

第九章 光电式传感器

◆ 光电式传感器***

- 工作原理
- 光电器件及其特性

◆ 光纤传感器**

- 光纤结构
- 传光原理
- 光纤基本特性

◆ 红外传感器*

◆ 超声波传感器

一、光电式传感器

- 定义：

将被测量的变化转换为光量变化的元件或装置

- 作用：

- 1) 用于检测直接引起光量变化的非电量：

辐射测温、气体成分分析等

- 2) 用于检测能转换为光量变化的非电量：

零件直径、表面粗糙度、应变、位移、速度、加速度等

➤ 工作原理-光电效应

(1) 外光电效应

- 定义：光线作用下，物质内的电子逸出物体表面而向外发射的现象
- 外光电器件：光电管、光电倍增管
- 定量原理：
 - 用光照射物体，相当于用一定能量的光子轰击物体
 - 根据爱因斯坦假设，一个光子的能量只能给一个电子
 - 当物体中电子吸收的入射光能量 E 超过材料逸出功 A_0 时，电子逸出物体表面，形成光电子发射
 - 逸出光电子的动能为光子能量超出材料逸出功的部分

式中： m ——电子质量；

$$E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = h\nu - A_0$$

v_0 ——电子逸出时的初速度；

h ——普朗克常数， $h=6.26 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ；

ν ——光的频率。

- 特点：

式中： m ——电子质量；

v_0 ——电子逸出时的初速度；

h ——普朗克常数， $h=6.26 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ；

ν ——光的频率。

$$E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = h\nu - A_0$$

- 光电子逸出时的初始动能 E_k 与光的频率有关

- 不同材料对外光电效应的阻碍作用不同，逸出功越大，阻碍作用越明显

- 材料都有一个频率限

入射光的频率低于频率限，不论光强多大，也不能激发出电子

入射光的频率高于频率限，光线微弱也会有光电子发射

——该频率限称为“红限频率”

