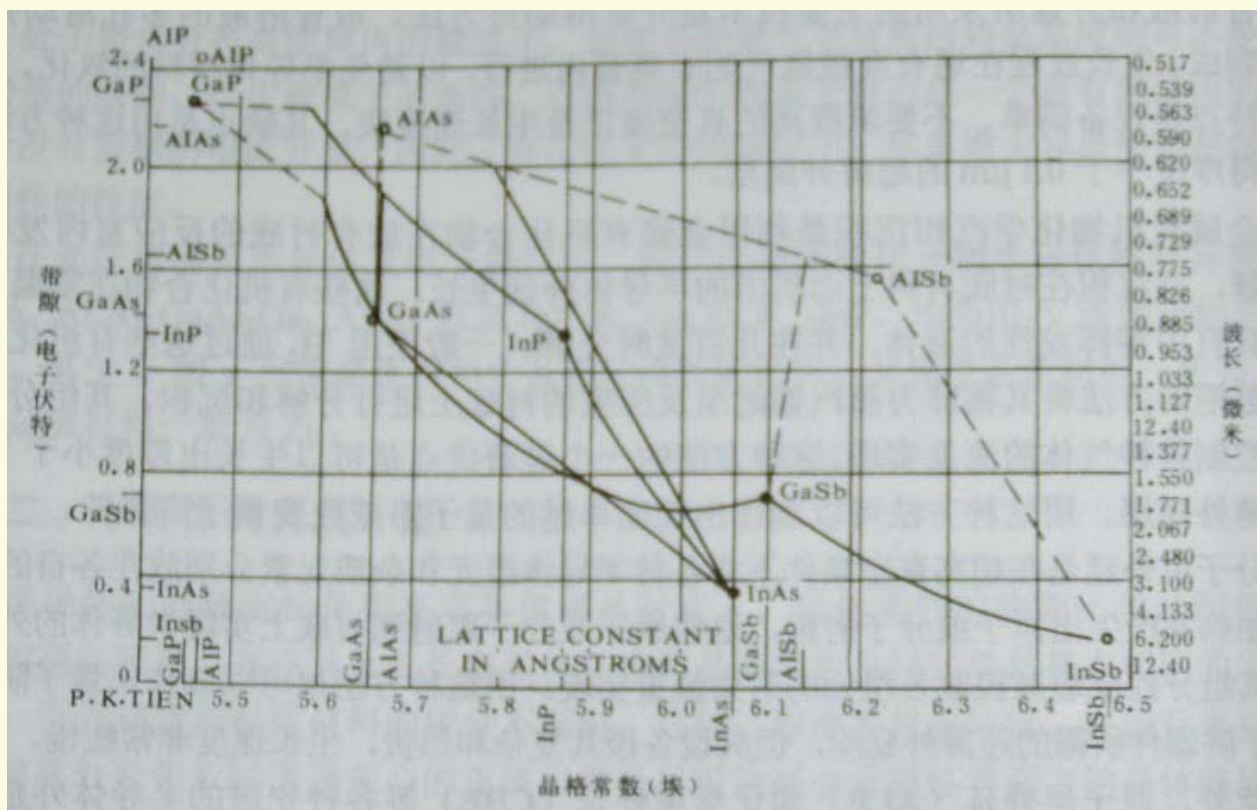


主要半导体材料的光电子学特性



In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}/InP材料系

➤ 带隙（禁带宽度）和晶格常数

$$E_g = 1.35 + 0.668x - 1.068y + 0.758x^2 + 0.078y^2 - 0.069xy - 0.322x^2y + 0.03xy^2 \text{ (eV) at 300K}$$

$$a = 5.8688 - 0.4176x + 0.1896y + 0.0125xy \text{ (\AA) at 300K}$$

➤ 与InP晶格匹配的In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P四元材料

$$x = \frac{0.4526y}{1 - 0.031y}$$

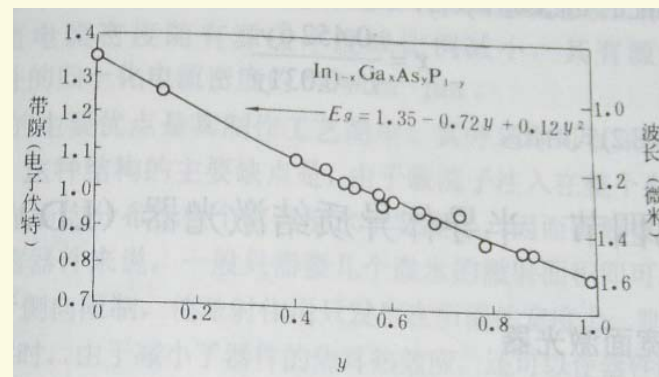
$$E_g = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2 \text{ (eV) at 300K}$$

➤ 能带不连续性

$$\Delta E_g = 0.72y - 0.12y^2 \text{ (eV)}$$

$$\Delta E_v = 0.47y - 0.122y^2 \approx 63\% \Delta E_g \text{ (eV)}$$

$$\Delta E_c = 0.25y + 0.002y^2 \approx 37\% \Delta E_g \text{ (eV)}$$





$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$ 材料系

➤ 带隙（禁带宽度）和晶格常数

$$E_g = 1.424 + 1.247x \text{ (eV)} \quad (x < 0.4) \text{ at } 300\text{K}$$

$$a = 5.6533 + 0.0067x \text{ (\AA)} \text{ at } 300\text{K}$$

➤ 能带不连续性

$$\Delta E_g = 1.247x \text{ (eV)}$$

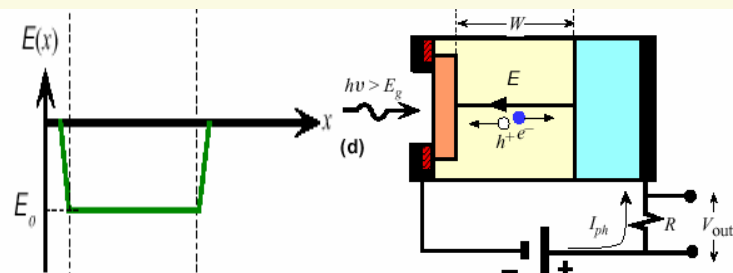
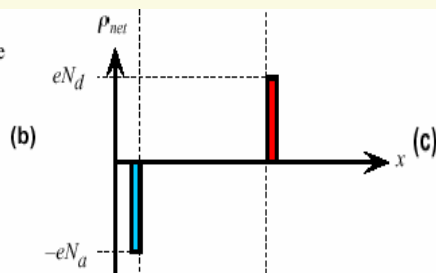
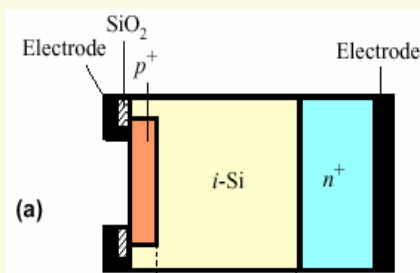
$$\Delta E_v = 33\% \Delta E_g \text{ (eV)}$$

