

第四章 通信用光器件

- 4.1 光器件简介
- 4.2 光检测器
- 4.3 无源光器件



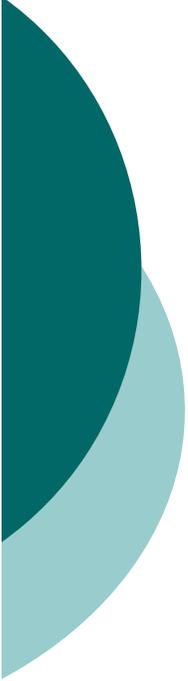
4.1 光器件简介

- 在光纤通信系统中，光器件可分为有源光器件和无源光器件两类，其中有源光器件包括前章介绍的光源器件，还有本章要介绍的光检测器等器件。
- 光检测器，又称光探测器或光检波器，有热器件和光子器件两大类。前者是吸收光子使器件升温，达到探知入射光能的大小；后者是将入射光转化为电流或电压，是以光子—电子的量子转换形式完成光的检测目的，如光电二极管（**PIN**）和雪崩光电二极管（**APD**）。
- 由于光纤具有三个低损耗窗口，即**850nm**、**1310nm**和**1550nm**。相应的，用于**850nm**波长的称为短波长光检测器，用于**1310nm**和**1550nm**波长的则称为长波长光检测器。



4.1 光器件简介

- 在光纤通信系统中，一般使用的都是光子类型的光检测器。光检测器位于光接收机中。
- 一个完整的光纤通信系统，除光纤、光源和光检测器外，还需要许多其它光器件，特别是无源器件。这些不用电源的无源光器件（即无光电能量转换，是能量消耗型光学器件），对光纤通信系统的构成、功能的扩展或性能的提高，都是不可缺少的，是构成光纤传输系统的重要部分。
- 无源光器件种类繁多，功能各异，是一类实用性很强的器件，主要产品有光纤连接器、光纤耦合器、光衰减器、光隔离器与光环形器、光调制器、光开关、光波分复用器、光纤放大器等。
- 无源光器件的作用是：连接光路，控制光的传输方向，控制光功率的分配，实现器件与器件之间、器件与光纤之间的光耦合、合波及分波。



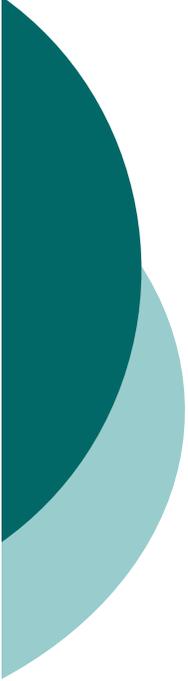
4.2 光检测器

- 1. 光检测器作用及要求
 - (1) 作用
 - 在光纤通信系统中，光检测器的作用是；将光纤输出的光信号变换为电信号，其性能的好坏将对光接收机的灵敏度产生重要影响。
 - (2) 对光检测器的基本要求
 - 由于从光纤中传过来的光信号一般是非常微弱的，因此对光检测器提出了非常高的要求。对光检测器的基本要求如下：



4.2 光检测器

- 在系统的工作波长上具有足够高的响应度，即对一定的入射光功率，能够输出尽可能大的光电流；
- 具有足够快的响应速度，能够适用于高速或宽带系统；
- 具有尽可能低的噪声，以降低器件本身对信号的影响；
- 具有良好的线性关系，以保证信号转换过程中的不失真；
- 具有较小的体积、较长的工作寿命；
- 工作电压尽量低，使用简便。



4.2 光检测器

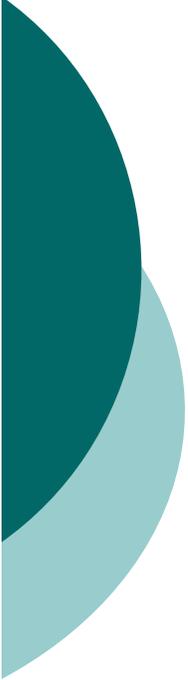
- 2. 半导体**PN**结的光电效应
- 如**图4-1**所示，是一个未加电压的半导体**PN**结。在半导体材料的**PN**结区，发生载流子相互扩散的运动，即**P**型半导体中的空穴远比**N**型半导体的多，空穴将从**P**区扩散到**N**区；同样**N**型半导体中的电子远比**P**型半导体的多，也要扩散到**P**区。这种扩散运动的结果是在**PN**结内形成了一个内电场，在内电场的作用下，使电子和空穴产生了与扩散运动方向相反的漂移运动。当扩散与漂移达到动态平衡时，便在**PN**结中形成了一个空间电荷区，即耗尽层。

4.2 光检测器

- 如果**PN**结接收到相当能量的光照射，进入耗尽层的光子就会产生电子--空穴对，在内电场的加速下，空穴向**P**区漂移，电子则向**N**区漂移。很显然，光照的结果打破了原有结区的平衡状态。这种光生载流子的运动，在一定条件下，就会产生光电流。这就是半导体**PN**的光电效应。
- 当入射光子能量**hf**小于禁带宽度**Eg**时，不论入射光有多强，光电效应也不会发生，因此产生光电效应的条件是

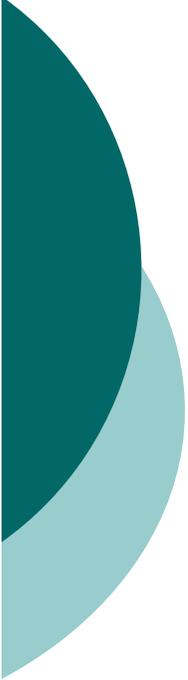
$$hf \geq E_g \quad (4-1)$$

- 式(4-1)表明，只有波长 $\lambda \leq \lambda_c$ 的入射光，才能产生光生载流子，这里的 λ_c 就是截止波长，相应的 f_c 就是截止频率。



4.2 光检测器

- 3. 光电二极管（PIN）
- （1）PIN的结构及其原理
- PIN的结构。PIN的结构如[图4-2](#)所示，是在掺杂浓度很高的P型、N型半导体之间，加一层轻掺杂的N型材料，称为I层（本征层）。I层很厚，吸收系数很小，入射光很容易进入材料内部被充分吸收而产生大量电子--空穴对，因而大幅度提高了光电转换效率。两侧的P和N型半导体很薄，吸收入射光的比例很小，I层几乎占据整个耗尽层，因而光生电流中漂移分量占支配地位，从而大大提高了响应速度。另外，可通过控制耗尽层的宽度，来改变器件的响应速度。



4.2 光检测器

- **PIN**的工作原理。当**PN**结加上反向电压后（如**图4-3**所示），入射光主要在耗尽区被吸收，在耗尽区产生光生载流子(电子--空穴对)。在耗尽区电场作用下，电子向**N**区漂移，空穴向**P**区漂移，产生光生电动势。在远离**PN**结的地方，因没有电场的作用，电子空穴作扩散运动，产生扩散电流。因**I**层宽，又加了反偏压，空间电荷区（耗尽层）加宽，绝大多数光生载流子在耗尽层内进行高效、高速漂移，产生漂移电流。这个漂移电流远远大于扩散电流，所以**PIN**光电二极管的灵敏度高。在回路的负载上出现电流，就将光信号转变为了电信号。

4.2 光检测器

- (2) PIN的特性参数
- ① 截止波长 λ_c --截止波长与材料的禁带宽度 E_g 有关，它决定了PIN工作波长的上限。截止波长 λ_c 可用下式计算

$$\lambda_c = \frac{1.24}{E_g} \quad (\mu m) \quad (4-2)$$

- ② 量子效率 η -- 量子效率 η 是指单位时间内输出电子数与输入光子数之比，即

$$\eta = \frac{\text{生成光电流的电子} - \text{空穴对数}}{\text{输入的光子数}} \quad (4-3)$$
$$= \frac{\text{输出的电子数}}{\text{输入的光子数}}$$

4.2 光检测器

- 量子效率 η 越大，转换效率越高。要提高量子效率，则需要加大耗尽层的厚度（I层的厚度），但I层加厚后，会使光生载流子的漂移时间变长，使响应速度降低。

- ③ 响应度 R_{PIN} --响应度被定义为单位光功率所产生的电流，即

$$R_{PIN} = \frac{\text{电流}}{\text{平均光功率}} \quad (4-4)$$

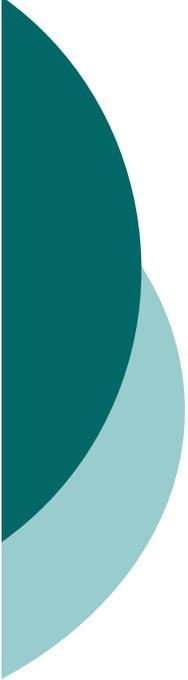
- 可推导出量子效率与响应度的关系，即

$$R_{PIN} = \frac{e}{hf} \eta = \frac{e \cdot \lambda}{h \cdot c} \eta \approx \frac{\lambda \cdot \eta}{1.24} \quad (4-5)$$



4.2 光检测器

- 式（4-5）表明，响应度和量子效率与光功率无关，与负载也无关，但与光波长（频率）有关。
- （3）PIN存在的问题
- 仅能将光信号转化成电信号，但不能对电信号产生增益；
- 转换后的电流信号，很微弱，这种微弱信号，经放大器放大后，淹没在放大器自身产生的噪声中，以致难以辨认。



4.2 光检测器

- 4. 雪崩光电二极管(APD)
- (1) APD的结构
- 对于光电二极管(PIN)，其输出电流 I 和反向偏压 U 的关系，如[图4-4](#)所示。随着反向偏压的增加，光电流基本保持不变。但当反向偏压增加到一定数值时，光电流急剧增加，最后器件被击穿，这个电压称为击穿电压 U_B 。APD就是根据这种特性设计的器件，其结构如[图4-5](#)所示。