- 入射光频谱成分不变时，产生的光电子与光强成正比，入射光电子数越多，逸出电子数越多

- 基于外光电效应的光电发射型器件有：

光电管

光电倍增管

- 光电管有：

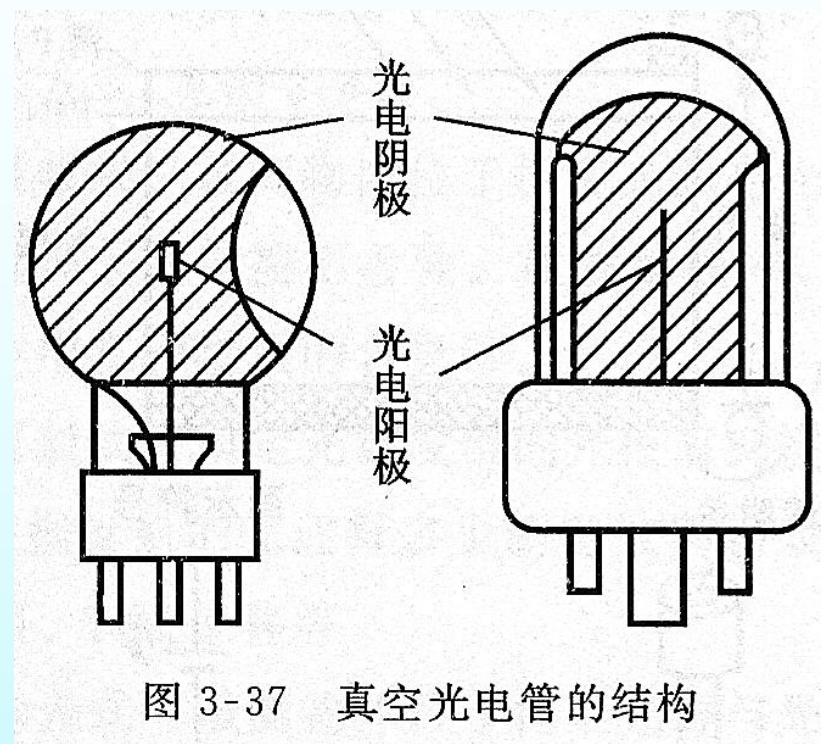
真空光电管

充气光电管

- 在一个真空的玻璃泡内装有两个电极：

光电阴极

光电阳极



- 光电阴极通常采用逸出功小的光敏材料

如：铯（Cs）

- 光线照射到光敏材料上便有电子逸出
- 逸出电子被具有正电位的阳极所吸引

在光电管内形成空间电子流

在外电路中产生电流

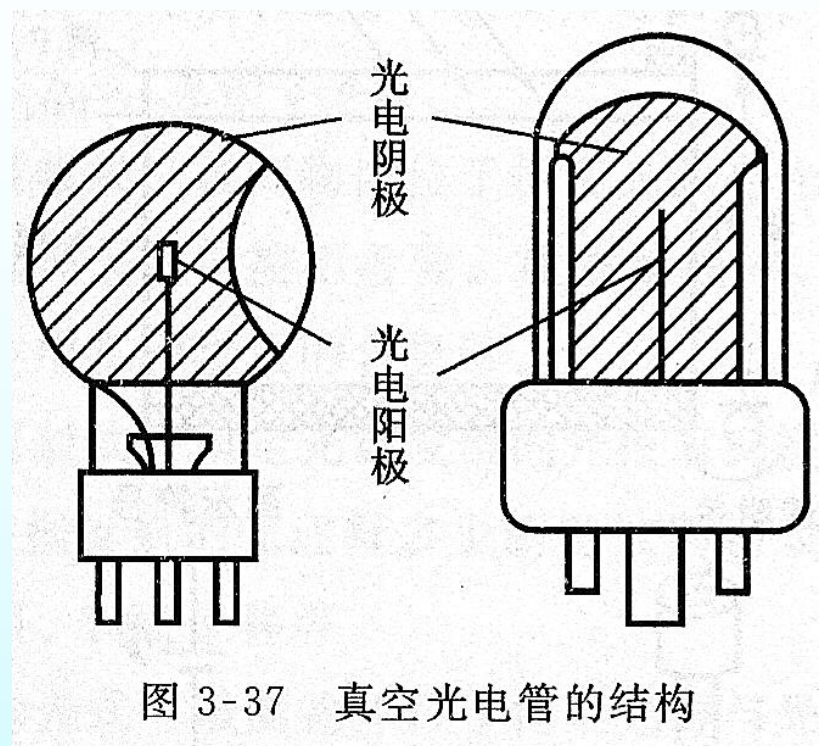


图 3-37 真空光电管的结构

- 若外电路串入电阻
 - 电阻上的电压降或电路中的电流大小与光强成函数关系
- 从而实现光电转换

(2) 内光电效应

- 定义：受光照的物体的导电率发生变化/产生光生电动势的现象
- 按工作原理分类：
 - 光电导效应
 - 定义：1) 半导体材料受光照，吸收了入射光的能量；2) 当光子能量大于或等于材料的禁带宽度时，激发电子-空穴对；3) 半导体的载流子浓度增加，半导体导电率因此增加。 $I = -enbdv$
 - 特点：半导体材料受光照强度越强，导电性能越好
 - 器件：光敏电阻、光敏二极管、光敏晶体管
 - 光生伏特效应
 - 定义：物体受光照时，沿一定方向产生电动势
 - 器件：光电池

光电导元器件

1. 光敏电阻—光导管

- 结构及等效符号

由光导层（转换元件）、漆膜（作用？）、电极引线等组成。等效符号见图9-1 (c)