$$\Delta E_c = 67\% \Delta E_g \text{ (eV)}$$

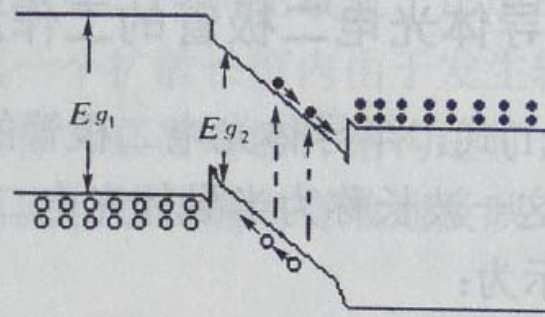
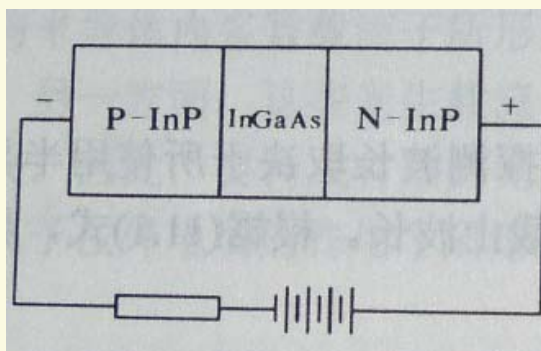
PIN光电二极管

➤ PN结光电效应

➤ PIN光电检测器

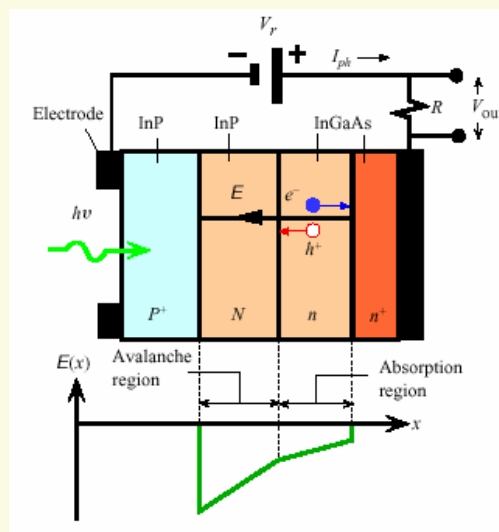


➤ 异质结PIN管

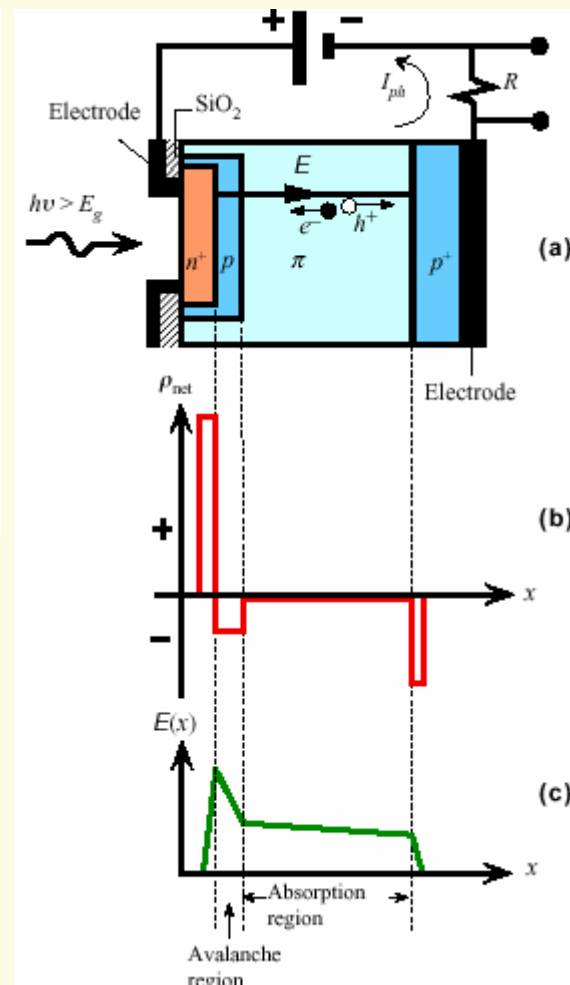
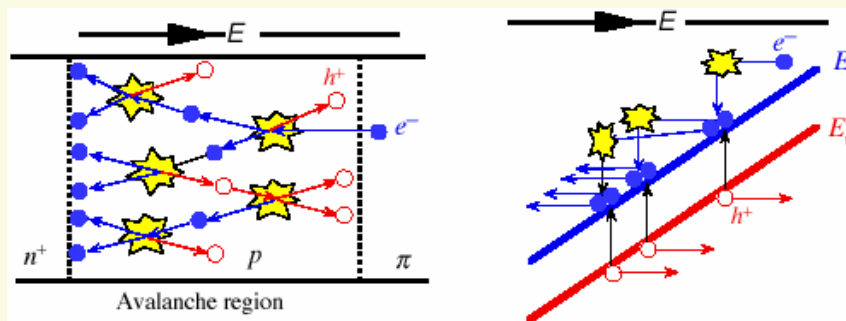