4.2 光检测器

- (2) APD工作原理
- 根据光电效应，雪崩光电二极管的光敏面上被光子照射之后，光子被吸收而产生电子-空穴对。这些电子空穴对经过高速电场（可达 200kV/cm ）之后被加速，初始电子(一次电子)在高电场区获得足够能量而加速运动。高速运动的电子和晶体原子相碰撞，使晶体原子电离，产生新的电子-空穴对，这个过程称为碰撞电离。碰撞电离所产生的电子称为二次电子，这些电子空穴对在高速场以相反的方向运动时又被加速，又可能碰撞电离其他原子，如此多次碰撞，产生连锁反应，使载流子数量迅速增加，反向电流迅速增大，形成雪崩倍增效果，所以这种器件就称为雪崩光电二极管(APD)，其原理如[图4-6](#)所示。
- APD中电场强度随位置变化，如[图4-7](#)所示。

4.2 光检测器

- (3) APD主要特性参数

- ① APD的倍增系数。APD的倍增系数M定义为

$$M = \frac{I_M}{I_p} \quad (4-6)$$

- 式中， I_M 为倍增后的总输出电流的平均值；

- I_p 为初始光电流（没有倍增时的光电流）。

- APD的倍增与雪崩有关，即与外加的电压有关，因此M是外加电压的函数，如图4-8所示。

4.2 光检测器

- ② **APD**的响应度。**APD**的响应度 R_{APD} 定义为

$$R_{APD} = R_0 \cdot M \quad (4-7)$$

- 式中， R_0 为 $M=1$ 时的响应度，即没有倍增时的响应度（与**PIN**的响应度一样）。
- ③ **APD**的量子效率与**PIN**的量子效率定义相同。量子效率与入射的光波长（频率）有关，如[图4-9](#)所示，为硅**APD**雪崩管的量子效率与波长的关系。
- 另外，**APD**的温度特性表明，**APD**的倍增系数受温度影响较大，温度升高，则倍增系数下降。



4.3 无源光器件

- 无源光器件是指除光源器件、光检测器件之外，不需要电源的光通路部件。无源光器件可分为连接用的部件和功能性部件两大类。
- 连接用的部件是指各种光连接器，用做光纤与光纤之间、光纤与光器件（或设备）之间、或部件（设备）和部件（设备）之间的连接。
- 功能性部件有光波分波器、光衰减器、光隔离器等，用于光的分路、耦合、复用、衰减等方面。



4.3 无源光器件

- 1. 光纤连接器
- 光纤连接器又称为光纤活动连接器，俗称活接头，被定义为：能稳定地，但并不是永久地，连接两根或多根光纤的无源组件。可见光纤连接器是一种可拆卸使用的连接部件。
- ① 光纤连接器的用途。光纤连接器主要用于光端机、光测仪表等设备与光纤之间的连接以及光纤之间的相互连接，它是组成光纤通信线路不可缺少的重要器件之一。
- ② 光纤连接器的作用。光纤连接器的主要作用是将需要连接起来的单根或多根光纤纤芯端面相互对准、贴紧，并能够多次使用。
- ③ 对光纤连接的要求。光纤连接器需要满足下列要求：

4.3 无源光器件

- 连接损耗小；
- 连接损耗的稳定性好，在-20-60℃范围温度变化时不应该有附加的损耗产生；
- 具有足够的机械强度和使用寿命；
- 接头体积小，密封性好；
- 便于操作，易于放置和保护。
- （1）光纤连接器的结构及原理
- 光纤连接器的结构。光线路的活动连接，须使被接光纤的纤芯严格对准并接触良好，为满足这一基本要求，有多种对中方式得到采用，如套筒式、圆锥式、V型槽式等。目前，工程上广泛应用的是套筒式对中结构，如图4-10所示。



4.3 无源光器件

- 它是由三个部分组成的，有两个配合插头（插针体）和一个耦合管（珐琅盘）。两个插头装进两根光纤尾端；耦合管起对准套管的作用。
- 光纤连接原理。通过光纤连接器，将光纤穿入并固定在插针中，在耦合管中实现对准。插针的外组件采用金属或非金属材料制作。插针的对接端必须进行研磨处理，另一端通常采用弯曲限制构件来支撑光纤或光纤软缆以释放应力。耦合管一般是由陶瓷、或青铜等材料制成的两半合成的、紧固的圆筒形构件做成，多配有金属或塑料的珐琅盘，以便于连接器的安装固定。为尽量精确地对准光纤，对插针和耦合管的加工精度要求很高。

4.3 无源光器件

- (2) 光纤连接器的类型
- 按照不同的分类方法，光纤连接器可以分为不同的种类。
- 按传输媒介的不同可分为：单模光纤连接器和多模光纤连接器；
- 按结构的不同可分为：**FC、SC、ST、MU、LC、MT**等各种型式；
- 按连接器的插针端面形式可分为：**FC、PC（UPC）和 APC**；
- 按光纤芯数分还有单芯、多芯之分。
- 如表4-1所示，是ITU-T建议的光纤连接器分类。

4.3 无源光器件

- (3) 光纤连接器特性
- 光纤连接器的特性，首先是光学特性，还有光纤连接器的互换性、重复性、抗拉强度、温度和插拔次数等。
- 光学特性--主要是插入损耗和回波损耗这两个最基本的参数。插入损耗即连接损耗，是指因连接器的导入而引起的线路有效光功率的损耗。插入损耗越小越好，一般要求应不大于**0.5dB**；回波损耗是指连接器对线路光功率反射的抑制能力，其典型值应不小于**25dB**。实际应用中的连接器，插针表面经过了专门的抛光处理，可以使回波损耗更大，一般不低于**45dB**。
- 互换性与重复性--光纤连接器是通用的无源光器件，对于同一类型的光纤连接器，一般都可以任意组合使用，并可以重复多次使用，由此而导入的附加损耗一般都在小于**0.2dB**的范围内。

4.3 无源光器件

- 抗拉强度--对于光纤连接器，一般要求其抗拉强度应不低于**90N**。
- 温度-- 一般要求，光纤连接器必须在**-40℃~+70℃**温度范围内能够正常使用。
- 插拔次数--目前使用的光纤连接器一般都可以插拔**1000**次以上。
- (4) 常见的光纤连接器
- **FC**型光纤连接器（如**图4-11**所示）--圆型带螺纹：**FC**连接器外部加强方式是采用金属套，紧固方式为螺丝扣。最早，**FC**类型的连接器，采用的陶瓷插针的对接端面是平面接触方式(**FC**)。此类连接器结构简单，操作方便，制作容易，但光纤端面对微尘较为敏感，且容易产生菲涅尔反射，提高回波损耗性能较为困难。后来，对该类型连接器做了改进，采用对接端面呈球面的插针(**PC**)，而外部结构没有改变，使得插入损耗和回波损耗性能有了较大幅度的提高。



4.3 无源光器件

- **SC**型光纤连接器（如[图4-12](#)所示）--卡接式方型：其外壳呈矩形，所采用的插针与耦合套筒的结构尺寸与**FC**型完全相同，其中插针的端面多采用**PC**或**APC**型研磨方式；紧固方式是采用插拔销闩式，不需旋转。此类连接器价格低廉，插拔操作方便，介入损耗波动小，抗压强度较高，安装密度高。
- **LC**型连接器（如[图4-13](#)所示）：**LC**型连接器采用操作方便的模块化插孔(**RJ**)闩锁机理制成。其所采用的插针和套筒的尺寸是普通**SC**、**FC**等所用尺寸的一半，为**1.25mm**。这样可以提高光配线架中光纤连接器的密度。目前，在单模**SFF**方面，**LC**类型的连接器实际已经占据了主导地位，在多模方面的应用也增长迅速。



4.3 无源光器件

- **ST型**光纤连接器（如[图4-14](#)所示）--外壳呈圆形，所采用的插针与耦合套筒的结构尺寸与**FC**型完全相同，其中插针的端面多采用**PC**型或**APC**型研磨方式；紧固方式为螺丝扣。此类连接器适用于各种光纤网络，操作简便，且具有良好的互换性。
- **DIN47256**型光纤连接器（如[图4-15](#)所示）：这种连接器采用的插针和耦合套筒的结构尺寸与**FC**型相同，端面处理采用**PC**研磨方式。与**FC**型连接器相比，其结构要复杂一些，内部金属结构中有控制压力的弹簧，可以避免因插接压力过大而损伤端面。另外，这种连接器的机械精度较高，因而插入损耗较小。

4.3 无源光器件

- **MT-RJ型连接器**（如**图4-16**所示）：**MT-RJ**型连接器起步于**MT**连接器，带有与**RJ-45**型**LAN**电连接器相同的闩锁机构，通过安装于小型套管两侧的导向销对准光纤，为便于与光收发信机相连，连接器端面光纤为双芯（间隔**0.75mm**）排列设计，是主要用于数据传输的下一代高密度光连接器。
- **（5）光纤连接器的插针端面**
- 光纤连接器的关键元件是插针与套筒。曾经采用多种材料制作，如塑料、铜、不锈钢等。但均因易变形、不耐磨损与光纤材料膨胀系数相差太大而导致光纤断裂等一系列问题不能解决而被放弃。



4.3 无源光器件

- 目前，实用的插针与套筒材料采用氧化锆陶瓷，陶瓷所具有的性能可以克服上述材料的不足。装有光纤的陶瓷插针，其端面的形状与连接器件性能优劣密切相关。
- 陶瓷插针端面如[图4-17](#)端面图，光纤连接器的插针体端面在**PC**型球面研磨的基础上，根据球面研磨的不同，又产生了超级**PC (SPC)**型球面研磨和角度**PC (APC)**型球面研磨，**PC**、**SPC**和**APC**端面连接器的插入损耗值在都小于**0.4dB**的情况下，回波损耗值分别小于**-40dB**、**-50dB**和**-60dB**。