- 工作原理

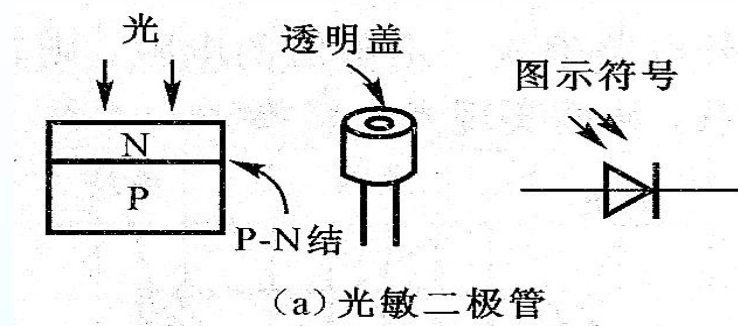
- 不受光照----→电阻值很大（暗电阻）--→电路电流很小（暗电流）
- 受光照 ----→ 电阻值很小（亮电阻）--→电路电流较大（亮电流）
- 为提高灵敏度：暗电阻越大，亮电阻越小

- 基本特性：1）伏安特性；2）光谱特性；3）温度特性；4）光照特性；
5）频率特性

- 优缺点及应用场合

光电导元器件

2. 光敏二极管



- 结构及等效符号

光敏二极管的P-N结装在管的顶部，上面有一个透镜制成的窗口，以便入射光集中在P-N结上

- 工作原理

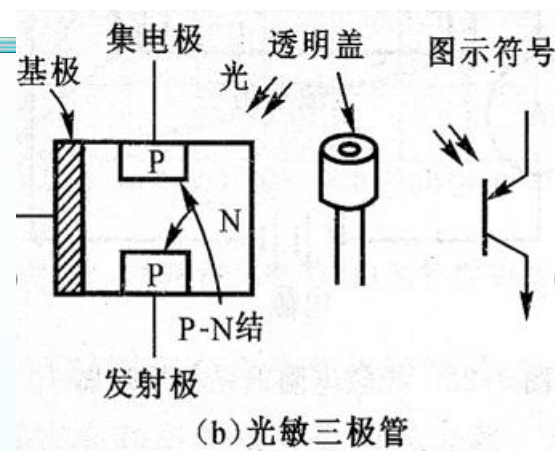
- 不受光照----→反向电阻很大--→反向电流很小（截止状态）

- 受光照 ----→ PN结附件产生产生光电子和空穴对--→PN结内电场作用下做定向运动--→形成光电流（导通状态）

- 特点：光敏二极管在电路中反向偏置，导通方向：N--→P

光电导元器件

3. 光敏晶体管



• 结构及等效符号

有两个P-N结，基极大多无引出线，仅有集电极和发射极两端引线

• 工作原理（见图9-9）

- 集电极通以相对于发射极为正的电压而不接基极
- 当光照射在基极-集电极结上时，就会在结附近产生电子-空穴对
- 电子被拉到集电极，基区留下空穴
- 集电极与基极形成电流，基极与发射极也形成电流，导致输出电流叠加后被放大

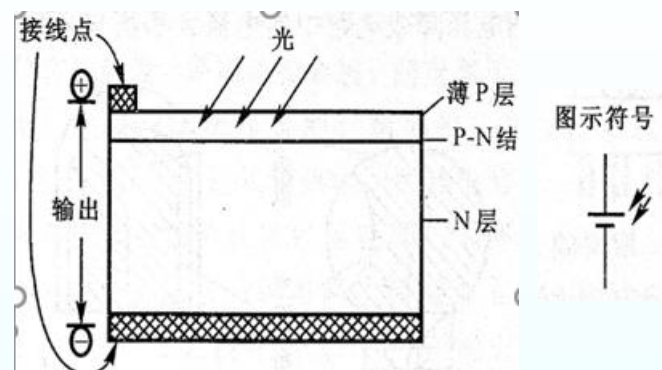
- 特点：1) 集电极电流是光生电流的 β 倍(β 是晶体管的电流放大倍数)；
2) 光敏晶体管具有放大作用