APD光电二极管

➤ 器件基本结构



➤ 基本原理

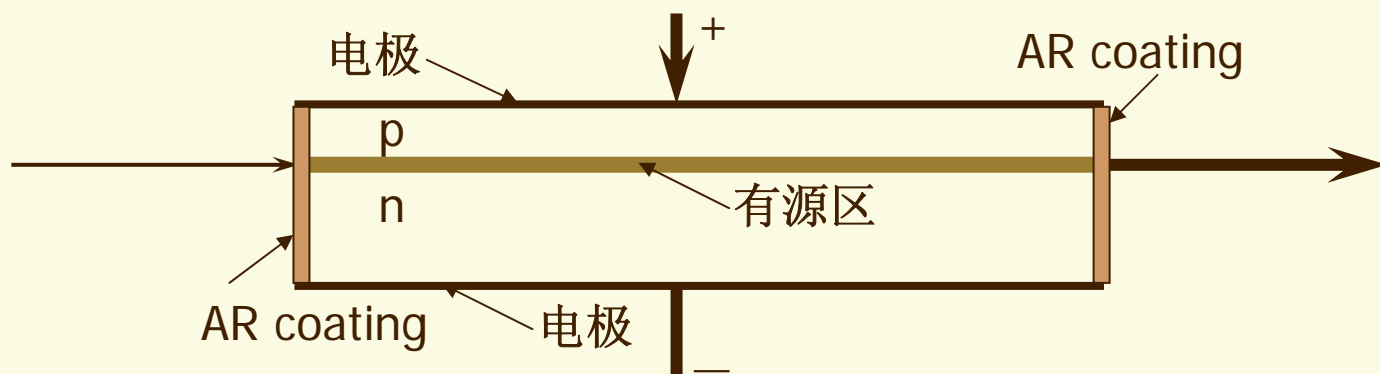




光放大技术

- ❏ 半导体光放大器 (SOA)
- ❏ 掺铒光纤放大器 (EDFA)
- ❏ 光纤Raman分布式放大器 (FRA)

半导体光放大器 (SOA)



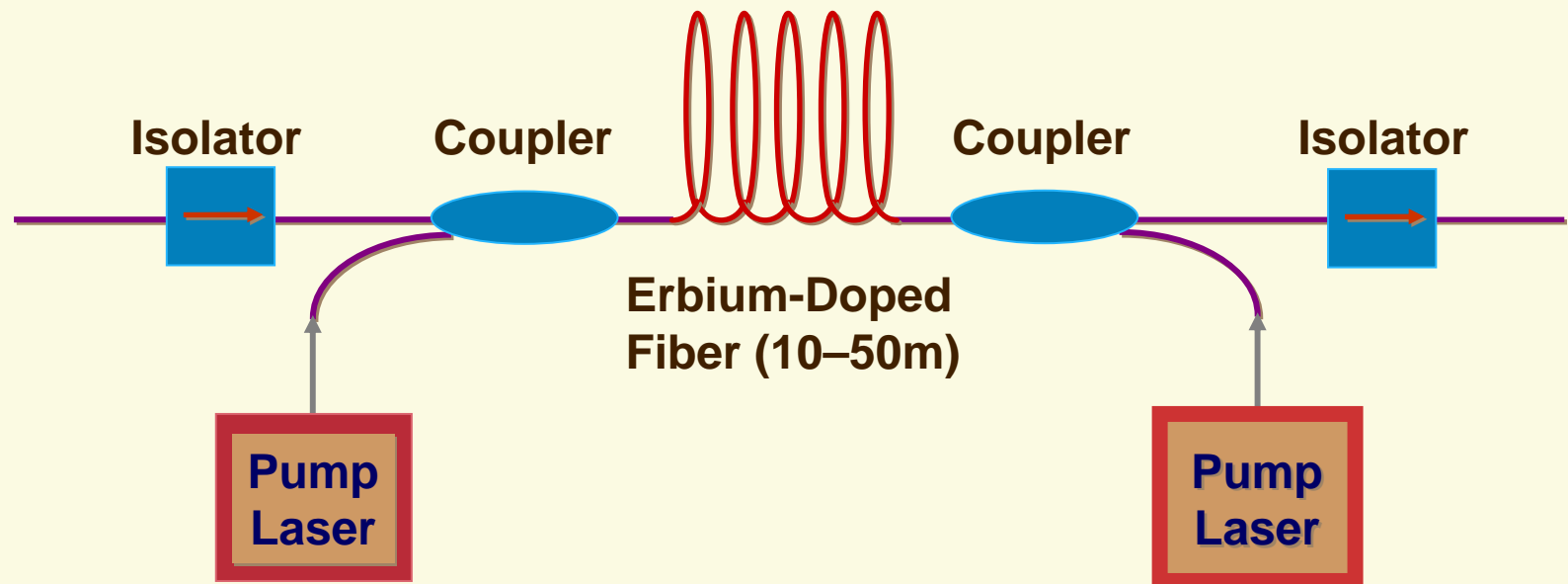
优点:

- (1) 可在任意通信波段上实现;
- (2) 单个器件放大带宽可达 $70 \sim 100 \text{ nm}$ ($\sim 12 \text{ THz}$)
- (3) 器件尺寸小 ($\sim 1 \text{ mm}$), 易于集成化

缺点:

- (1) 对抗反射膜的要求极高 ($\sim 10^{-5}$), 制作难度大, 成本高
- (2) 输入输出端与光纤的耦合损耗较大 ($\sim 3 \text{ dB}$)
- (3) 输入端的耦合损耗使放大器噪声因子增加 ($\text{NF} \sim 7 \sim 9 \text{ dB}$)
- (4) 交叉增益调制 (XGM) 和非线性, 不宜用于多波长放大

Erbium Doped Fiber Amplifier



A “simple” device consisting of four parts:

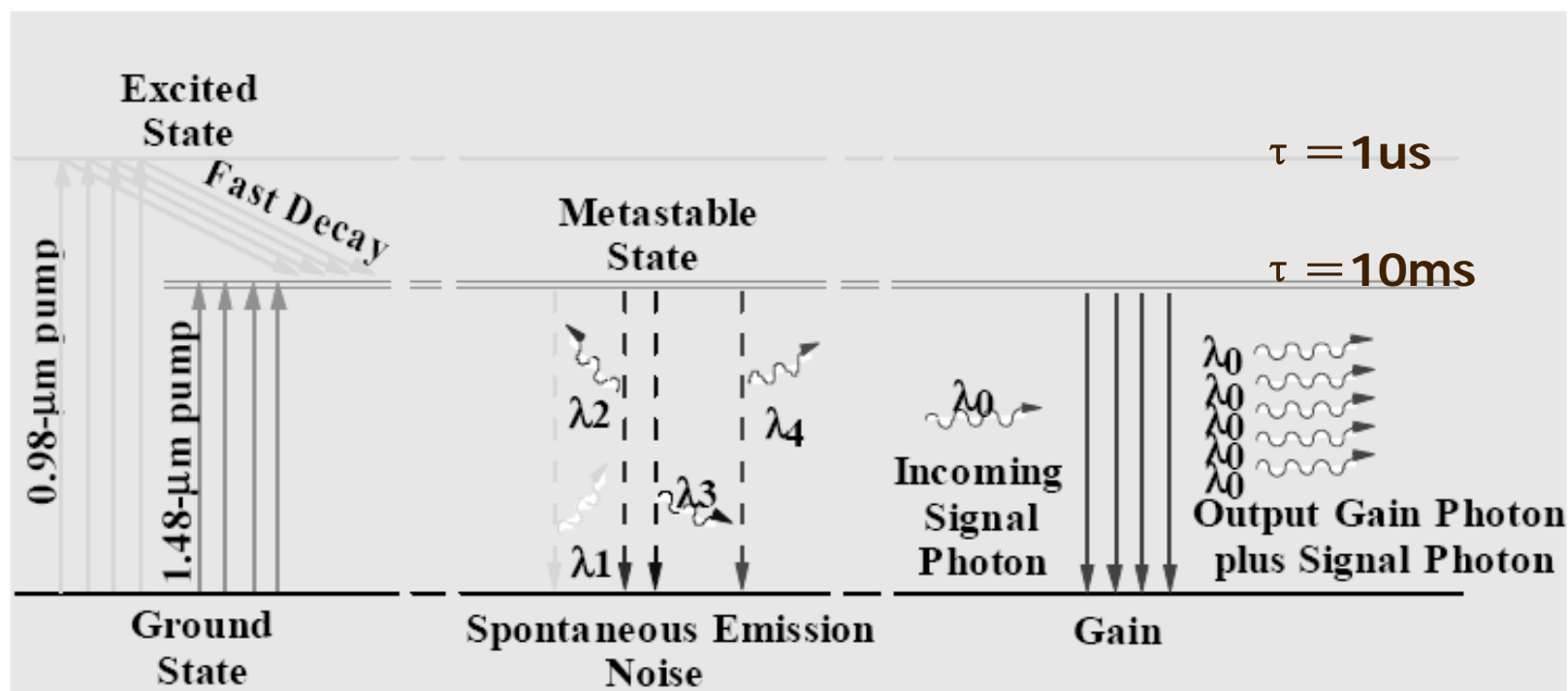
- ☞ Erbium-doped fiber
- ☞ A pump laser (to invert the population).
- ☞ A coupler
- ☞ An isolator to cut off backpropagating noise



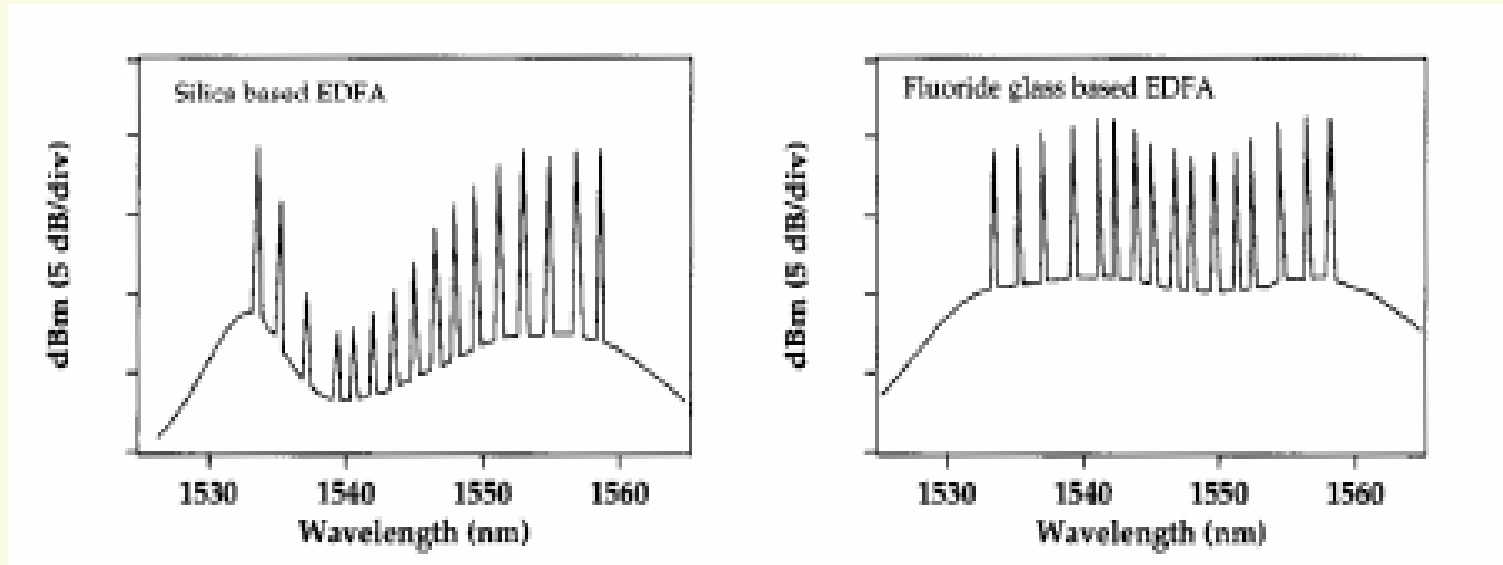
EDFA的突出优点

- 1530~1600nm约70nm ($\sim 9\text{THz}$) 的放大带宽
- 与光纤系统完全匹配, 无光耦合和镀膜问题
- 高增益 ($\sim 40\text{dB}$)
- 高饱和输出功率 ($\sim 200\text{mW}$)
- 低噪声因子 ($\text{NF} \sim 4\text{dB}$)
- 支持多波长放大, 无XGM和非线性串扰问题
- 对比特率和调制格式等不敏感, 完全透明

