



# 光电探测原理





# 课程介绍

## 课程特点：

### ➤ 涉及的知识面广

针对紫外、可见、近红外、红外到太赫兹各光谱段的光电探测技术的系统讨论，涉及器件物理、工程光学、半导体材料、电路与系统、数字图像处理等知识。

### ➤ 内容多、涉及的技术发展较快

## 课程目的：

- 基础课程的理论联系实际能力的培养；
- 学会系统工程的分析设计；
- 拓宽知识面；
- 对今后的工作有一定参考价值。



# 课程介绍

## 参考书目：

- |                |                    |                  |
|----------------|--------------------|------------------|
| 《半导体器件物理（第3版）》 | 施敏 (S. M. SZE)     | 西安交通大学出版社，2008.  |
| 《光电探测技术与应用》    | 郝晓剑，李仰军            | 国防工业出版社，2009     |
| 《军用紫外探测技术及应用》  | 许强                 | 北京航空航天大学出版社，2010 |
| 《太赫兹科学与技术原理》   | 李允植 (Yun-Shik Lee) | 国防工业出版社，2012     |
| 《太赫兹科学技术和应用》   | 许景周                | 北京大学出版社，2007     |
| 《红外探测器（第二版）》   | Antoni Rogalski    | 机械工业出版社，2014     |
| 《窄禁带半导体物理学》    | 褚君浩                | 科学出版社，2005       |
| 《薄膜技术与薄膜材料》    | 田民波                | 清华大学出版社，2006     |
| 《红外成像阵列与系统》    | 常本康，蔡毅             | 科学出版社，2006       |



# 课程介绍

---

## 考核方式：

- 考核方法：专题论文、PPT报告；
- 专题论文40%，PPT报告30%，平时成绩30%；

## 教学目的：

- 系统地对光电探测中的敏感材料、敏感机理、器件结构的设计、器件的物理原理、应用及发展前景进行全面的学习和了解；
- 掌握器件原理与技术，国内外发展动态，从而为相关技术的研究打下理论基础；
- 学习各种光电探测元、部件构成系统的光学、电子学和系统成像原理。
- 了解光电探测技术在军事上和国民生产经济中的应用。