光生伏特元器件

1. 光电池

• 结构及等效符号

用单晶硅制成，在N型硅片上用扩散法掺入P型杂质，形成一个大面积的P-N结，P层做得很薄（使光线能穿透到P-N结上）



• 工作原理

-- PN节受光照时，若光子能量大于半导体材料的禁带宽度，PN节内产生电子-空穴对

-- 在结电场作用下，空穴移向P型区，电子移向N型区，最终形成N→P的电动势

• 特点：1) 自发式的有源器件；

2) 无污染、铺设方便，尤其适用于为宇宙飞行器的各种仪表提供电源

• 基本特性：1) 光谱特性；2) 光照特性；3) 频率特性

2.光电式传感器的形式

- 光电式传感器是以光电器件作为转换元件的传感器
- 工作原理：

首先将被测量的变化转换成光信号变化

然后通过光电转换元件变换成电信号

- 可用于检测直接引起光量变化的非电量，如：

光强、光照度、辐射测温、气体成分分析等

- 也可用于检验能转换成光量变化的其他非电量，如：

零件直径、表面粗糙度、应变、位移、振动、速度、加速度、物体形

状、工作状态识别等

- 优点：

非接触、高精度、高分辨率、高可靠性和响应快

- 种类：

激光光源、光栅、光学码盘、CCD器件、光导纤维

- 光电传感器在检测和控制领域应用广泛

- 光电传感器按接收状态可分为：

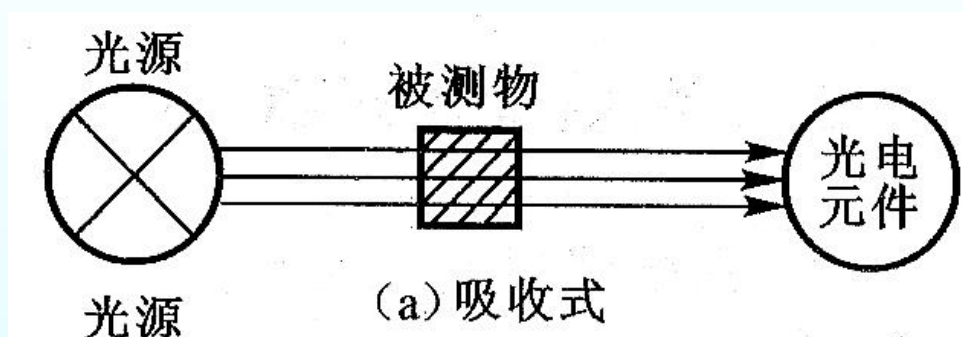
模拟式光电传感器

脉冲式光电传感器

(1) 模拟式光电传感器

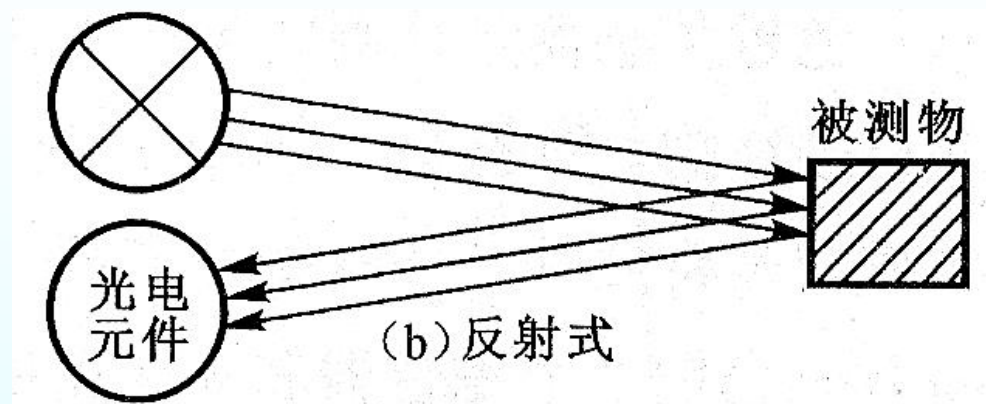
- 光通量随被测量而变，光电流就成为被测量的函数
——故又称为函数运用状态型光电传感器