Energy Level Diagram of EDFAs



EDFA Gain Flattening



Passive equalization

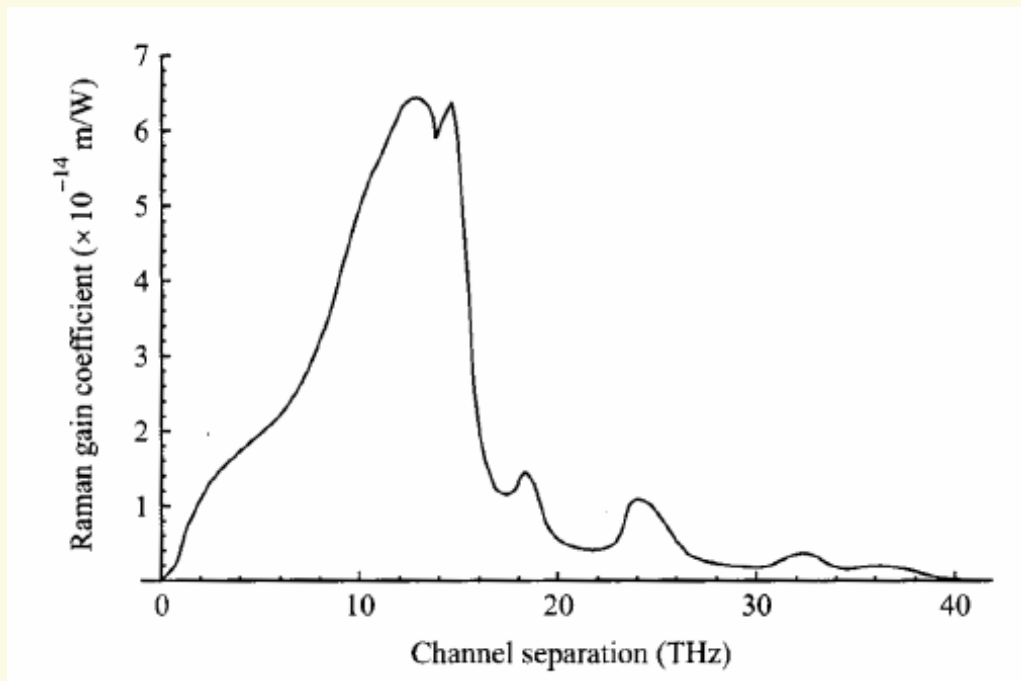
- Add dopant: fluoride based EDFA
- Broadband filter (LPFG)
- Hybrid pump (980nm, 1480nm pump)

Active equalization

- Acousto-Optic Tunable Filter (AOTF)

光纤Raman放大器

石英光纤的Raman增益谱

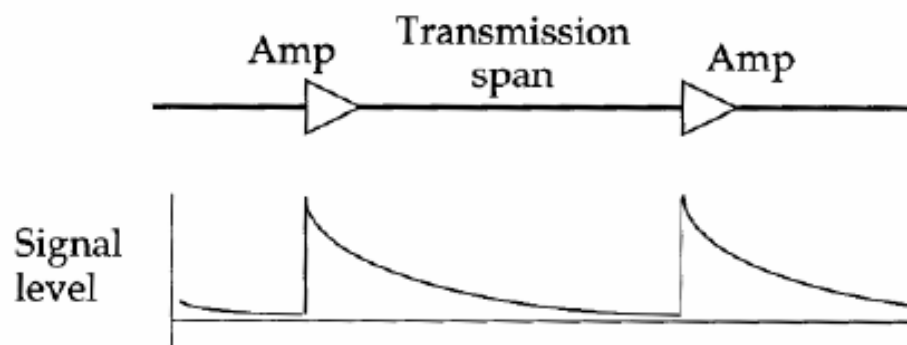


FRA的特点:

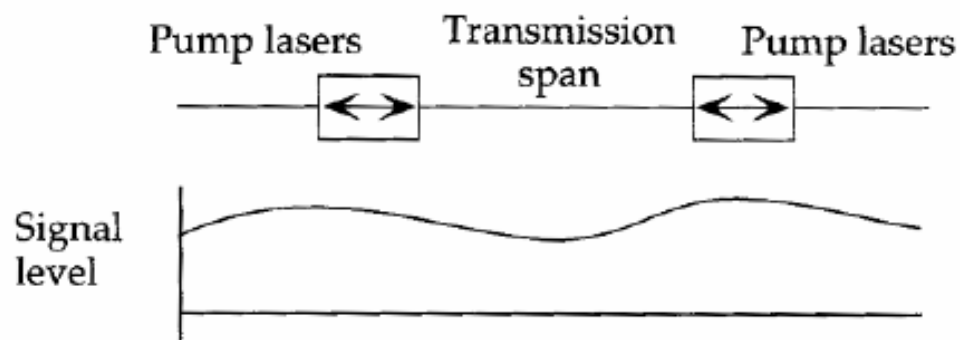
- (1) 可在任意通信波段上实现;
- (2) 放大带宽可达**15THz**
- (3) 分布式放大

EDFA vs. Raman Amplifier

■ EDFA - Lumped Amplification

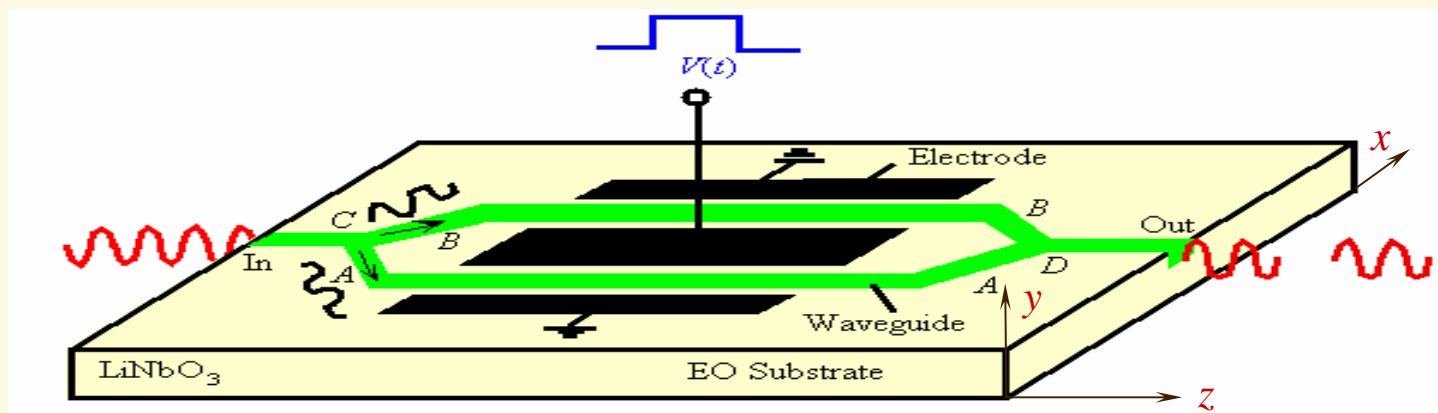


■ Raman Amplifier - Distributed Amplification



铌酸锂Mach-Zehnder 光调制器

➤ 器件结构



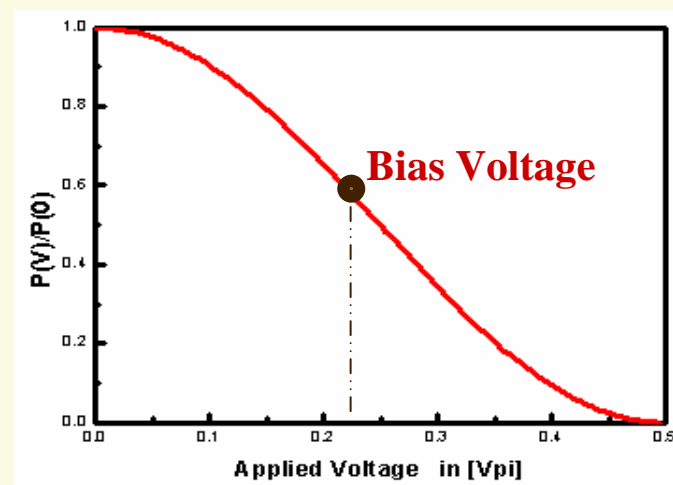
➤ 基本原理

$$E_{out} \propto E_A \cos(\omega t + \Delta\phi) + E_B \cos(\omega t - \Delta\phi)$$