# 提 纲

---

## 第一章：绪论

.....●

## 第二章：光辐射与光源

.....●

## 第三章：光电探测理论基础

.....●

## 第四章：紫外探测器

.....●

## 第五章：可见光探测器

.....●

## 第六章：红外光电探测

.....●

## 第七章：太赫兹探测

.....●



# 第一章：绪论

第一节：简介

第二节：光电效应与热电效应

第三节：光电探测器分类

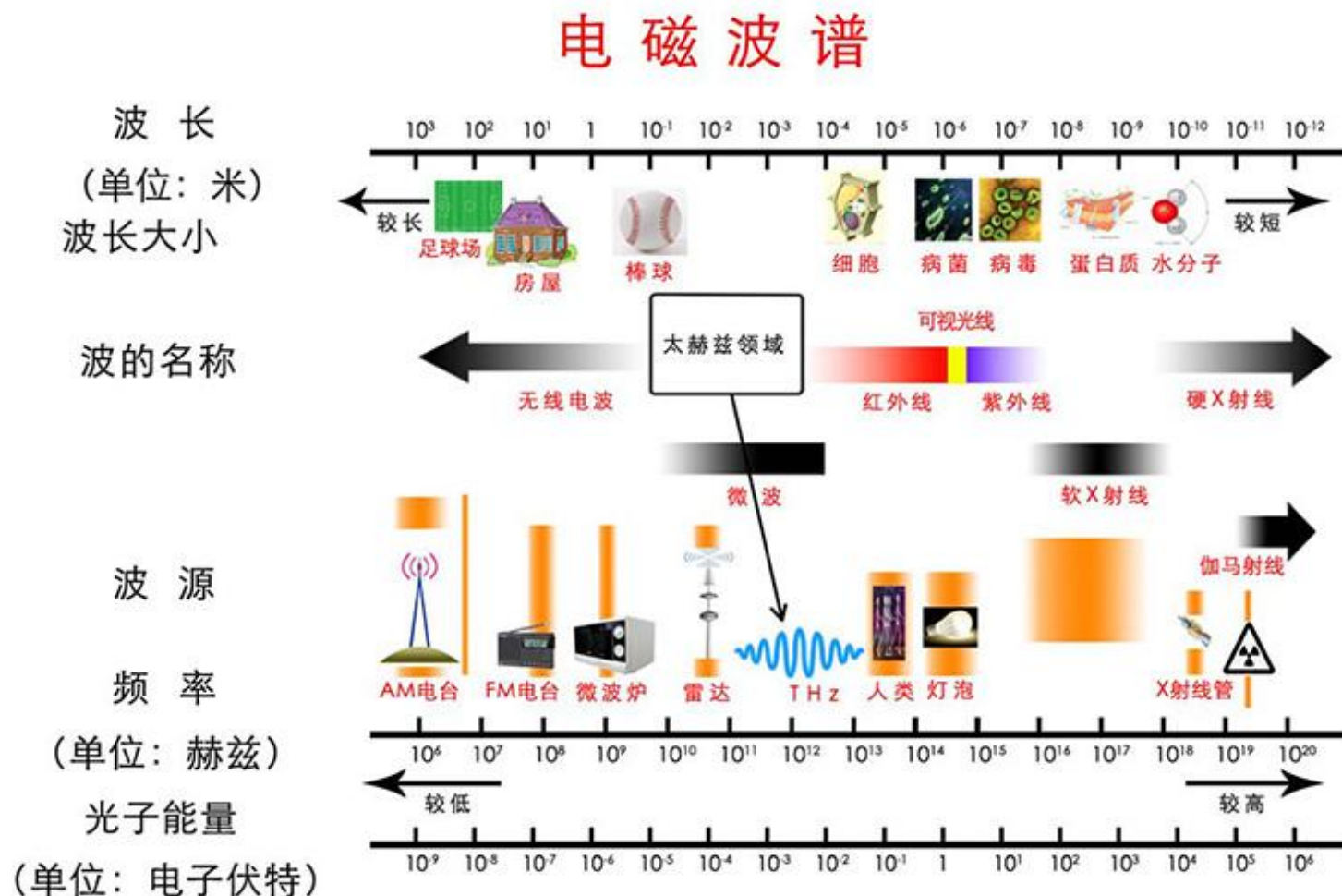
第四节：光电探测器用敏感材料





# 第一节：简介

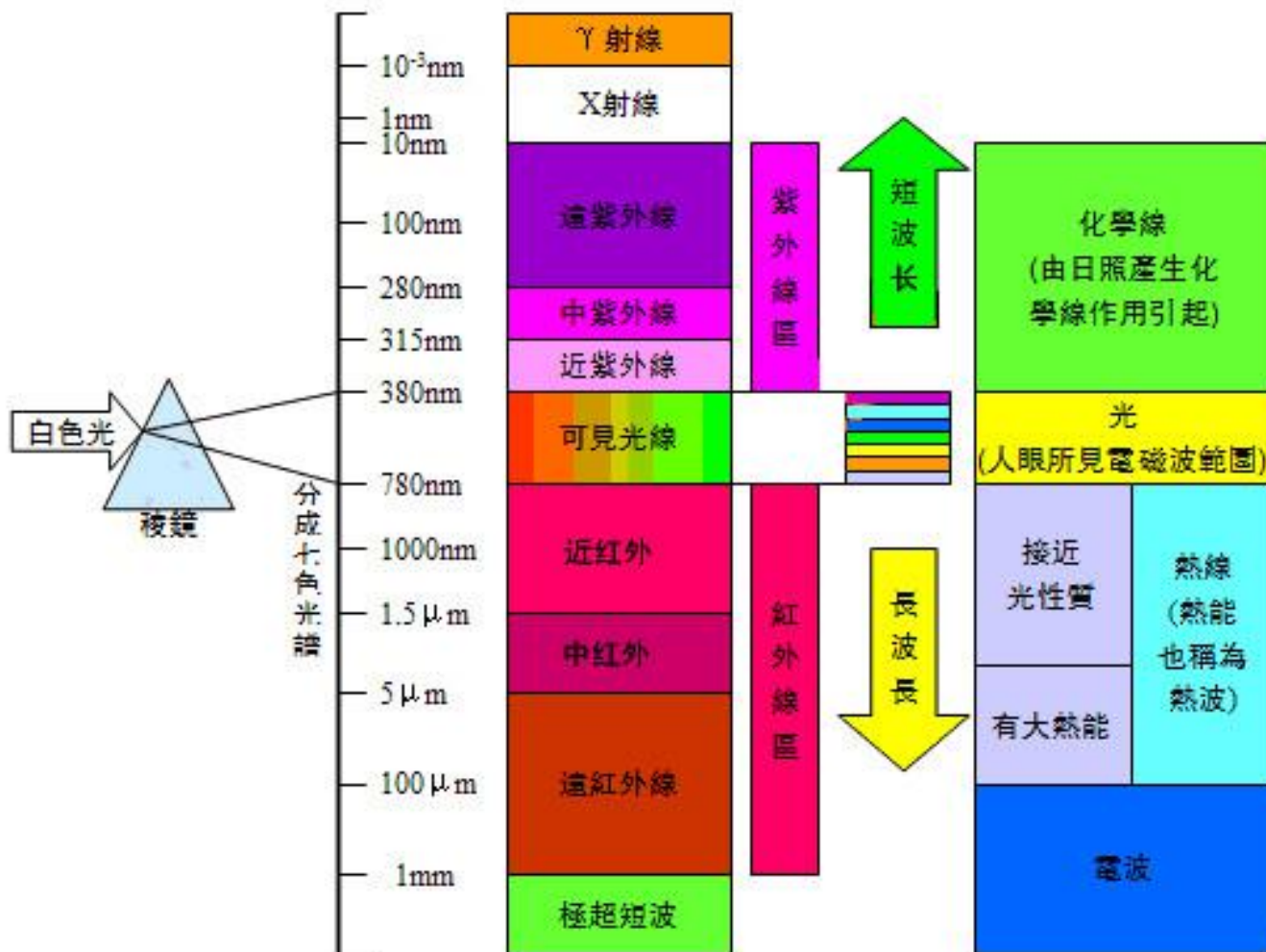
## 光谱波段划分



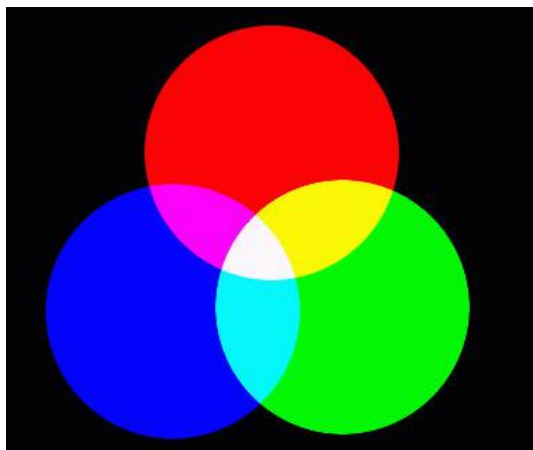
紫外线（100～380nm）、可见光（380～760nm）、近红外线（0.76～30μm）、太赫兹30μm～3mm及X射线、γ射线和微波、无线电波一起构成了整个无限连续的电磁波谱。



# 不同光谱的特点与应用

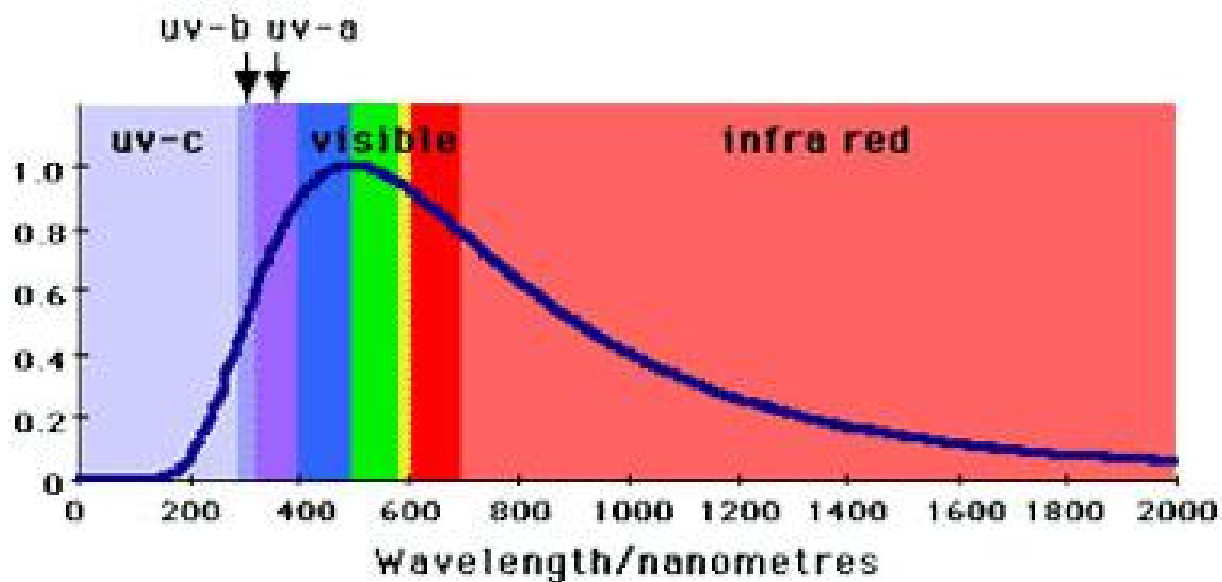






“红、绿、蓝” ???

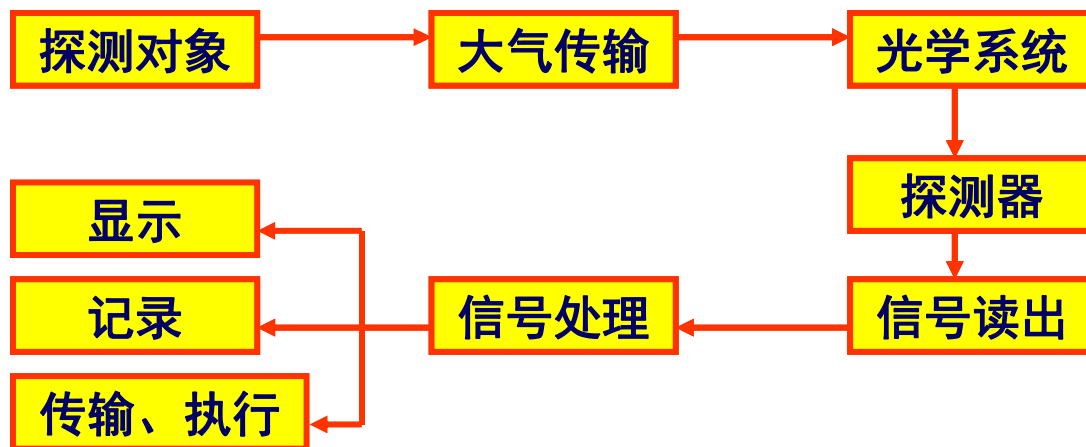
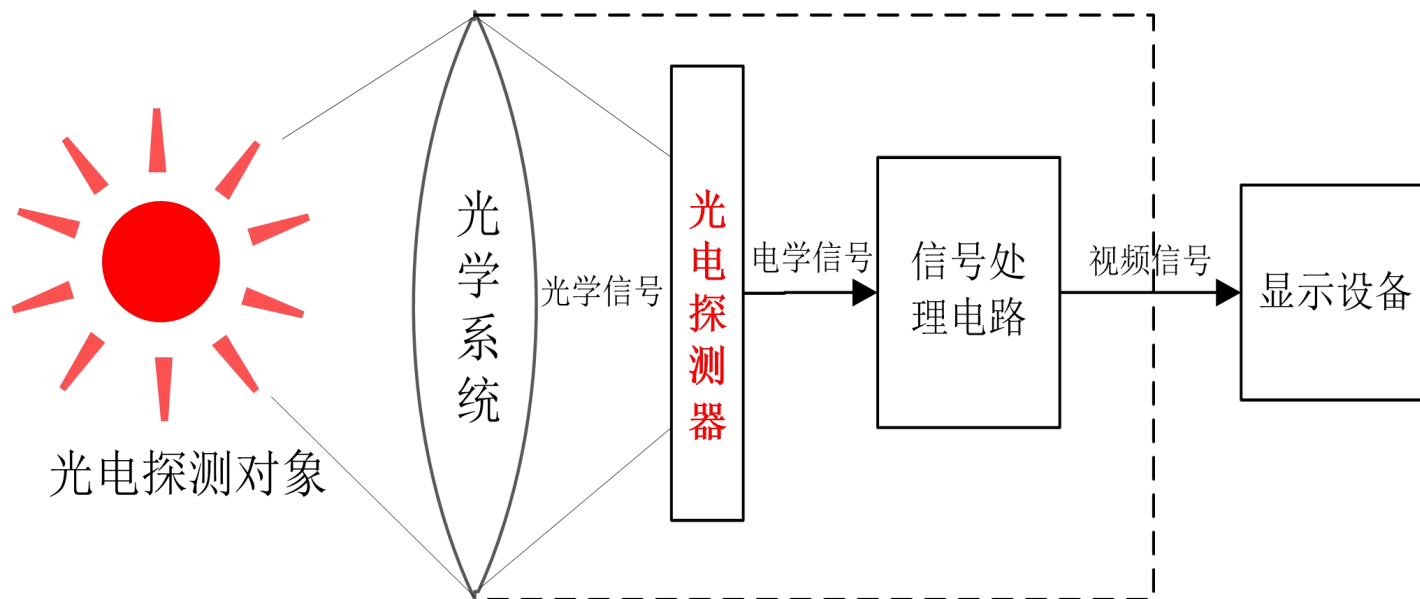
红、绿、蓝三种色光无法被分解，  
故称“三原色光”