4.3 无源光器件

- 在光纤通信系统中，光端机所要求的光纤连接器的型号不尽相同，各种光纤测试仪器仪表(如**OTDR**、光功率计、光衰减器)所要求的光纤连接器的型号也不尽相同。因此工程建设中需要考虑兼容性和统一型号的标准化问题。要根据光路系统损耗的要求、光端机光接头的要求及光路维护、测试仪表光接头的要求，综合考虑、合理选择光纤连接器的型号。
- **2. 光衰减器**
- 光衰减器是用来稳定地、准确地减小信号光功率的无源光器件。
- 光衰减器的作用是当光通过该器件时，使光强达到一定程度的衰减，它主要用于调整光中继段的线路损耗、评价光系统的灵敏度和校正光功率计等场合。



4.3 无源光器件

- 光衰减器通常是通过金属蒸发膜使光衰减，考虑到实际使用时要尽量减少从衰减器来的反射光，因此衰减膜和衰减器的透镜一般与光轴成倾斜状。
- (1) 衰减器分类
- 按照光信号的衰减方式，衰减器可分为固定衰减器和可变衰减器两种；
- 按照光信号的传输方式，衰减器可分为单模光衰减器和多模光衰减器。
- 固定光衰减器通过吸收一部分光信号，产生衰减作用。它在光线轴线上设置半透明的掺杂化合物即衰减膜，在一定的光带内，光在吸收带内被吸收，产生衰减。固定光衰减器造成的功率衰减值是固定不变的，一般用于调节传输线路中某一区间的损耗。



4.3 无源光器件

- 可变光衰减器带有光纤连接器，通常是分档进行衰减的，改变金属蒸发膜的厚度，也可以使衰减量连续变化，它的衰减范围可达**60dB**以上，精度达**0.1dB**。
- **(2)** 可变光衰减器的结构及原理
- 当接收机输入光功率超过某一范围或在测量光纤接收机灵敏度时都要用到光衰减器，其结构如**图4-18**所示。它由透镜、步进衰减圆盘、连续可调衰减片组成。其中光衰减片可调整旋转角度，改变反射光与透射光比例来改变光衰减的大小。

4.3 无源光器件

- 光纤输入的光经自聚焦透镜变成平行光束，平行光束经过衰减片再送到自聚焦透镜耦合到输出光纤中去，衰减片通常是表面蒸镀了金属吸收膜的玻璃基片，为减小反射光，衰减片与光轴可以倾斜放置。
- **(3) 对光衰减器的要求**
- 光纤通信系统对光衰减器的主要要求：
 - 插入损耗小、反射耦合低；
 - 符合使用的工作波长区域；
 - 体积小、重量轻。
- **(4) 光衰减器--SGT-9A**
- **SGT-9A**是一种数字可调光衰减器，主要用于连续光信号功率的衰减。具有快速调节衰减值，线性度好、精度高、低插入损耗、高分辨率，衰减定位等功能。该衰减器可用于光缆施工与维护、光纤通信、光纤传感器、光纤CATV等领域。该衰减器技术指标如表4-2所示。

4.3 无源光器件

- 3. 光波分复用器
- (1) 光波分复用器的定义及分类
- 光波分复用器按用途分为光分波器和光合波器两种，分别如[图4-19\(a\)、\(b\)](#)所示。它们是波分复用(WDM)传输系统的关键器件。光合波器是将多个光源不同波长的信号结合在一起，经一根传输光纤输出的光器件。反之，将同一根传输光纤送来的多个不同波长的信号，分解为个别波长，分别输出的光器件称为光分波器。有时同一器件既可以作为光分波器，又可以作光合波器使用。
- 光波分复用器的主要类型有熔锥光纤型、介质膜干涉型、光栅型和波导型四种。



4.3 无源光器件

- (2) 光波分复用器（光分波器和光合波器）原理
- 在模拟载波通信系统中，通常采用频分复用方法提高系统的传输容量，充分利用电缆的带宽资源，即在同一根电缆中同时传输若干个信道的信号，接收端根据各载波频率的不同，利用带通滤波器就可滤出每一个信道的信号。同样，在光纤通信系统中也可以采用光的频分复用的方法来提高系统的传输容量，在接收端采用解复用器（等效于带通滤波器）将各信号光载波分开。由于在光的频域上信号频率差别比较大，一般采用波长来定义频率上的差别，该复用方法称为波分复用。



4.3 无源光器件

- 在**WDM**系统中，充分利用了单模光纤低损耗区带来的巨大带宽资源，根据每一信道光波的频率（或波长）不同可以将光纤的低损耗窗口划分成若干个信道，把光波作为信号的载波，在发送端采用波分复用器（合波器）将不同规定波长的信号光载波合并起来，送入一根光纤进行传输。在接收端，再由一波分复用器（分波器）将这些不同波长、承载不同信号的光载波分开。
- 由于不同波长的光载波信号可以看作互相独立（不考虑光纤非线性时），从而在一根光纤中可实现多路光信号的复用传输。将两个方向的信号分别安排在不同波长传输即可实现双向传输。根据波分复用器的不同，可以复用的波长数也不同，从**2**个至几十个不等，一般商用化是**8**波长和**16**波长系统，这取决于所允许的光载波波长的间隔大小。

4.3 无源光器件

- (3) 光波分复用器的要求及参数
- 对光分波器和光合波器的主要要求是：
- 复用信道多、插入损耗小、隔离度大、通带宽、带内平坦、带外插入损耗变化陡峭及体积小、工作稳定和价格便宜等。
- 光分波器和光合波器的主要特性参数有：
- 中心波长、中心波长工作范围、与中心波长对应的插入损耗、隔离度、回波损耗、反射系数、偏振相关损耗、偏振模色散等。
- 插入损耗通常指光信号穿过**WDM**器件的某一特定光通道所引入的功率损耗，插入损耗与中心波长相对应，插入损耗越小越好。



4.3 无源光器件

- 隔离度也称为波长隔离度或通带间隔离度，是由某一规定波长输出端口所测得的另一不想要波长的光功率与该不想要波长输入光功率之比的对数，单位为**dB**。影响波长隔离度的主要因素有不理想的滤波特性、光源光谱的重叠、杂散光以及高功率应用时的光纤非线性效应。
- 回波损耗是从输入端口返回的光功率与同一个端口输入光功率之比的对数，单位为**dB**。
- 反射系数是对于给定条件的光谱组成、偏振和几何分布在给定端口的反射光功率与输入光功率之比的对数，单位为**dB**。
- 偏振相关损耗是指在所有的偏振态范围内，由于偏振态的变化造成的插入损耗的最大变化值，单位为**dB**。

4.3 无源光器件

- 4. 光耦合器
- 在光纤通信系统或光纤测试中，经常会遇到从光纤的主传信道中取出一部分光作为检测、控制等使用，有时将两个方向的光信号合起来送入一根光纤中传输，会使用光耦合器。
- 光耦合器又称光定向耦合器，是对光信号实现分路、合路、插入和分配的无源光器件。它们是依靠光波导间电磁场的相互耦合来工作的。
- 广义而言，光分波器和光合波器具有波长选择功能，也属于光耦合器
- (1) 光耦合器分类
- 光耦合器分类，如表4-3所示。
- (2) 常见的几种光耦合器
- 常见的几种光耦合器，如图4-20所示。

4.3 无源光器件

- (3) 耦合器的特性
- 表示光纤耦合器性能指标的参数有：隔离度、插入损耗和分光比等。下面以 2×2 (四端口)定向耦合器为例来说明。
- 隔离度--如图4-20 (c)所示，由端1输入的光功率 P_1 应从端2和端3输出，端4理论上应无光功率输出。但实际上端4还是有少量光功率 P_4 输出，其大小就表示了1、4两个端口的隔离程度。隔离度 A 表示为

$$A_{1,4} = -10 \log \frac{P_4}{P_1} \quad (\text{dB}) \quad (4-8)$$

4.3 无源光器件

- 一般要求**A > 20dB**。
- 插入损耗**L_{co}**。插入损耗表示定向耦合器损耗的大小。插入损耗等于输出光功率之和与输入光功率之比的分贝值，即

$$L_{co} = -10 \log \frac{P_2 + P_3}{P_1} \quad (\text{dB}) \quad (4-9)$$

- 一般要求**L_{co} ≤ 0.5dB**
- 分光比**T_{co}**。分光比等于两个输出端口的光功率之比，如从端**1**输入光功率，则端**2**和端**3**分光比**T_{co}**为

$$T_{co} = \frac{P_3}{P_2} \quad (4-10)$$

- 一般情况下，定向耦合器的分光比为**1:1 ~ 1:10**



4.3 无源光器件

- **5. 光隔离器**
- 光隔离器是保证光信号只能正向传输的无源光器件，用以避免光通路中，由于种种原因而产生的反射光再次进入光源，而使光源工作不稳定，影响其性能。
- 光纤通信系统中的很多光器件如激光器和光放大器等，对来自连接器、熔接点、滤波器的反射光非常敏感，反射光将导致它们的性能恶化，例如半导体激光器的线宽受反射光的影响会展宽或压缩。因此要在靠近这种光器件的输出端放置隔离器。



4.3 无源光器件

- (1) 光隔离器组成
- 光隔离器主要由起偏器、法拉第旋转器（旋光器）和检偏器3部分组成，如[图4-21](#)所示。起偏器的特点是当入射光进入起偏器时，是输出光束变成某一形式的偏振光。起偏器有一个透光轴,当光的偏正方向与透光轴完全一致时，则光全部通过。法拉第旋转器（旋光器）有旋光材料和套在外面的线圈组成。其作用是借助磁光效应，使通过它的光的偏振状态发生一定程度的旋转。