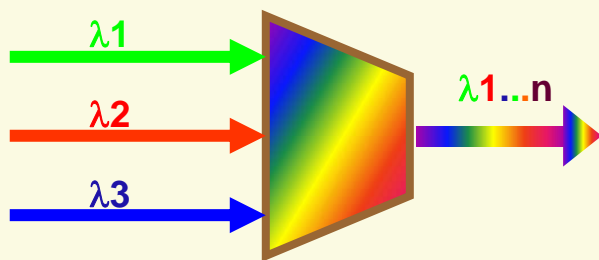
$$= 2E_A \cos(\Delta\phi) \cos(\omega t)$$

$$E_A \cong E_B \quad \text{and} \quad \Delta\phi = (\pi/V_\pi)V(t)$$

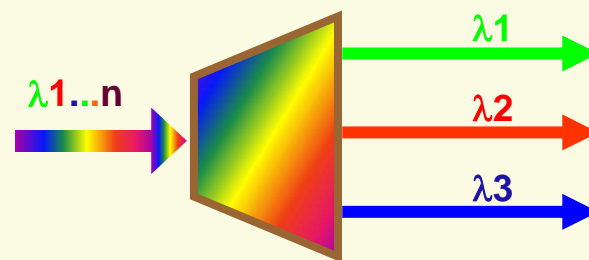
$$P_{out}[V(t)] = P_{out}(0) \cos^2[(\pi/V_\pi)V(t)]$$



波分复用与解复用器



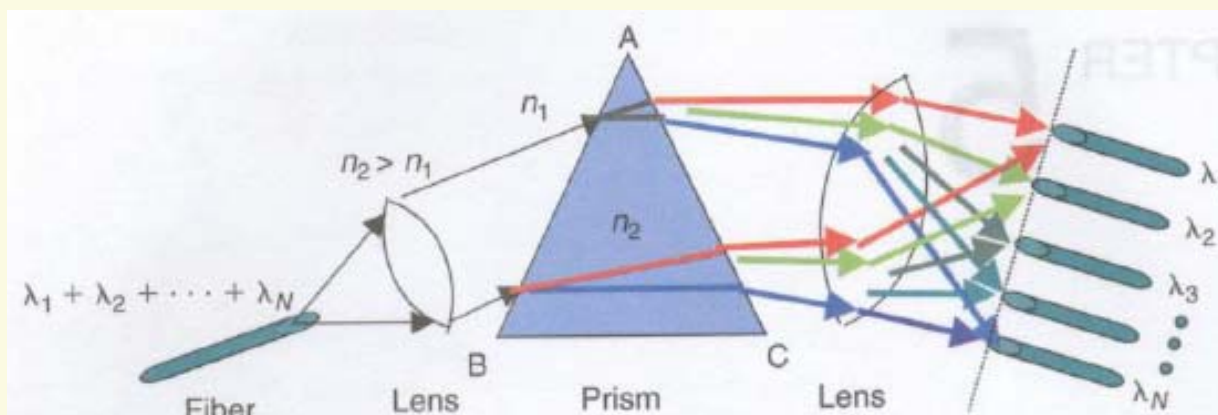
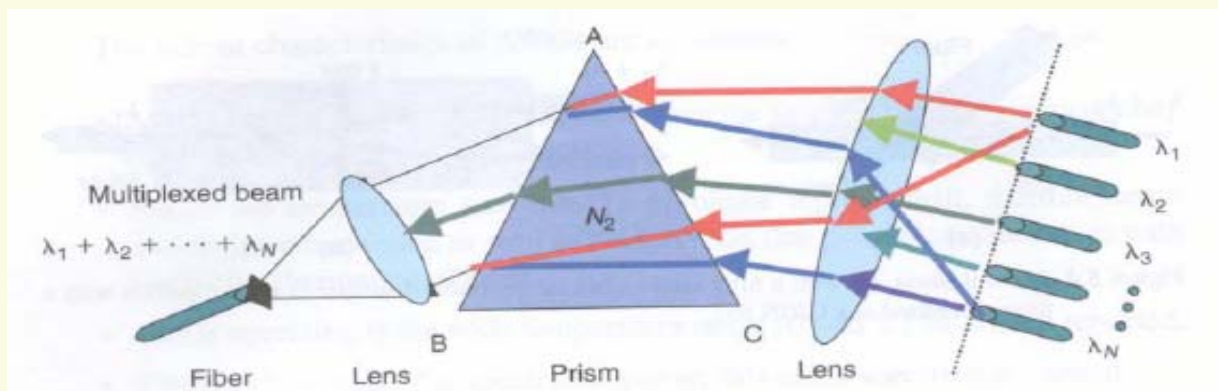
Optical Multiplexer