太阳光谱



# 光电探测系统工作原理





## 光电探测系统分类

光源

主动式光电探测系统 如激光测距系统；被动式光电探测系统 红外感温系统

波普

紫外、可见、红外等探测系统

探测器数目

点探测系统 单元探测器；  
面探测系统 多单元面阵接收元件

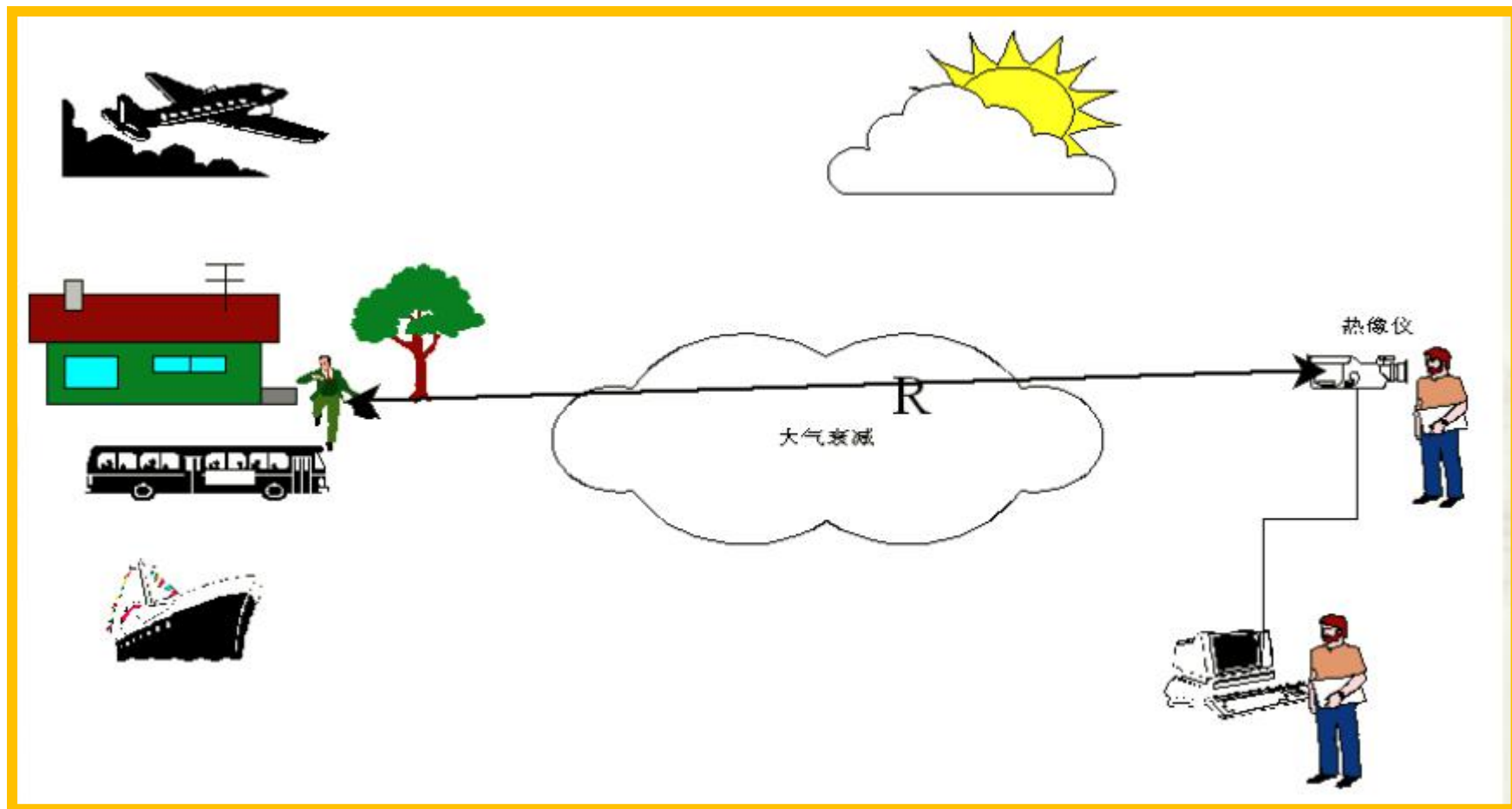
光路

直射式  
反射式  
散射式

⋮

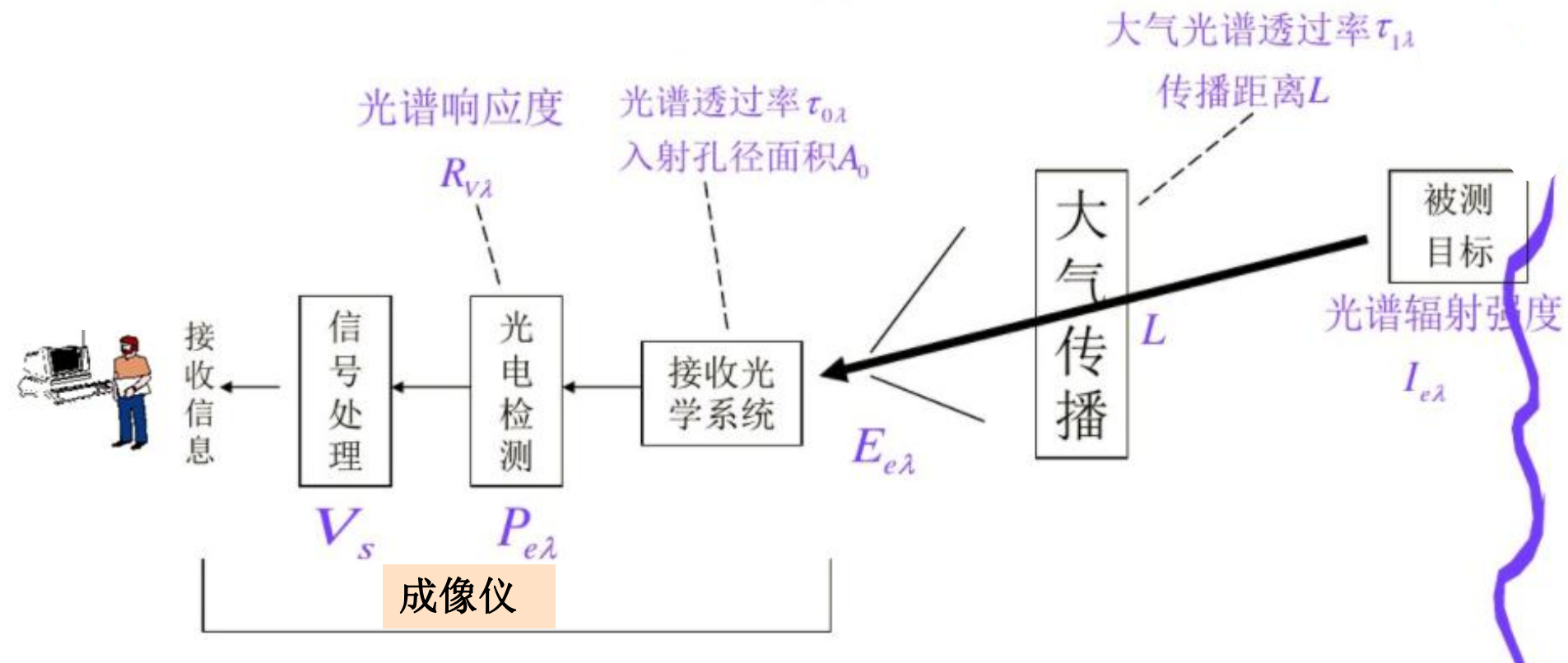


## 红外热成像场景

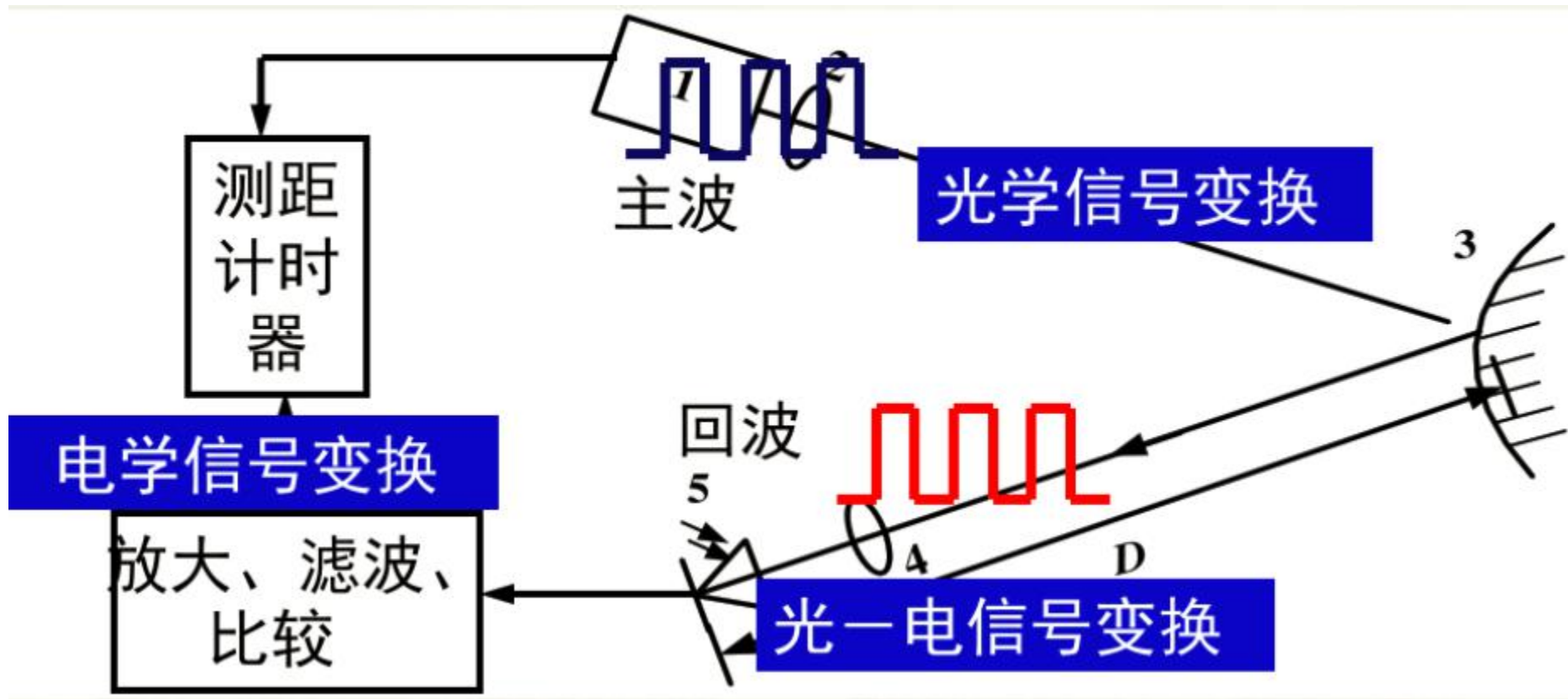




# 光子成像仪



## 激光脉冲测距



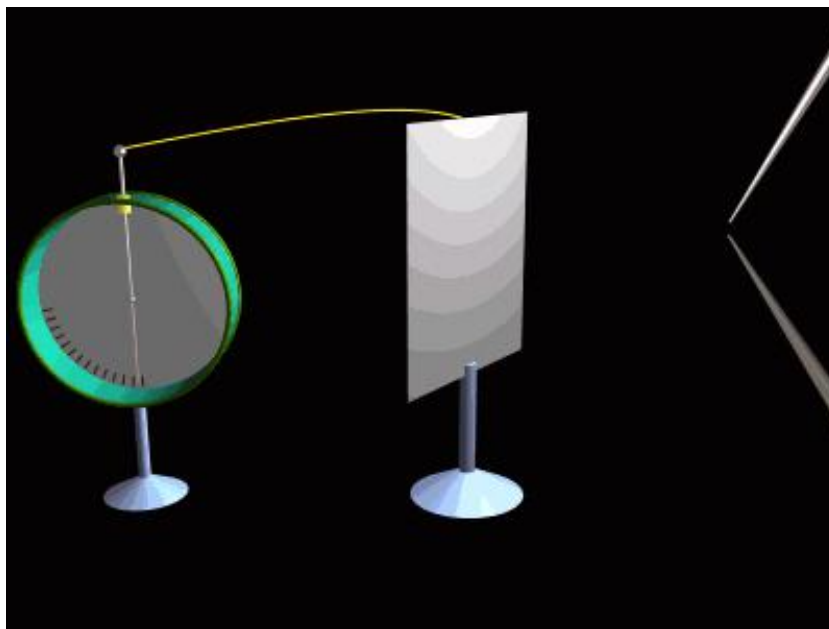




## 第二节：光电效应与热电效应

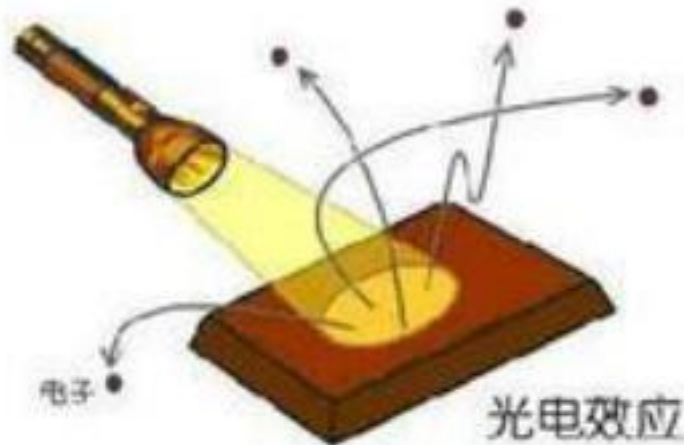
什么是光电效应