① 吸收式



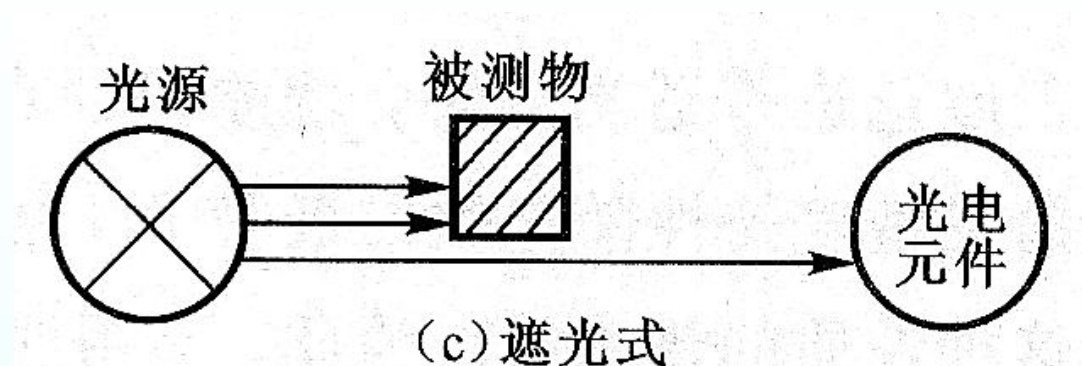
- 被测物体位于恒定光源与光电元件之间
- 根据被测物对光的吸收程度或对其谱线的选择来测定被测参数，如：
 - 测量液体、气体的透明度、混浊度
 - 对气体进行成分分析
 - 测定液体中某种物质的含量

②反射式



- 恒定光源发出的光投射到被测物体上
- 被测物体把部分光通量反射到光电元件上
- 根据反射的光通量多少测定被测物表面状态和性质，如：
测量零件的表面粗糙度、表面缺陷、表面位移等

③遮光式



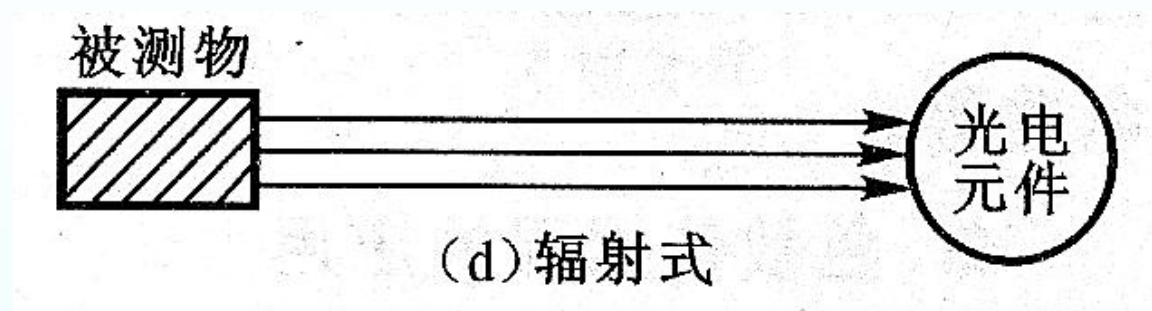
- 被测物体位于恒定光源与光电元件之间
- 光源发出的光通量经被测物遮去其一部分

使作用在光电元件上的光通量减弱

减弱的程度与被测物在光学通路中的位置有关

- 利用原理可以测量：长度、厚度、线位移、角位移、振动等

④辐射式



- 被测物体本身就是**辐射源**
- 直接照射在光电元件上或经过一定的光路后作用在光电元件上，如：
光电高温计、比色高温计、红外侦察和红外遥感等
- 可以用于防火报警和制成光照度计等