Optical De-multiplexer

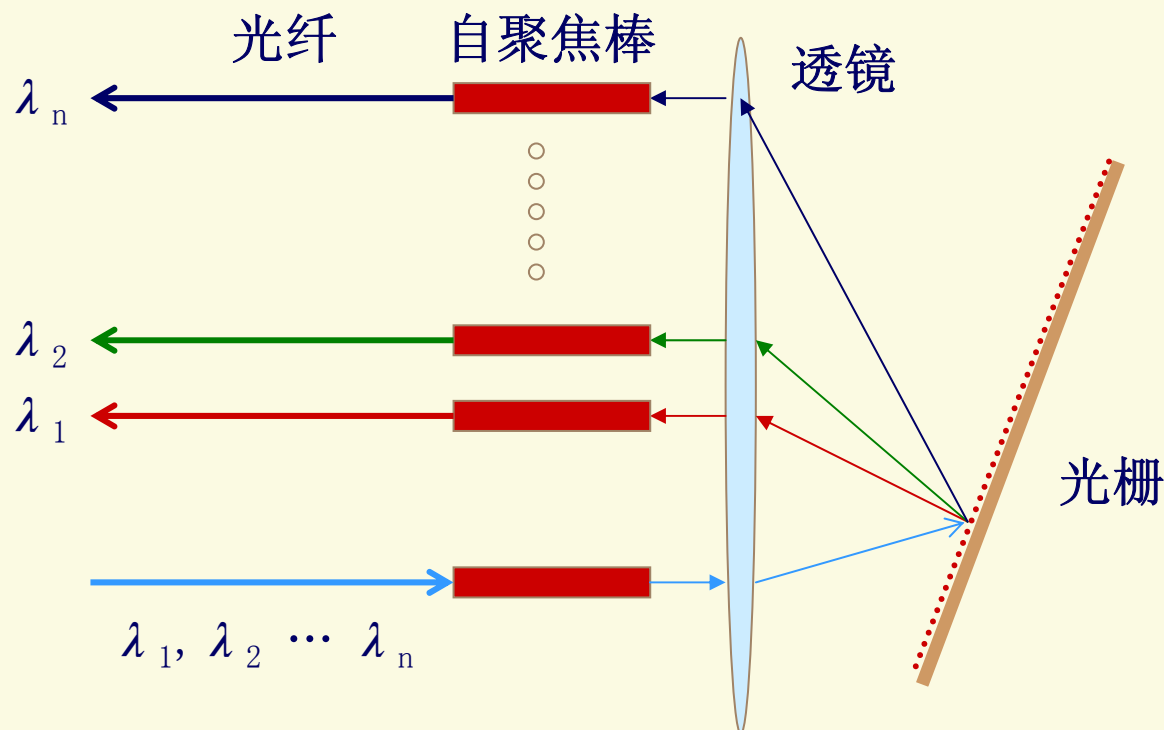
- 光的波分复用与解复用技术是在一根光纤上同时开通多个高速率波长通道的基础。
- 利用光放大器与波分复用技术可以使现有光纤系统的传输容量得到成百甚至上千倍的提高，是当前光纤产业领域的热门技术。
- 波分复用与解复用可通过多种途径实现。

棱镜型复用/解复用器



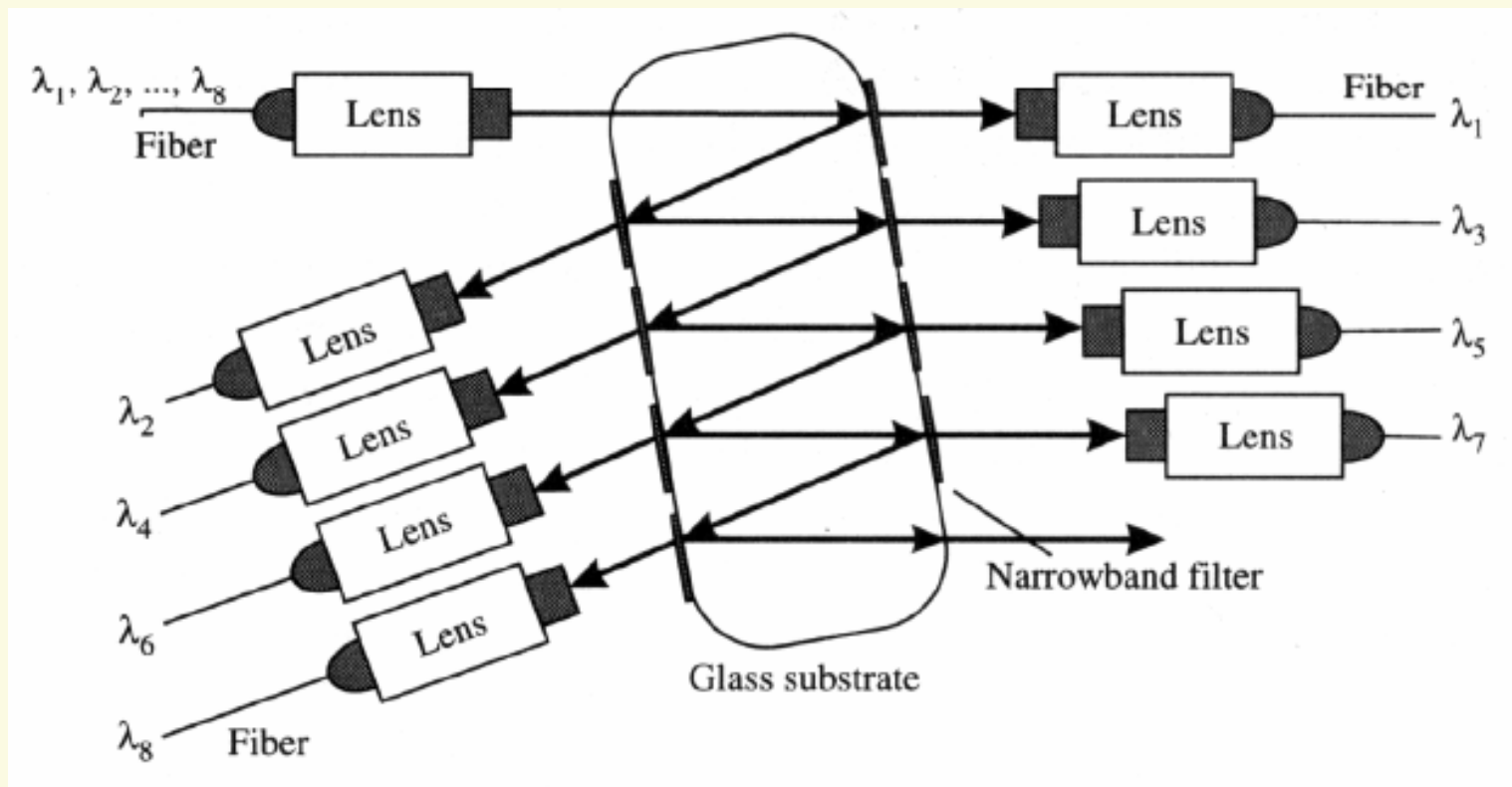
- 体光学器件，光纤到光纤耦合损耗较大
- 分立器件过多，不利于器件的长期稳定性
- 制作难度和成本较高