某些固体受到光的作用后，其中的**电子直接吸收光子能量**而发生运动状态的改变，从而导致该固体的某种**电学参量的改变**，这种电学性质的改变统称固体的光电效应。



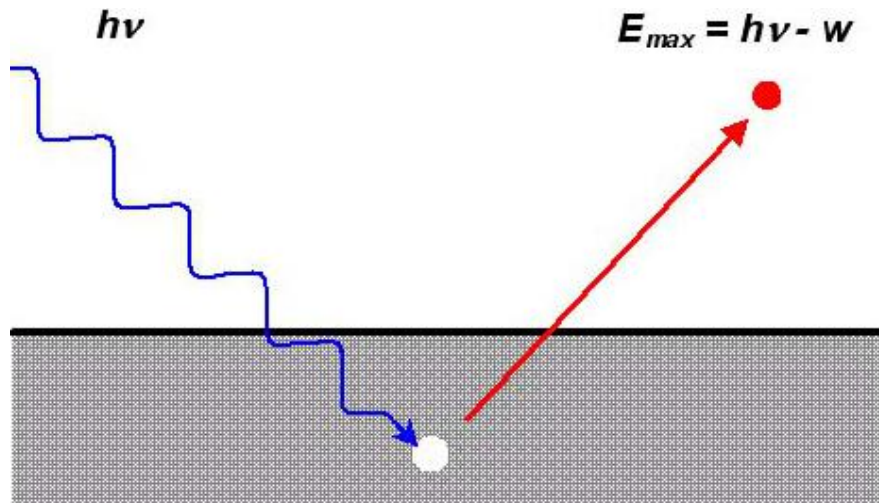
## ● 外光电效应：

当光照射金属、金属氧化物或半导体材料的表面时，会被这些材料内的电子所吸收，如果光子的能量足够大，**吸收光子后的电子可挣脱原子的束缚而逸出材料表面**，这种电子称为**光电子**，这种现象称为**光电子发射**，又称为**外光电效应**。

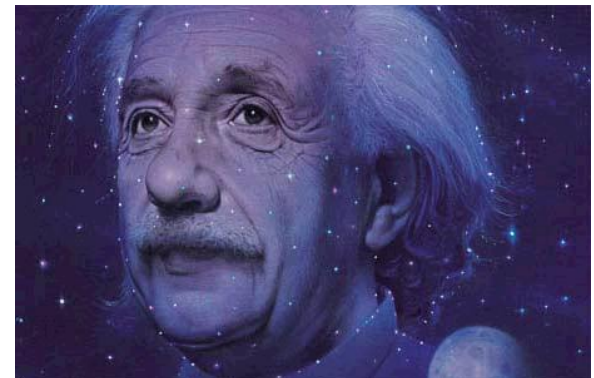




当**敏感材料**表面在特定的光作用下，敏感材料会**吸收光子**并**发射电子**。光的波长需小于某一临界值（相等于光的频率高于某一临界值）时方能发射电子，其临界值即极限频率和极限波长。临界值取决于材料，而发射电子的能量取决于光的波长而非光的强度，这一点无法用光的波动性解释。