(2) 脉冲式光电传感器

- 脉冲式光电传感器的作用方式：

光电元件的输出仅有两种稳定状态：通——开状态，截止——关状态

- 这类传感器要求光电元件灵敏度高，光电特性的线性要求不高
- 主要用在零件或产品的自动计数、光控开关、计算机的光电输入设备、光电编码器及光电报警装置等

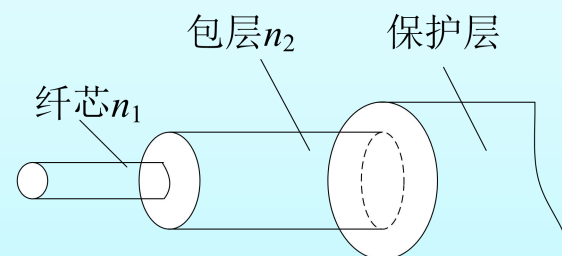
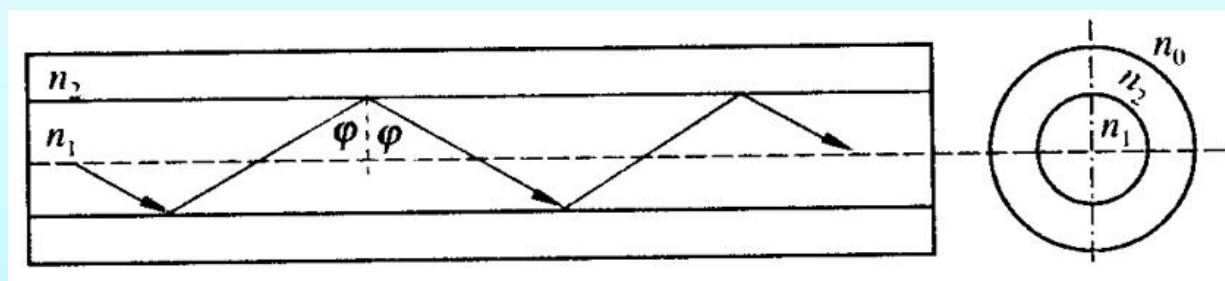
一、光纤的结构和传光原理 ■

1. 光纤的结构 ■

光导纤维的简称，结构如图8-33所示。

- 纤芯：中心的圆柱体；掺杂的石英玻璃制成（二氧化硅、二氧化锗，五氧化二磷），折射率 n_1 。（ $n_1 > n_2$ ）
- 包层：围绕着纤芯的圆形外层；不同掺杂的石英玻璃制成（二氧化硅，极微量三氧化二硼），降低折射率，折射率 n_2 。

保护套：在包层外面的一层，尼龙材料，增强机械强度



2. 光纤的传光原理

光纤的传输：基于光的全内反射。

设有一段圆柱形光纤，如图8-34所示，两个端面均为光滑的平面。

- 当光线射入一个端面并与圆柱的轴线成 θ_i 角时，在光纤内折射成 θ' ，然后以 φ_i 角入射至纤芯与包层的界面，光线一部分透射到包层，一部分反射回纤芯。
- 若要在界面上发生全反射，则纤芯与界面的光线入射角 φ_i 应大于临界角 φ_c 。