4.3 无源光器件

- (2) 磁光效应（法拉第磁致旋光效应）
- 磁光效应是指在外加磁场作用下，某些原本各向同性的介质变成旋光性物质（旋光材料），偏振光通过该物质时，其偏振面会发生旋转。光振动面旋转的角度 θ 与光在该物质中通过的距离 L 和磁感应强度 B 成正比，即

$$\theta = V \cdot L \cdot B \quad (4-11)$$

- 式中， V 为旋光材料的特性常数，称韦尔代常数（单位：角分/特斯拉·米）；
- 磁光效应的特性--磁致旋光不可逆性。当光传播方向平行于磁场时，若法拉第效应表现为左旋，则当光线逆反时，法拉第效应表现为右旋。

4.3 无源光器件

- (3) 光隔离器的基本原理
- 如图4-21,在光隔离器中,起偏器和检偏器的透光轴成 45° 。当垂直偏振光入射时,由于该光与起偏器透光轴方向一致,所以全部通过,经旋光器后其光轴被旋转 45° ,恰好与检偏器的透光轴一致而获得低损耗传输。如果有反射光出现,能反向进入光隔离器的只有与检偏器透光轴一致的那部分光,这部分光经旋光器后,其光轴被旋转 45° (旋光器使通过它的光发生 45° 的旋转)。恰好与起偏器的透光轴垂直,而不能反射回光源处,所以光隔离器能够阻止反射光通过。
- 可见光隔离器是一种非互易的光器件,它允许正方向传播的光通过,却不允许反方向传播的光通过。

4.3 无源光器件

- (4) 光隔离器的性能指标
- 光隔离器的主要性能指标：正向插入损耗、反向隔离度、偏振相关损耗及回波损耗。
- 插入损耗**IL**--插入损耗定义为输出光功率**P_o**与输入光功率**P_i**之比的分贝值，即

$$IL = -10 \lg \frac{P_o}{P_i} \quad (4-12)$$

- 插入损耗的值，一般**<1.0dB**。

4.3 无源光器件

- 反向隔离度 IL_R --用来表征光隔离器对反向传输光的衰减能力。

(4-13)

- 式中， P_{Ri} 表示反射到起偏器的反射光功率；
 $IL_R = -10 \lg \frac{P_{Ro}}{P_{Ri}}$
- P_{Ro} 表示透过起偏器的反射光功率。
- 反向隔离度的值，一般 $\geq 35\text{dB}$

4.3 无源光器件

- 回波损耗**RL**--在隔离器输入端测得的返回光功率与输入光功率的比值，即

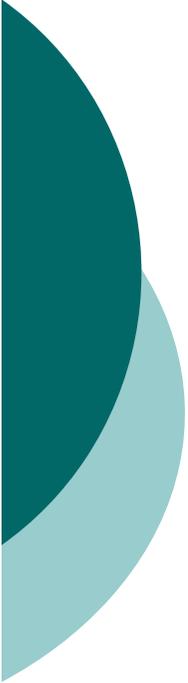
$$RL = -10\lg \frac{P_{Ri}}{P_i} \quad (4-14)$$

- 回波损耗的值，一般 $\geq 50\text{dB}$ 。
- 对于光隔离器来说，插入损耗的值越小越好；反向隔离度的值应越大越好，偏振相关损耗小及回波反射小。



4.3 无源光器件

- 6. 光开关
- 光开关是使光纤中传播的光信号断、通，或者进行路由转换的一种光器件，在系统保护、系统调量、系统监测及全光交换技术中具有重要的应用价值。它具有调制、多分路和转换功能。
- (1) 光开关的分类
- 光开关有两类，即机械式光开关和非机械式光开关，见[表4-4](#)。
- 从转换速度来讲，机械式光开关达到了ms级，机械式光开关串音小、插入损耗低、技术成熟，但开关速度低、不易集成。而电光效应式光开关已实现了18Ghz的调制，超过LD直接调制的极限。可以实现超高速转换(约60ps)，非机械式光开关的开关速度快、易于集成、可靠性高，但串音和插入损耗相对较大。



4.3 无源光器件

- (2) 机械式光开关
- 机械式光开关结构，如[图4-22](#)所示。
- 在机械式光开关中，驱动机构带动移动臂运动，使活动光纤（输入光纤），根据要求与光纤 n ($n=1,2,3\dots N$) 连接，从而实现光路的切换。
- (3) 非机械式光开关
- 非机械式开关是由光纤、自聚焦透镜、起偏器、极化旋转器和检偏器组成的。当在极化旋转器上加偏压后，经起偏器而来的偏振光产生极化旋转，实现通光状态；如极化旋转器不工作，则起偏器和检偏器的极化方向彼此垂直，处于断光状态。

4.3 无源光器件

- (4) 光开关的性能参数
- 按照输入输出端口数量，光开关通常是**1 x N**型或**N x 1**型，也可以是**M x N**阵列型。目前在光纤通信系统中，光开关主要用于主备用系统之间的光路倒换保护，通常是**1 x N**型或**N x 1**型。
- 光开关主要性能参数有插入损耗、串扰和消光比等。
- 插入损耗--光开关的插入所引起的原始光功率的损耗，由输出光功率与平均输入光功率之比来表示。
- 串扰--输入光功率与从非导通端口输出的光功率的比值。
- 消光比--两个端口处于导通和非导通状态的插入损耗之差。
- 开关时间--开关端口从某一初状态转为通或者断所需的时间。从在开关上施加或撤去能量的时刻算起。
- 回波损耗--反射回的光功率与输入光功率的比值。