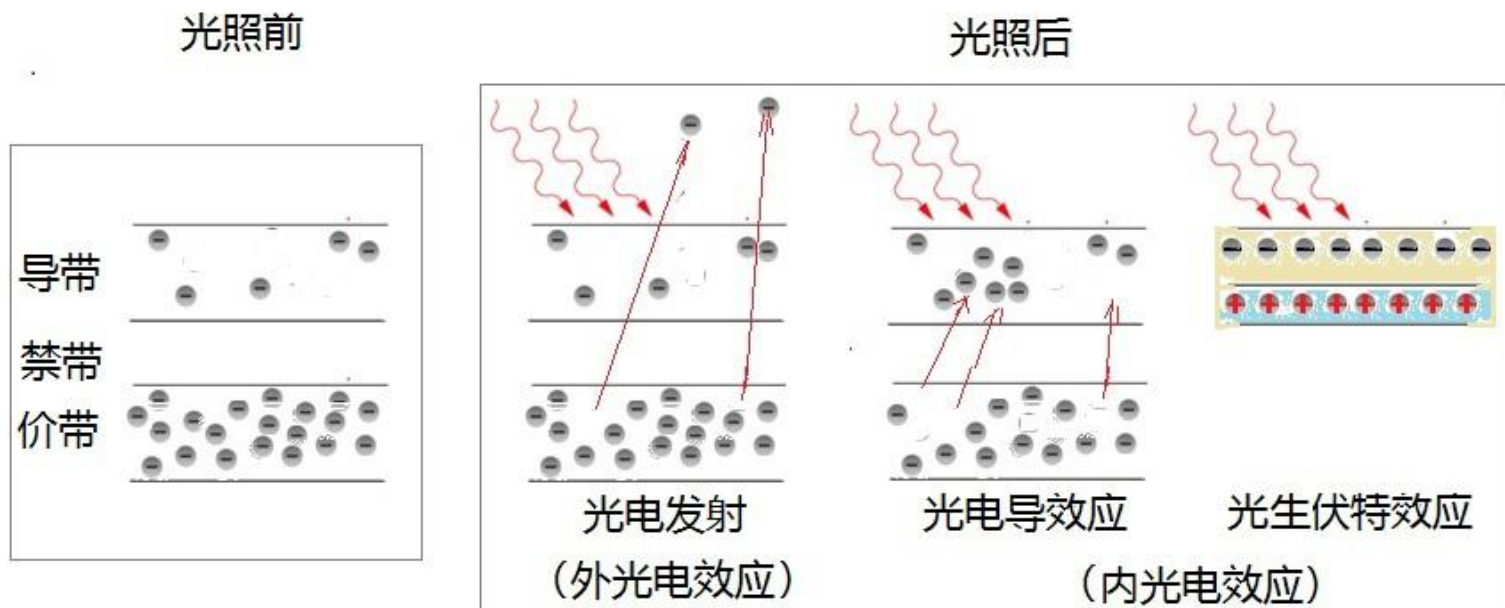
光子能量 = 移出一个电子所需的能量 + 被发射的电子的动能。





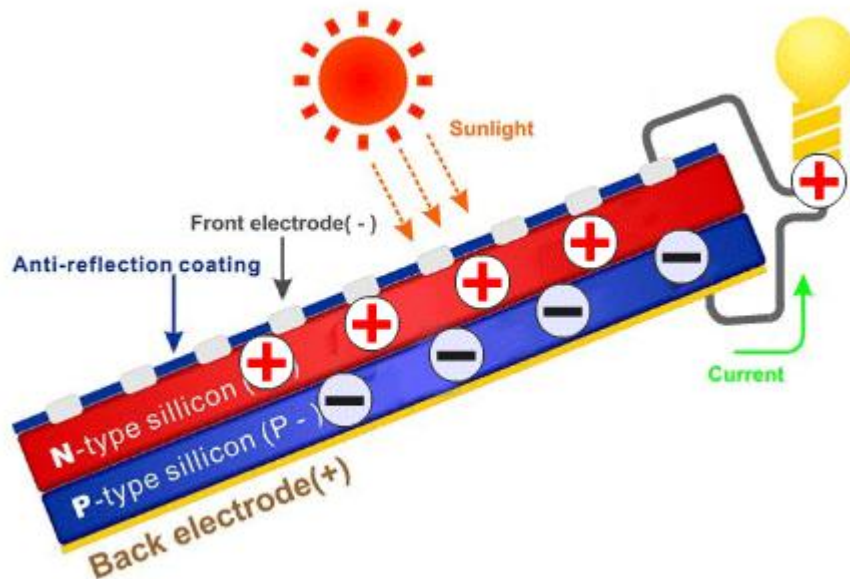
## ● 内光电效应：

内光电效应是由于**光量子作用**，引发物质电化学性质变化（比如电阻率改变，这是与外光电效应的区别，外光电效应则是逸出电子）。**内光电效应又可分为光电导效应和光生伏特效应。**



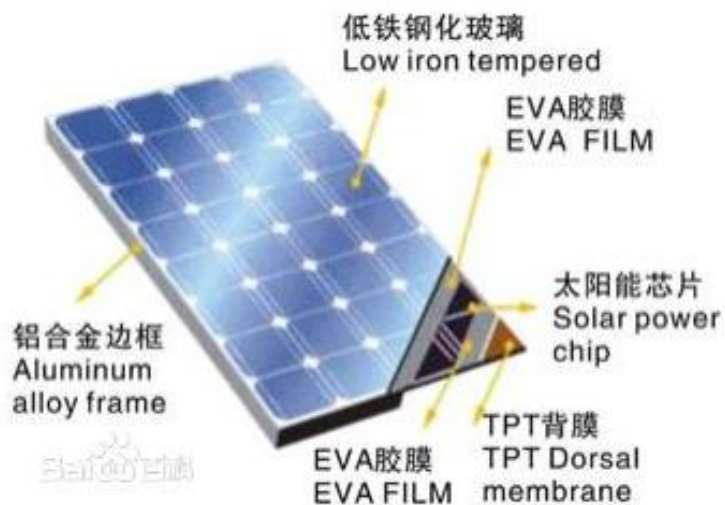
## ● 光伏效应

**光伏效应**：在半导体P-N结及其附近区域吸收能量足够大的光子后，**在结区及结的附近释放出少数载流子**（自由电子或空穴）它们在结区附近靠扩散进入结区，而在结区内则受内建电场的作用，电子漂移到N区，空穴漂移到P区，如果P-N结开路，则两端会产生电压。这种现象为光生伏特效应。





## ● 光伏效应应用



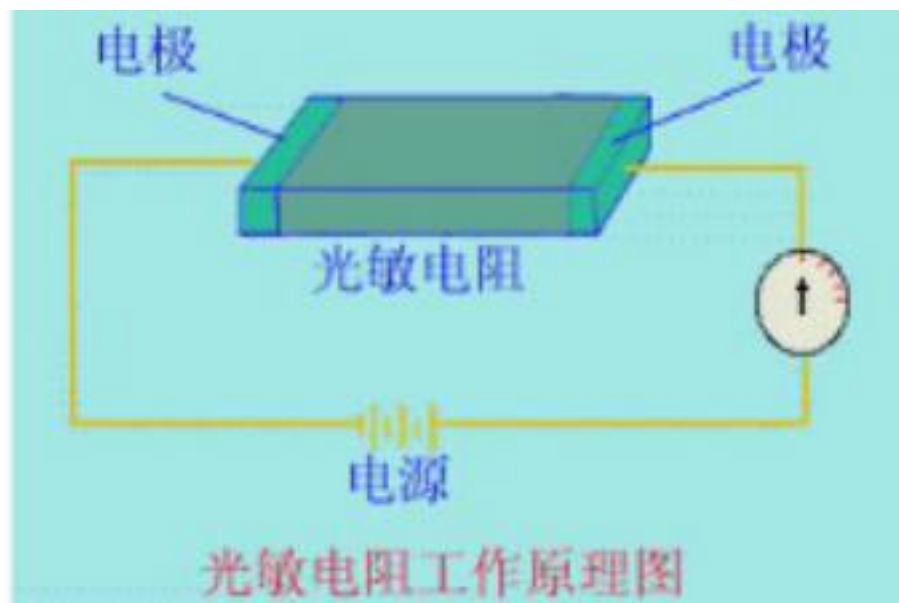
硅光电池照片

Ge、InAs、PbS、CdS等许多半导体材料都可呈现较明显的光生伏特效应，利用它们可以制作半导体红外探测器。此外，包括**光电池**、各种**光敏二极管**、**三极管**等，也都是基于光生伏特效应原理工作的。



## ● 光电导效应

**光电导效应**是指，半导体受光辐射时，电导率增加而使材料变得易于导电。该效应的机理是利用光子能量来产生自由载流子。利用光电导效应，可以制作各种光探测器，如光敏电阻、红外光电导探测器、光电导摄像管、高速光导开关、静电复印机的有机光电导体等。





## ● 光电导效应

光激发：产生空穴、电子，跃迁到导带。

杂质半导体：

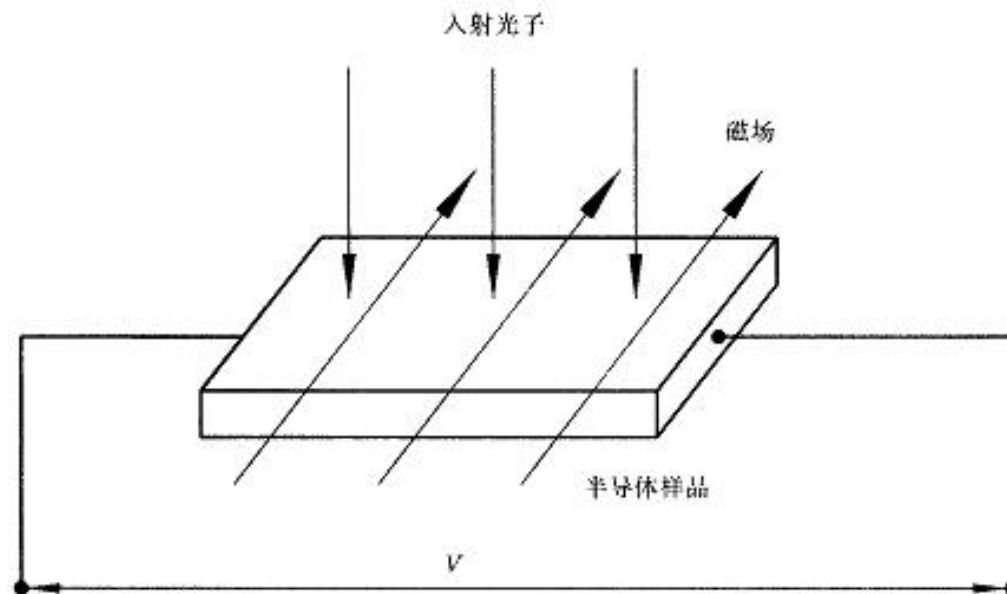
n型：施主能带靠近导带，电子获得足够能量进入导带参与导电。

p型：受主能带靠近价带，价带电子吸收光子能量跃迁受主能带，使价带产生空穴参与导电。

表征光电导效应主要有三个参数：灵敏度、弛豫时间（惰性）、光谱分布等。

## ● 光磁电效应

- **光磁电效应**：当红外光入射到半导体表面，如有外磁场存在，则半导体表面附近产生的电子-空穴对在半导体内部扩散的过程中，电子和空穴各偏向一侧，因而在半导体两端产生电位差，这种现象为**光磁电效应**。