光栅型复用/解复用器



- 体光学器件，光纤到光纤耦合损耗较大
- 分立器件较多，不利于器件的长期稳定性
- 光栅制作难度较大和器件整体成本较高

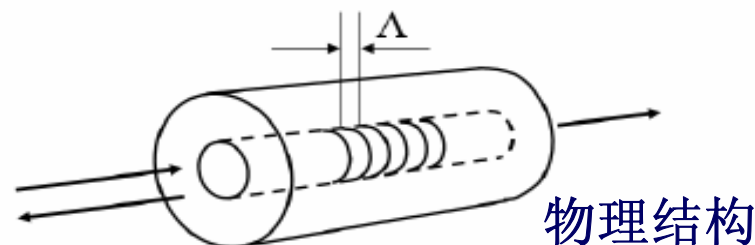
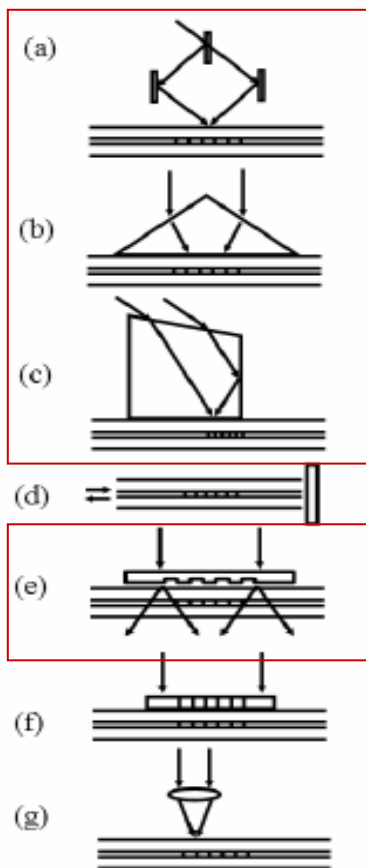
多层膜波分复用器



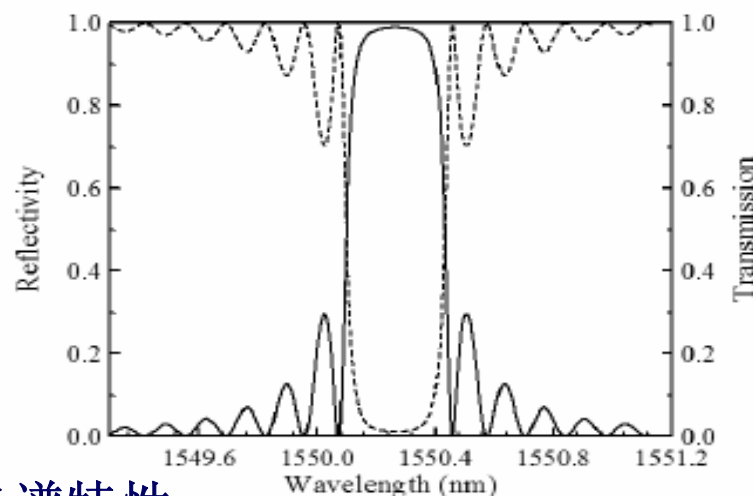
- 技术成熟，已商用化
- 当波长通道数较多时，器件体积较大
- 不适用于通道数较多的情况

光纤光栅

制作技术



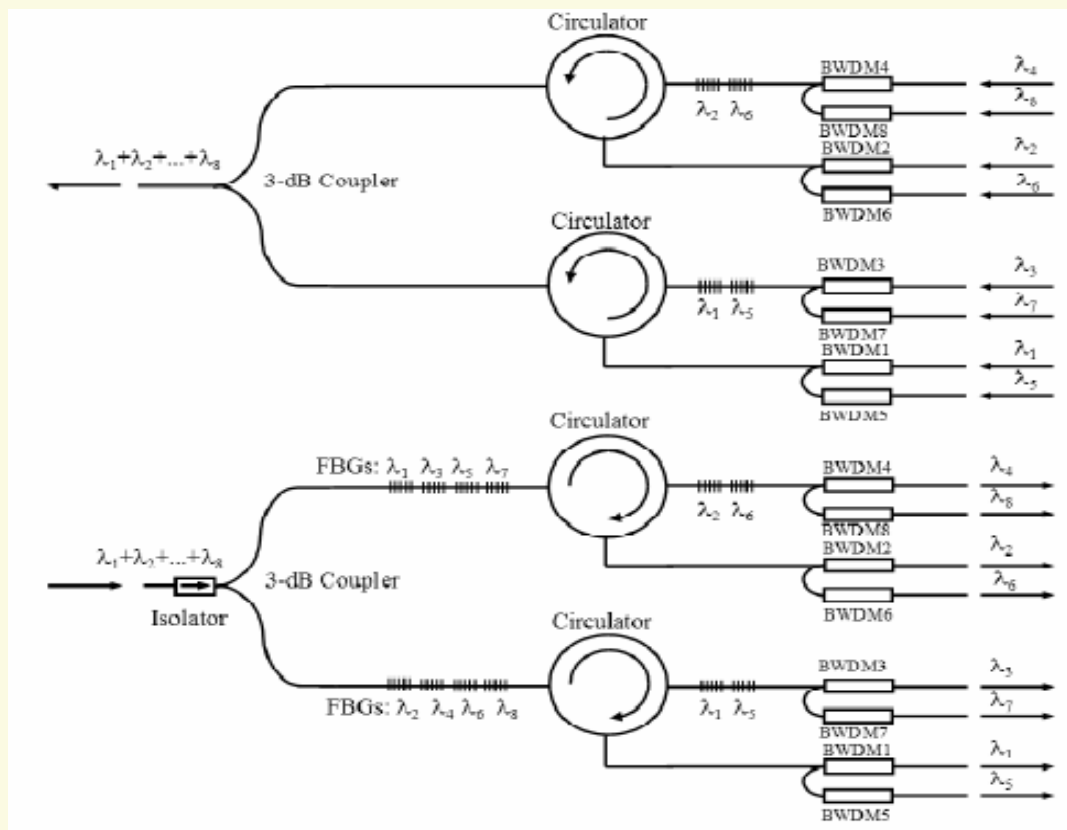
$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$$



光谱特性

- 光栅的光谱特性可根据需要通过改变制作参数进行设计
- 光栅的主要类型有均匀光栅，切趾光栅，啁啾光栅，取样光栅
- 采用取样光栅技术可以制作出符合WDM标准的梳状滤波器

光纤光栅复用/解复用器



- 全光纤器件，无须耦合
- 光纤光栅本身的长期稳定性不够理想