图4-1 光电效应

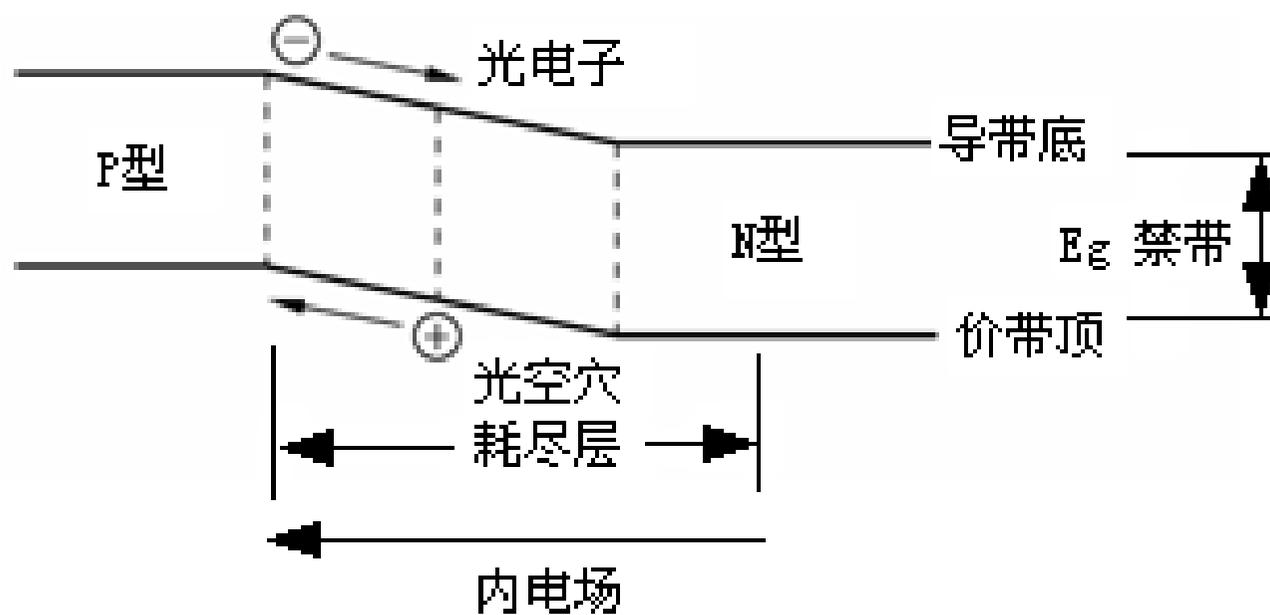


图4-2 PIN结构

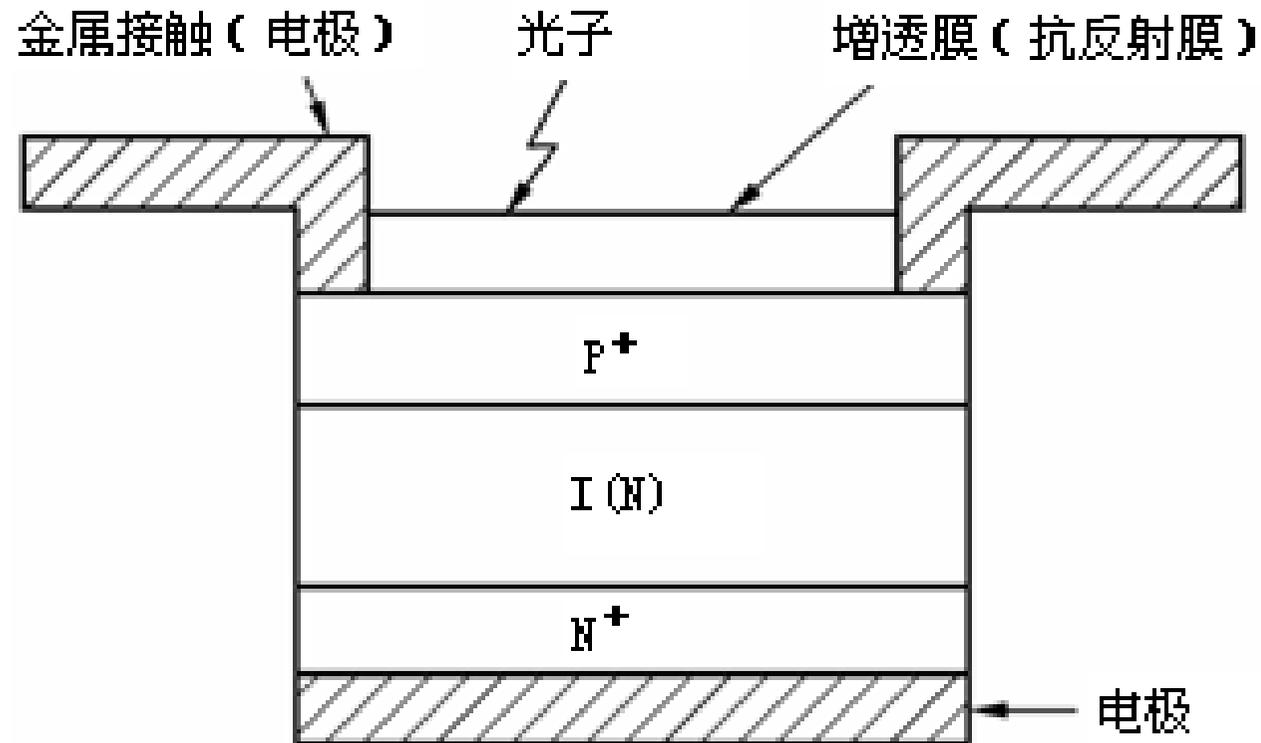


图4-3 PIN的工作原理

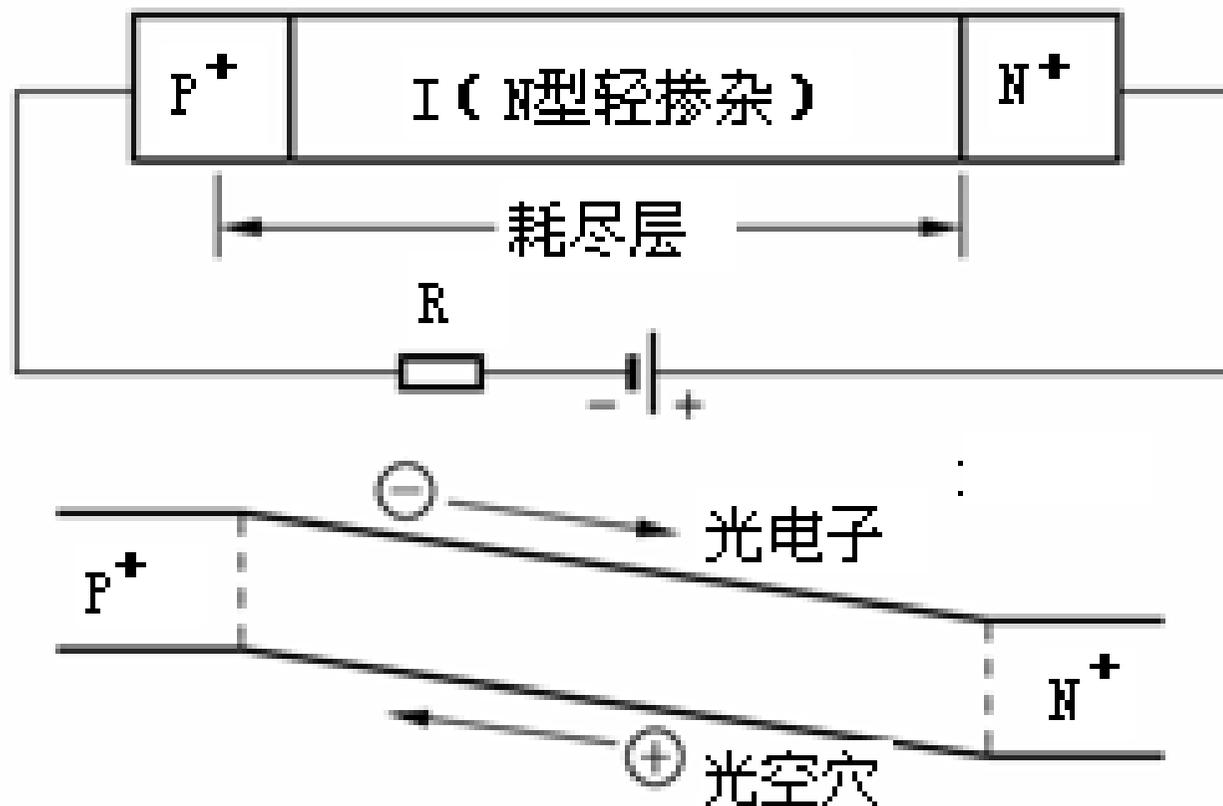


图4-4 输出电流I和反向偏压U的关系

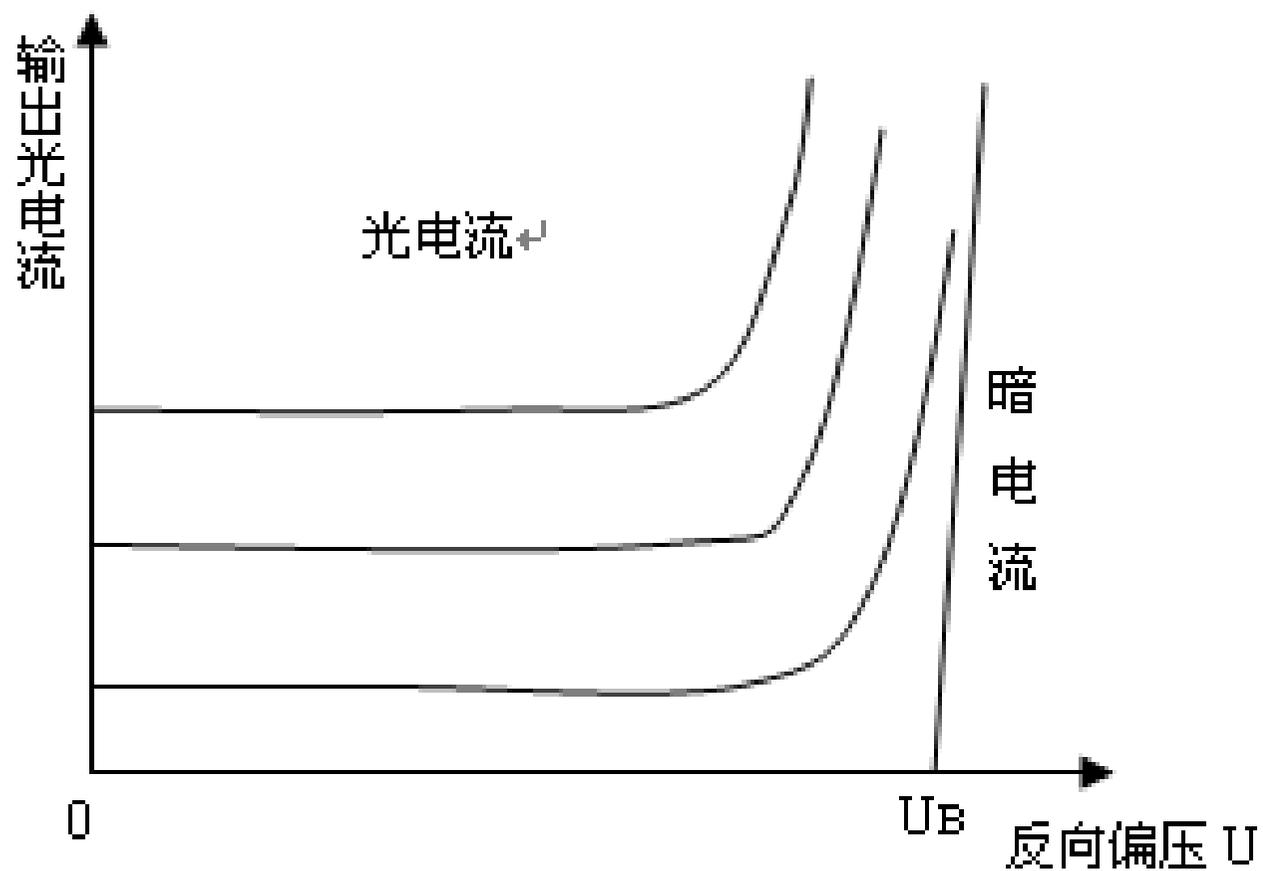


图4-5 APD结构

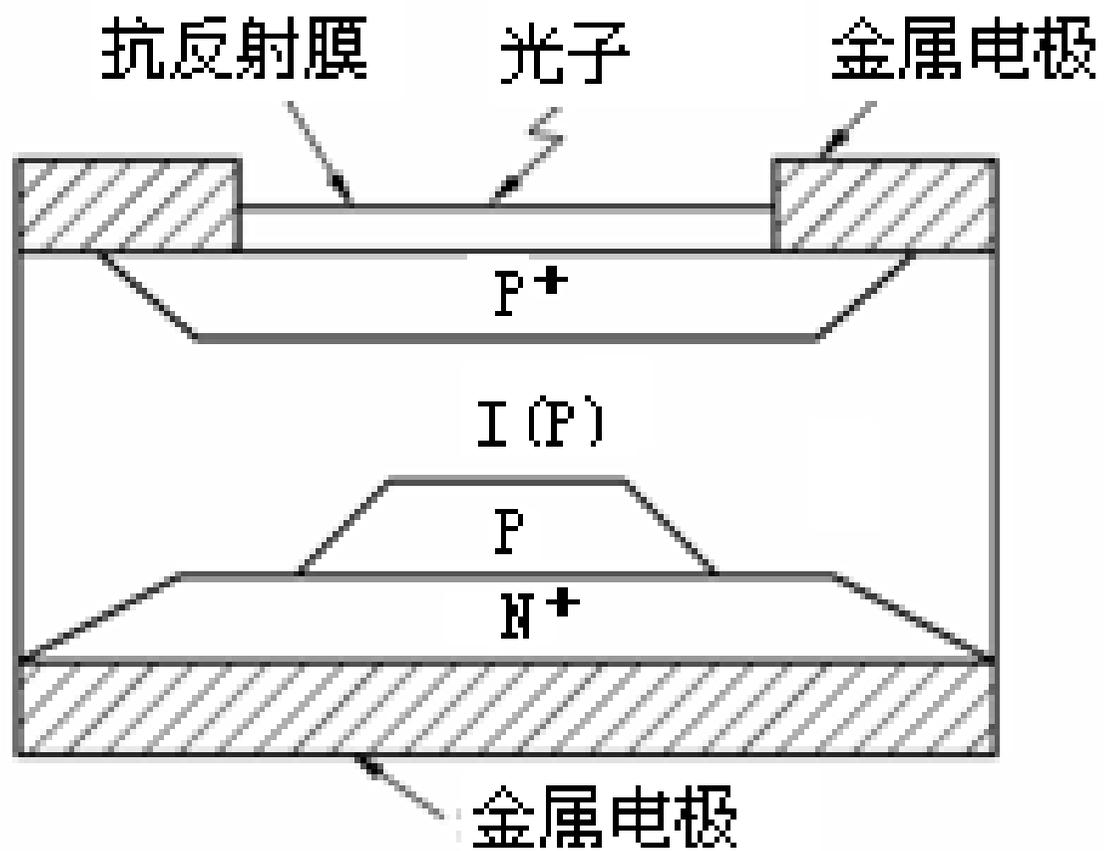


图4-6 APD雪崩示意图