利用光磁电效应可制成半导体红外探测器。这类半导体材料有 **Ge、InSb、InAs、PbS、CdS** 等。



入射光与材料的晶格相互作用，晶格吸收光能而增加振动能量，引起材料的温度上升，从而使材料电学参量发生变化。

- **电阻温度效应**

- **温差电效应**

- **热释电效应**



## (1) 电阻温度效应

- 原理：当吸收光辐射而温度升高时，金属的电阻会增加，而半导体材料的电阻会降低。从材料电阻变化可测定被吸收的光辐射功率。
- 利用材料的电阻变化制成的热探测器就是电阻测辐射热计。材料的电阻与温度的关系可用材料的电阻温度系数 $\alpha_T$ 来表征。



■ 实验研究发现，材料温度从 $T$ 改变到了 $T + \Delta T$ ，材料的阻值改变量 $\Delta R$ 只与材料的阻值 $R$ 及温度改变量 $\Delta T$ 成正比，即：

$$\Delta R = \alpha_T R \Delta T$$

当 $\Delta T$ 足够小时，则有： $dR = \alpha_T R dT$

由此得到电阻温度系数 $\alpha_T$ ：

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

■ 电阻温度系数 $\alpha_T$ 与材料的种类和温度有关，是描述测辐射热器材料的电阻值对温度变化灵敏程度的基本参数。当温度变化时， $\alpha_T$ 值越大，其电阻阻值变化就越大； $\alpha_T$ 值越小，其电阻阻值变化就越小。在室温下金属材料的 $\alpha_T$ 约为**0.0033**。半导体材料的 $\alpha_T$ 值约为**-0.033**；比金属材料的 $\alpha_T$ 值大一个数量级。





## 金属材料的特点

- 电阻温度系数多为正的
- 电阻温度系数绝对值小
- 电阻变化与温度变化的关系基本上是线性的
- 耐高温能力和稳定性较强
- 多用于温度的模拟测量。

## 半导体材料的特点

- 电阻温度系数多为负的
- 电阻温度系数绝对值大，比一般金属电阻大10~100倍
- 电阻变化与温度变化的关系基本上是非线性的
- 耐高温能力和稳定性较差
- 多用于辐射探测。例如防盗报警、防火系统、热辐射体搜索和跟踪等。



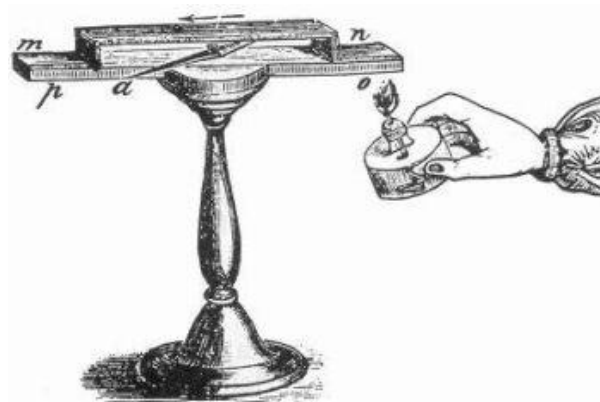
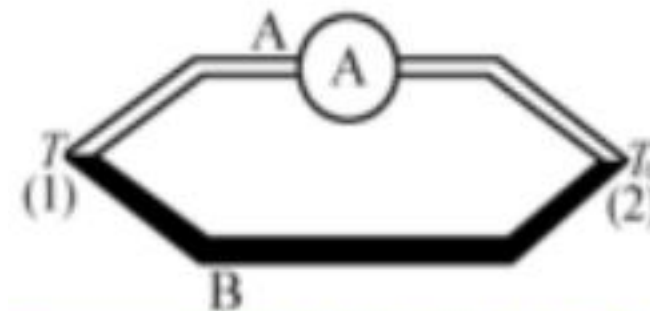
## (2) 温差电效应

- **第一效应：塞贝克效应 (seebeck)**：当由两种不同的导体或半导体组成闭合回路的两个结点置于不同温度(两结点间的温差为 $\Delta T$ )时，在两点之间就产生一个电动势；这个电动势在闭合回路中引起连续电流，这种现象称为塞贝克效应。其中产生的电动势称为温差电动势或塞贝克电动势，（1821年，德国物理学家塞贝克）。
- **第二效应：帕尔贴效应 (peltire)**：两种不同的导体构成闭合回路，当回路中存在直流电流时，两个接头之间将产生温差，两个接头处分别发生了吸放热现象。帕尔贴效应可以视为塞贝克效应的反效应。
- **第三效应：汤姆逊效应**：电流通过具有温度梯度的均匀导体时，导体将吸收或放出热量。这就是汤姆逊效应。

# 塞贝克效应 (seebeck)



*Thomas Johann Seebeck*  
(1780~1831)



基本定律:

- (1) 若A与B相同, 无论两接点温度如何, 回路总热电势为零;
- (2) 若 $T=T_0$ , 回路总热电势为零;
- (3) 热电势输出只与两接点温度及材料性质有关, 与A、B的中间各点的温度、形状及大小无关。



塞贝克电动势的原因：受热不均匀的两结点的接触电位差不同所致。

■ 由于不同的金属材料所具有的自由电子密度不同，当两种不同的金属导体接触时，在接触面上就会发生电子扩散。电子的扩散速率与两导体的电子密度有关并和接触区的温度成正比。

设导体**A**和**B**的自由电子密度为 $N_A$ 和 $N_B$ ，且有 $N_A > N_B$ ，电子扩散的结果使导体**A**失去电子而带正电，导体**B**则因获得电子而带负电，在接触面形成电场。这个电场阻碍了电子继续扩散，达到动态平衡时，在接触区形成一个稳定的电位差，即接触电势。

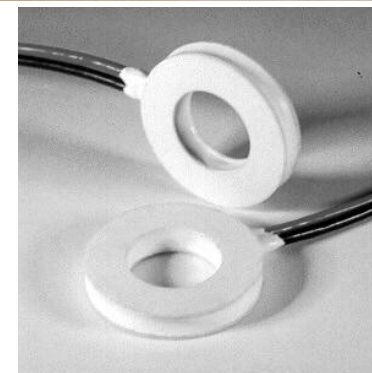
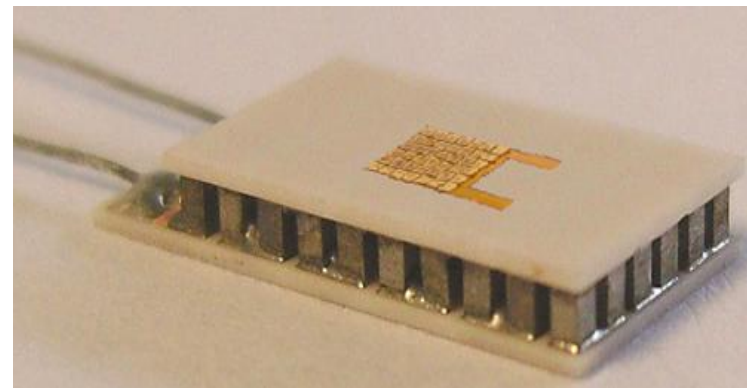


# 帕尔贴效应 (peltire )

半导体电子致冷元件——  
热电致冷器 (Thermo Electric cooling, 简称TEC)

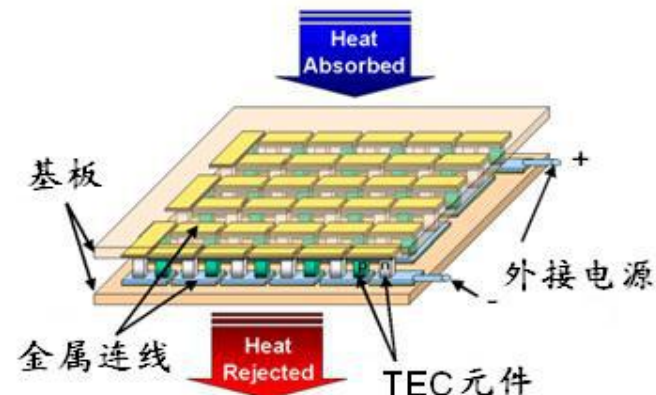
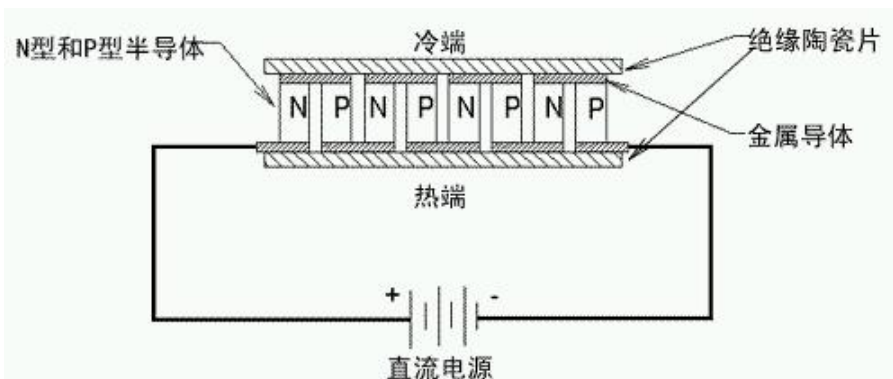