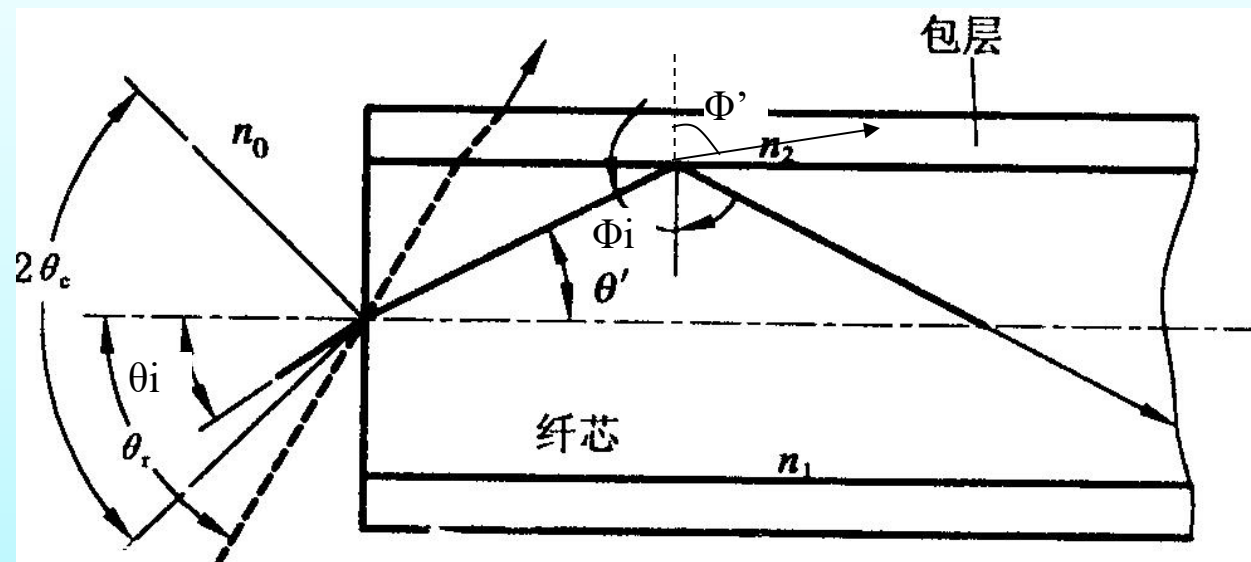


图 8 - 34 光纤的传光原理

- 根据斯涅耳光的折射定律： n_0 为外界介质的折射率

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta'$$

$$n_1 \sin \varphi_i = n_2 \sin \varphi'$$

- 欲发生全反射： $\varphi' \geq \varphi_c = 90^\circ$ (临界折射角)

$$n_1 \sin \theta' = n_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_i\right) = n_1 \cos \varphi_i = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_i} = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \sin \varphi'\right)^2}$$

当 $\varphi' = \varphi_c = 90^\circ$ 时，有

$$n_1 \sin \theta' = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

光纤端面的入射角 θ_i 应满足：

$$\theta_i \leq \theta_c = \arcsin\left(\frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)$$

光纤处于空气中时， $n_0 = 1$ ，有：

$$\theta_i \leq \theta_c = \arcsin \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

二、光纤基本特性

1.数值孔径(NA):

定义为:
$$NA = \sin \theta_c = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

表征光纤的集光能力: NA越大, 集光能力越强, 耦合效率越高。

但数值孔径NA过大, 会造成光信号畸变, 通常石英的NA取0.2~0.4。

2.光纤模式:

- 定义: 光波传播的途径和方式
- 分类:
 - 单模光纤: 纤芯直径2~12纳米, 只能传输一种模式, 性能好, 成本高
 - 多模光纤: 纤芯直径50~100纳米, 可以多种模式传播同一光信号, 性能稍差, 成本低
- 结论: 光纤传播时, 信号模式数量越少越好, 多种模式传播同一光信号, 会使信号分为多个不同时间到达接收端的小信号, 易出现信号畸形

二、光纤基本特性

1. 光纤传输损耗：

吸收损耗：光纤材料中的杂质、缺陷原子对光的吸收而产生的损耗

散射损耗：因光纤材料密度不均匀、光纤与包层的界面不光滑而发生的散射损耗，波长越短，散射越严重

三、光纤传感器工作原理-、组成结构，工作过程——见课本9.2.2

二、光导纤维传感器

- 光导纤维是近代光信息传输科学的巨大成果

- 光纤传送信息的特点：

低衰减、柔性好、信息量大、频带宽以及不受外界干扰

- 优点：

防水性、绝缘性、尺寸小、质量轻、节省贵重金属、成本低

- 用玻璃、石英、塑料等光透射率高的电介

质制作的极细纤维

- 近红外线至可见光范围内传输损耗极小

——理想的传输线路

利用光纤制造的传感元件主要分为两类

- 利用光纤的低损耗传输功能

——传输型光纤传感元件

- 利用光纤本身特性受被测参数影响发生变化而使通过光纤的光波某些参数(如强度、相位、偏振面或频率)的变化作成的传感元件

——传感型光纤元件

- 光纤传感元件是一种很有发展前途的新技术
- 目前实用化的光纤传感元件为数尚少
- 研究中的项目却数量甚多

如：传感温度、压力、振动、音响、射线、电、磁、电磁波以及光学等许多物理量的光纤传感器