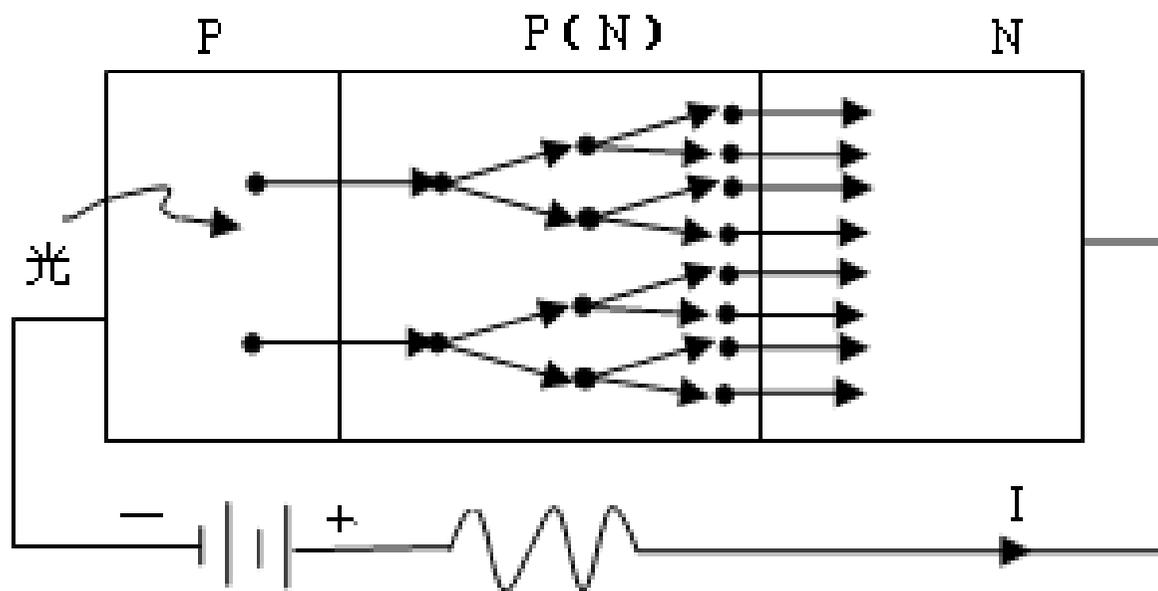


图4-7 电场强度分布

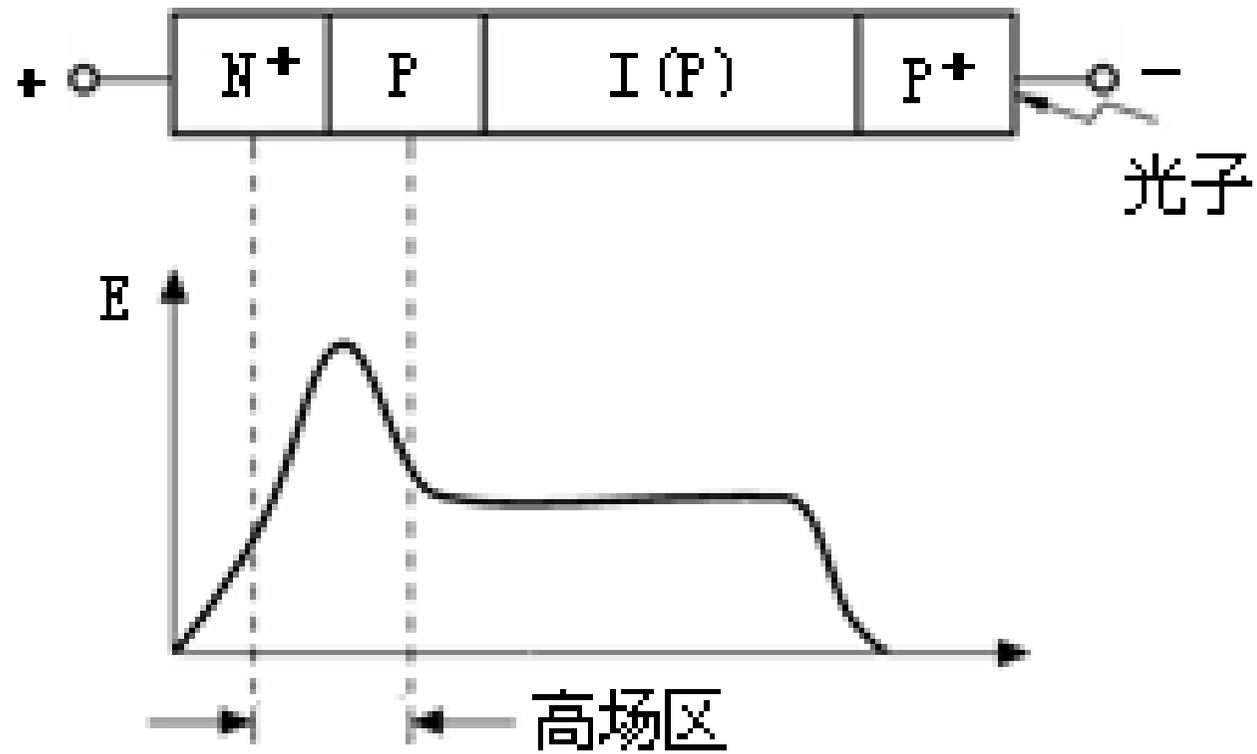


图4-8 反向偏压与倍增系数的关系

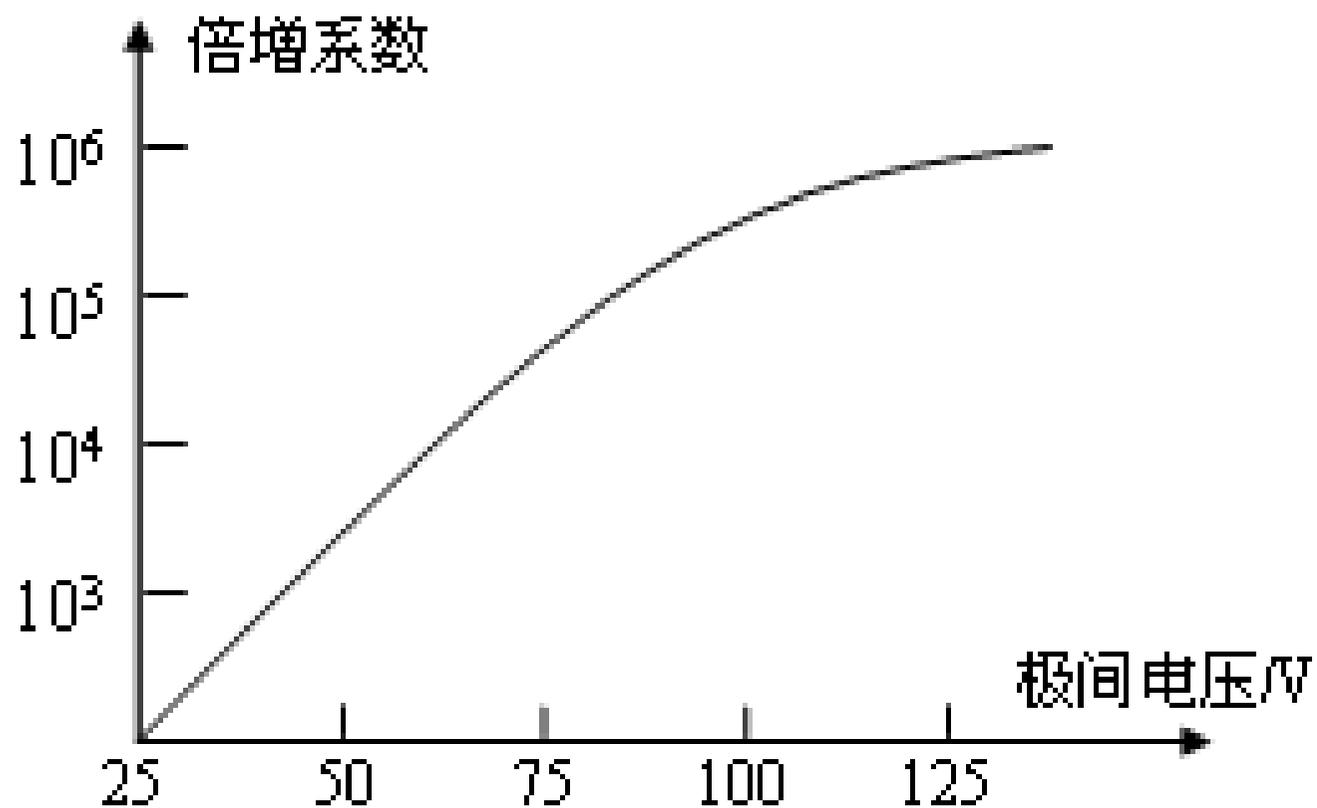


图4-9 量子效率与波长的关系

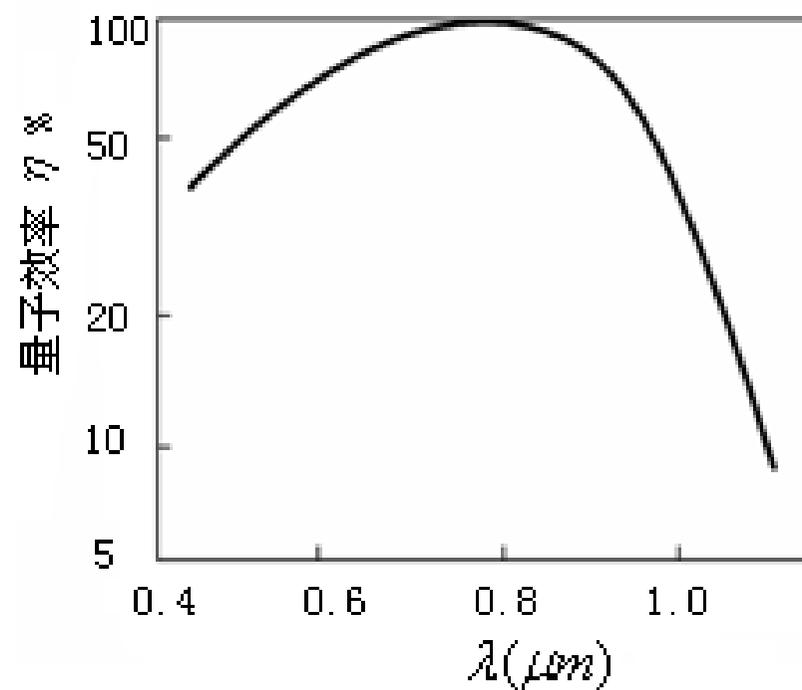


图4-10 光纤连接器结构

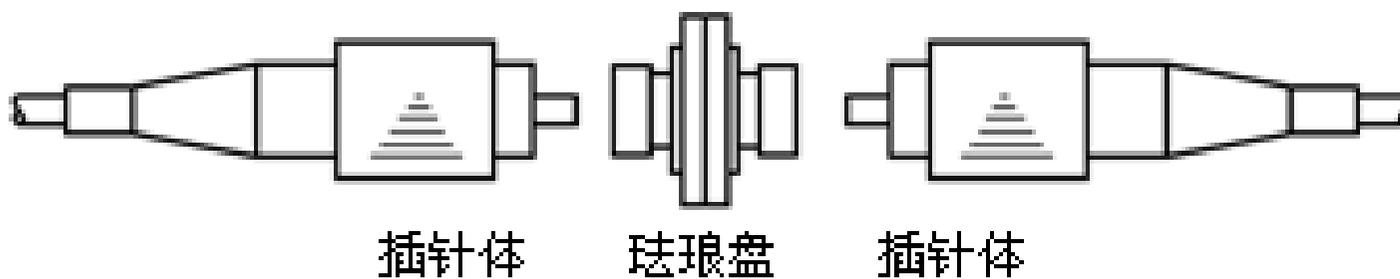
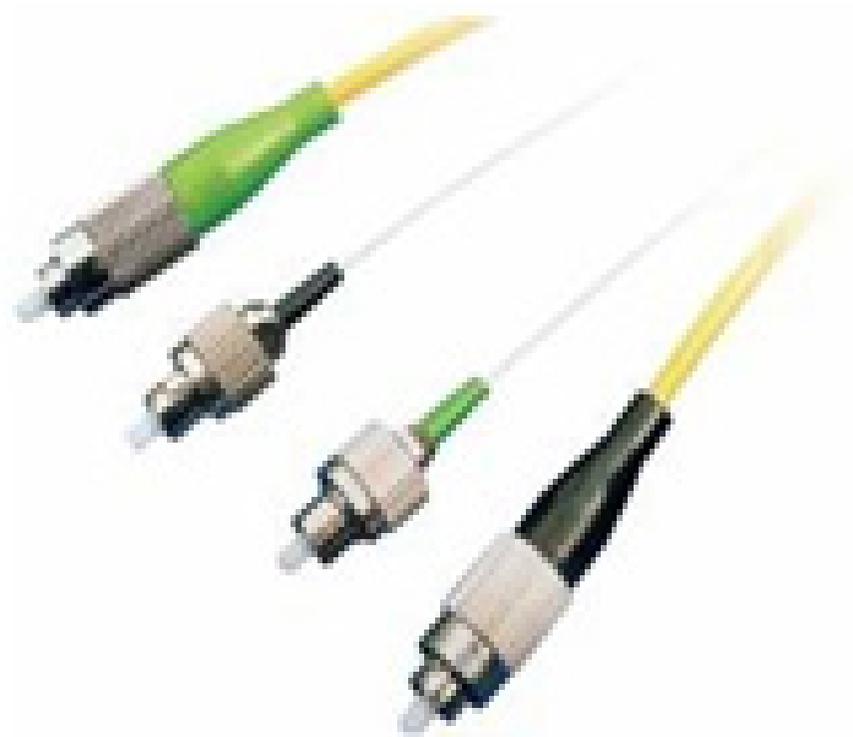