TEC套件 (TEC+直流电源), 可作为  
CPU和GPU的散热器



Model	couples	$U_{max}$	$I_{max}$	$\Delta T_{max}$	$Q_{max}$	Outer Diam(mm)	inner Diam(mm)
TEC1-09118T125	91	11	18	68	130	52	10
TEC1-09120T125	91	11	20	68	148	52	10





**TEC基本工作过程：**当一块N型半导体和一块P型半导体结成电偶时，只要在这个电偶回路中接入一个直流电源，电偶上就会流过电流，发生能量转移，在一个接点上放热（或吸热），在另一个接点上相反地吸热（或放热）。在TEC制冷片中，半导体通过金属导流片连接构成回路，当电流由N通过P时，电场使N中的电子和P中的空穴反向流动，他们产生的能量来自晶格的热能，于是在导流片上吸热，而在另一端放热，产生温差。

**帕尔帖效应的物理解释：**电荷载体在导体中运动形成电流。由于电荷载体在不同的材料中处于不同的能级，当它从高能级向低能级运动时，便释放出多余的能量；相反，从低能级向高能级运动时，从外界吸收能量。能量在两材料的交界面处以热的形式吸收或放出。

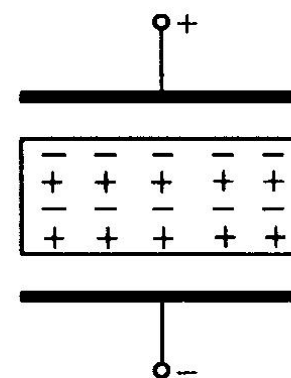
既可以用于致热，也可以致冷



## (3) 热释电效应

### 电极化现象

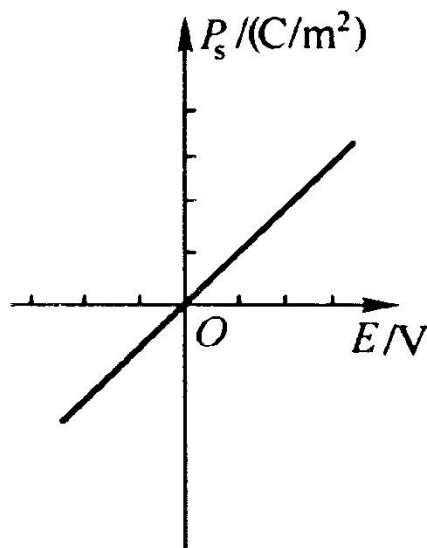
在外加电场的情况下，电介质内部带电粒子要受到电场力的作用，使其运动发生变化。例如，在如图所示的电介质的上下两侧加上电场后，电介质产生极化现象，从电场的加入到电极化状态的建立起来这段时间内电介质内部的电荷适应电场的运动相当于电荷沿电力线方向的运动，也是一种电流称为“位移电流”，该电流在电极化完成即告停止。



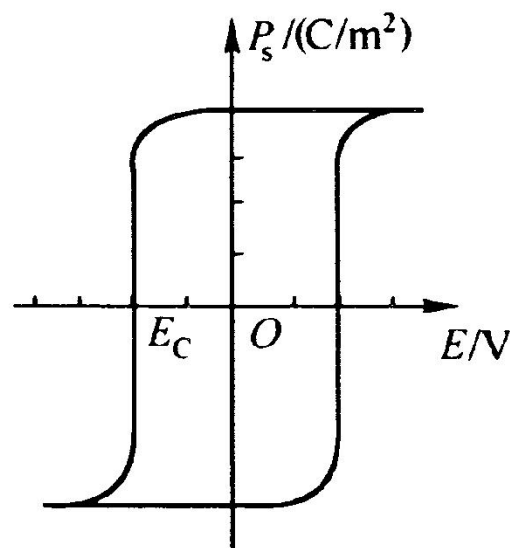
电极化现象



对于一般的电介质，在电场除去后极化状态随即消失，带电粒子又恢复原来状态。而有一类称之为“铁电体”的电介质在外加电场除去后仍保持着极化状态，称其为“自发极化”。图所示为一般的电介质与铁电体电介质的极化曲线。 $P_s$ —自发极化强度（单位面积上的电荷量）。一般的电介质的极化曲线通过中心，而图（b）所示的极化曲线在电场去除后仍保持一定的极化强度。



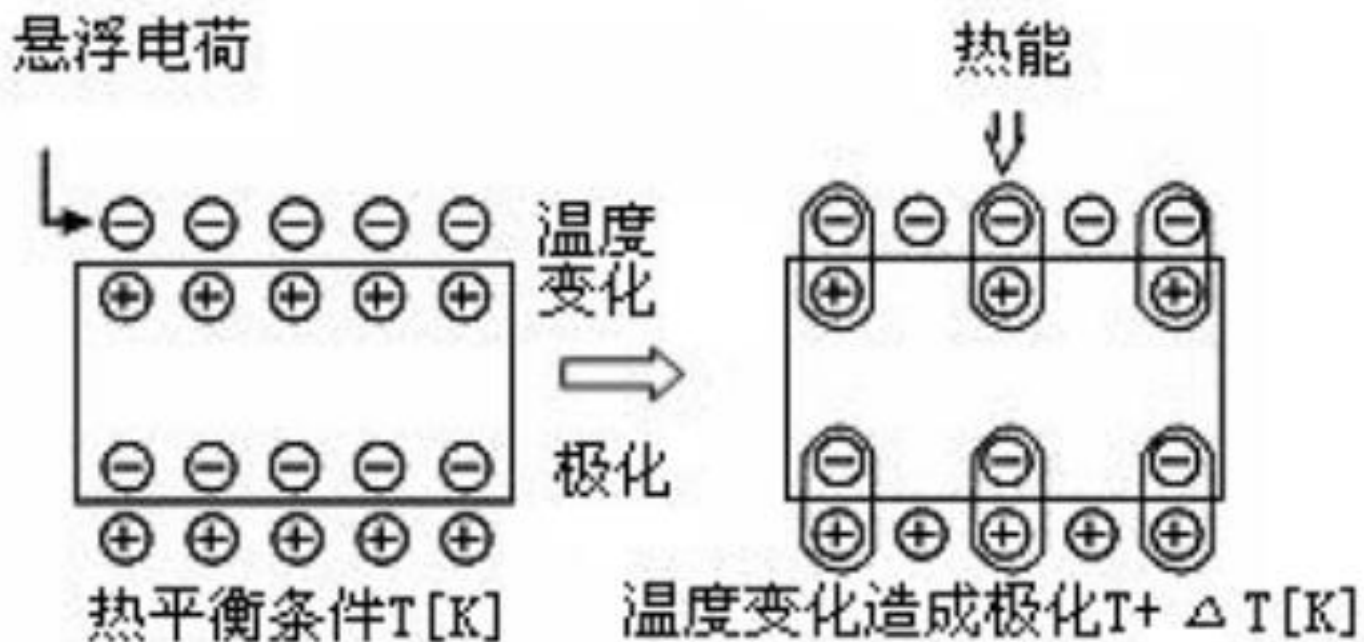
(a) 一般电介质



(b) 铁电体电介质

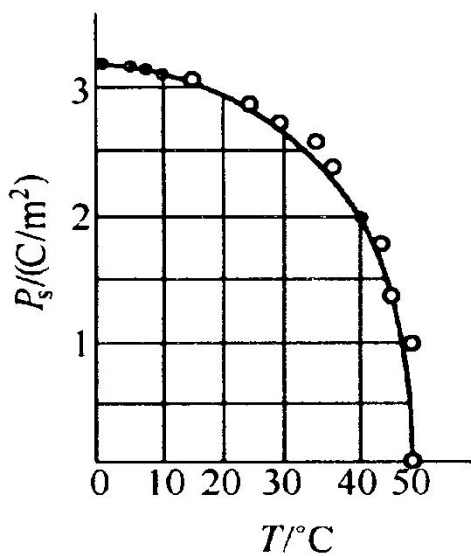


- 热释电效应: 对于具有自发式极化的晶体, 当晶体受热或冷却后, 由于温度的变化 ( $\Delta T$ ) 而导致自发式极化强度变化 ( $\Delta P_s$ ), 从而在晶体某一定方向产生表面极化电荷的现象。宏观上是温度的改变在材料的两端出现电压或产生电流。