表4-1 光纤连接器类型

单通道	对接	套筒/V型槽	直套管	螺丝
多通道	透镜	锥型	锥型套管	销钉
单/多通道	其他	其他	其他	弹簧销

图4-11 FC型连接器



[返回](#)

图4-12 SC型连接器



图4-13 LC型连接器



图4-14 ST型光纤连接器



图4-15 DIN47256型光纤连接器



图4-16 MT-RJ型连接器

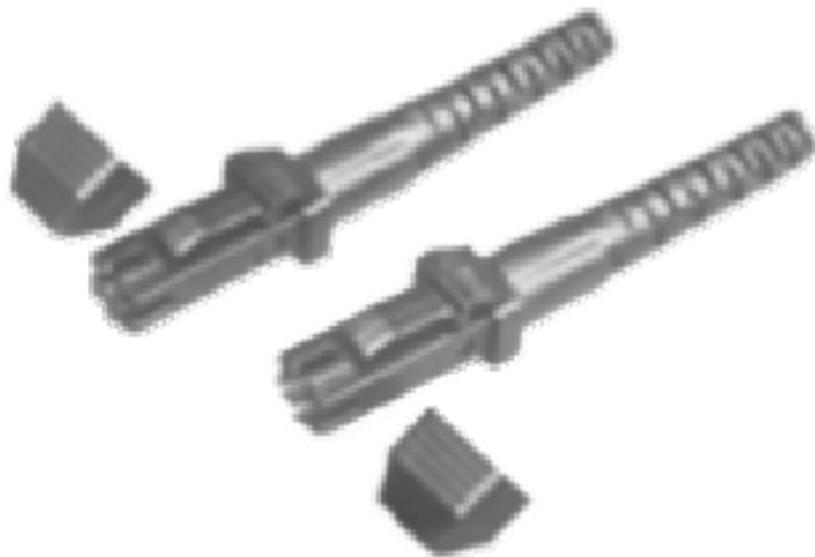
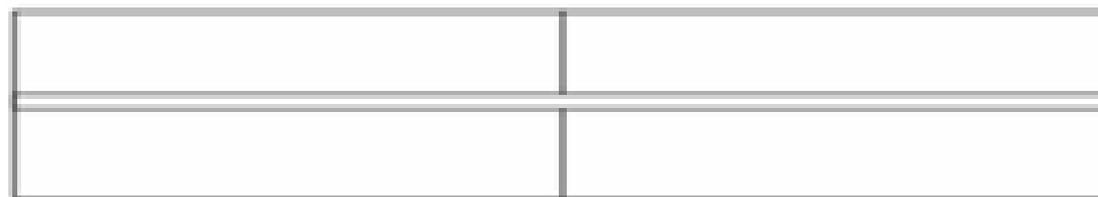
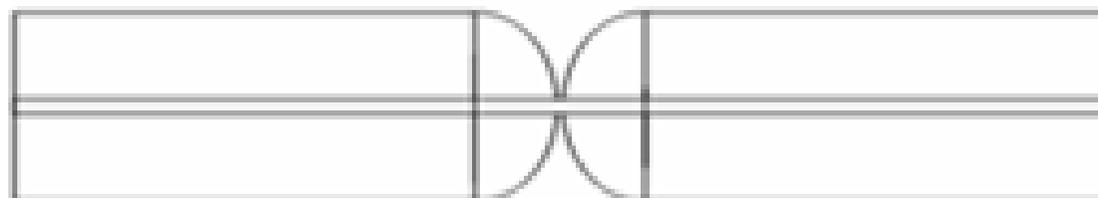


图4-17 端面图



(a) FC型



(b) PC型



(c) APC型

图4-18 衰减器的结构

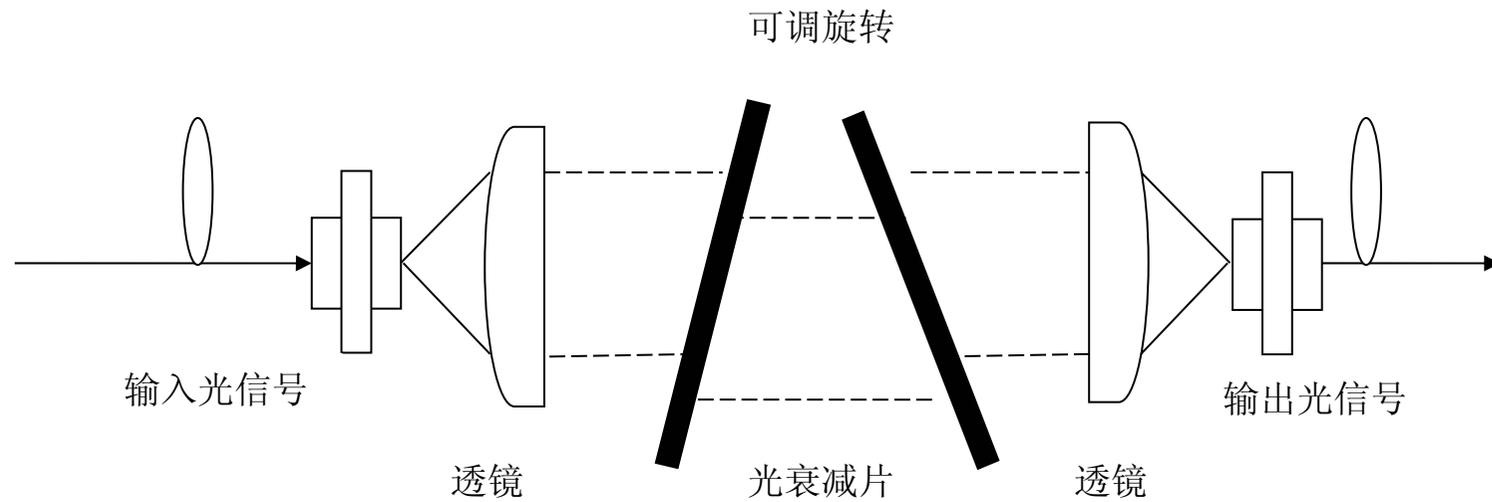




表4-2 光衰减器技术指标

参数	技术指标	参数	技术指标
波长范围 (nm)	400~1625	分辨率 (dB)	0.05
校准波长 (nm)	1310、1550	测量精度 (dB)	0~30 (± 0.1) 30~50 (± 0.3) 50~60 (± 1.0)
测量范围 (dB)	0~60	插入损耗 (dB)	<2.5
最大输入光功率 (dB)	40	回波损耗 (dB)	≥ 45
光接口	FC、ST、SC	功耗 (mW)	70

图4-19 光波分复用器

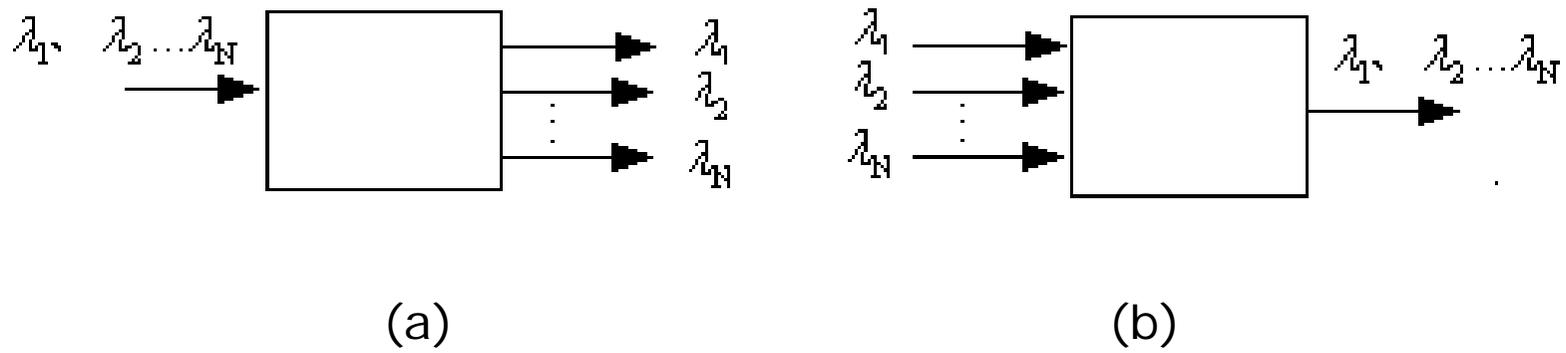


表4-3 耦合器的分类

光耦合器	用途分类	定向耦合器	光分波器、光分波器	
			光分支器	
		星型耦合器	透射星型耦合器	
			反射星型耦合器	
	T型耦合器			
	结构分类	分立元件型		
		熔融拉锥型		
		平面波导型		
		拼接型		
		激光器件型		
	光纤分类	多模光纤耦合器		
		单模光纤耦合器		

[返回](#)

图4-20 光耦合器

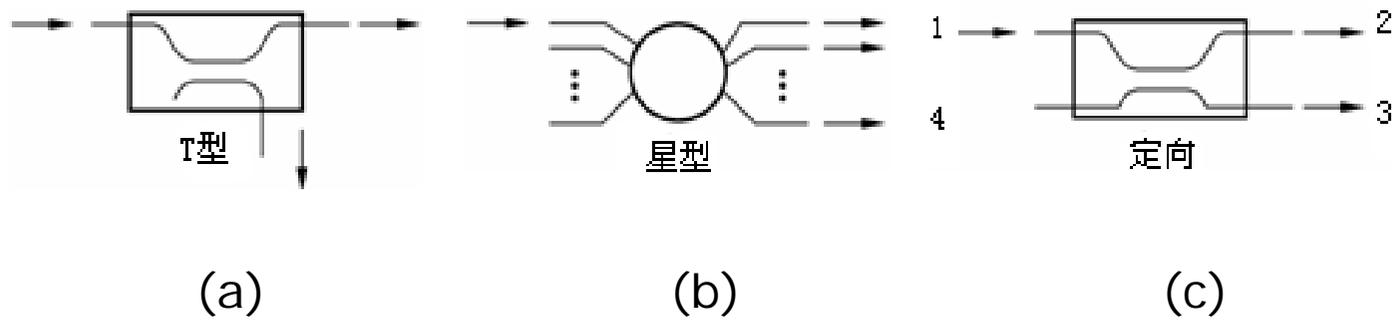


图4-21 光隔离器

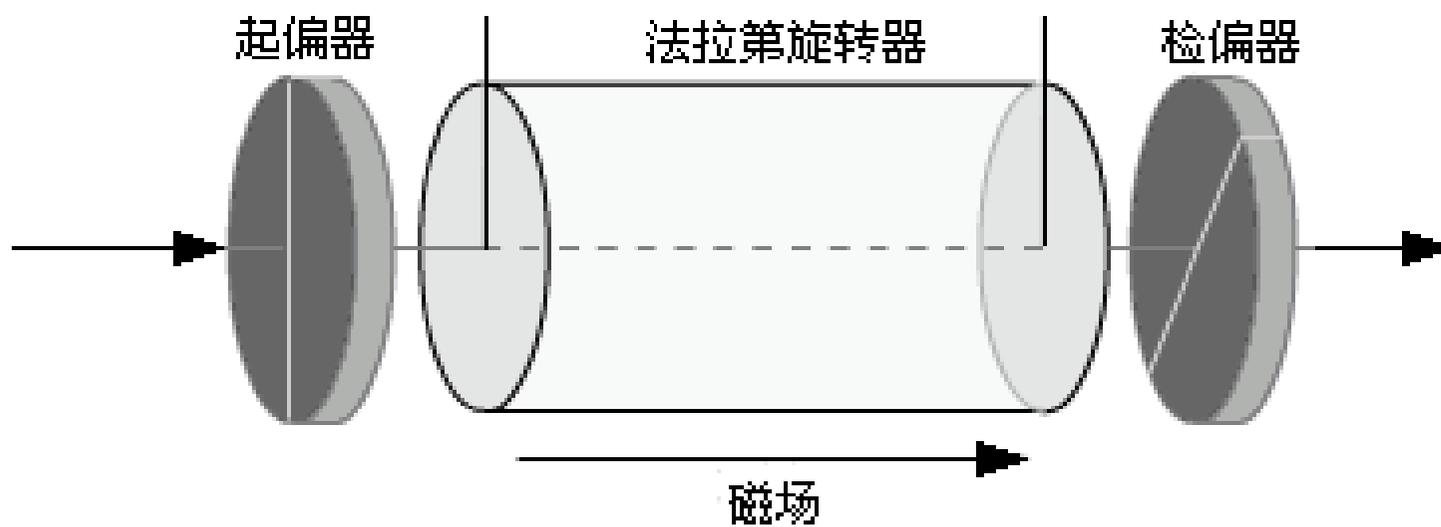


表4-4 光开关的类型与原理

分类	型式	优点	缺点
机械式	光纤型	插入损耗低，串扰小，适合各种光纤	开关速度较慢
	反射镜型		
	棱镜型		
非机械式	全反射型	开关速度快	插入损耗大
	隔离器型		
	方向耦合器型		
	双折射相位调制型		
	超声波偏转器型		
	光透过率控制性		
	光电二极管型		

图4-22 机械式光开关