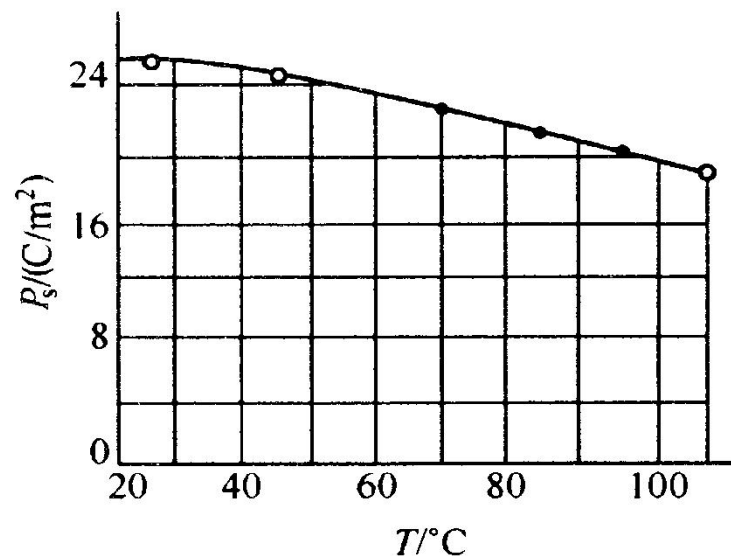




铁电体的自发极化强度 $P_s$ 与温度的关系如图所示，随着温度的升高，极化强度减低，当温度升高到一定值，自发极化突然消失，这个温度常被称为“居里温度”或“居里点”。在居里点以下，极化强度 $P_s$ 是温度 $T$ 的函数。利用这一关系制造的热敏探测器称为热释电器件。



(a) TGS材料



(b) BaTiO<sub>2</sub>材料

自发极化强度随温度变化的关系曲线



- **硫酸三甘肽 (TGS)、铌酸锂 ( $\text{LiNbO}_3$ )、铌酸锶钡 (SBN)**等晶体，受光照射时温度升高，从而在晶体的特定方向上由于自发极化随温度变化而引起表面电荷的变化。
- 当强度调制过的光辐射投射到热释电晶体上时，引起自发电极化强度随时间的变化，结果在垂直于极化方向的晶体两个外表面之间出现微小变化的信号电压，由此可测定所吸收的光辐射功率。
- 温度变化时，极化强度发生变化。温度升高时，自发极化强度变小。当温度等于某一特定温度 $T_c$ 时，极化晶体的极化强度为零，此时晶体发生相变。
- 对热释电探测器，希望 $T_c$ 越高越好。

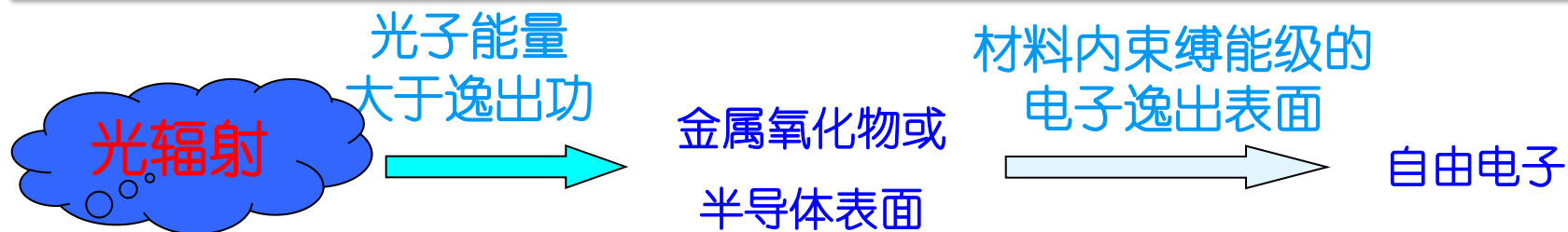


### 第三节：光电探测器分类

#### 光子探测器分类



#### 光电子发射探测器（外光电效应）



光电管、光电倍增管



#### 光电导探测器（光电导效应）



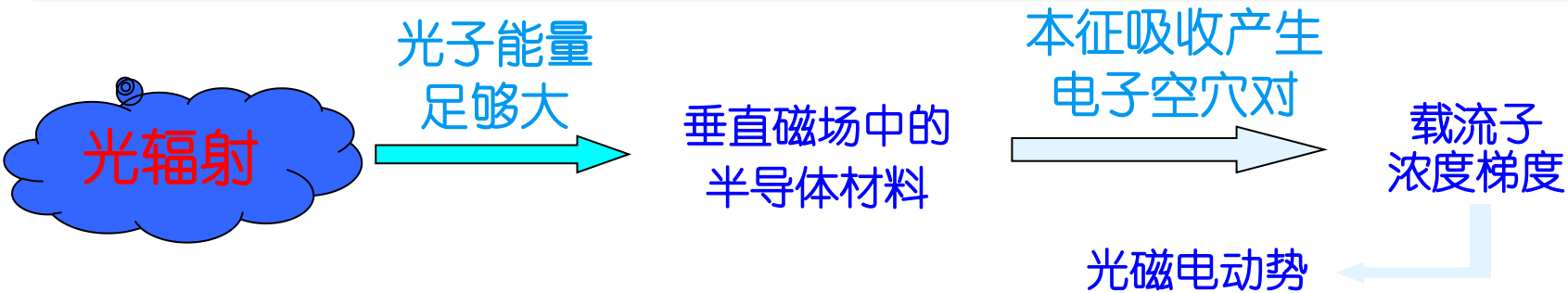


✚ 光伏探测器（光生伏特效应）



光电池、光电二极管、雪崩光电二极管、PIN管及光电晶体管

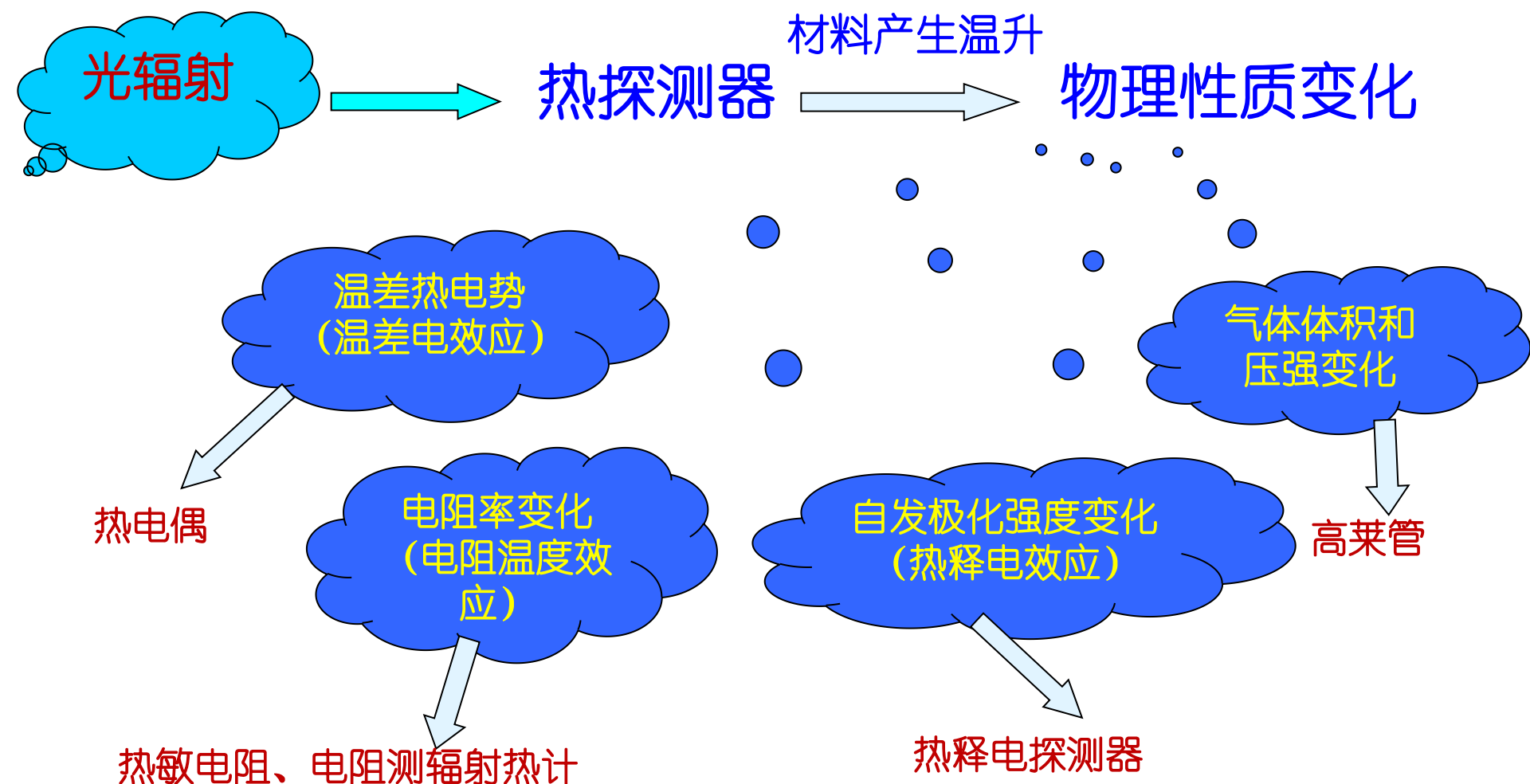
✚ 光磁电探测器（光磁电效应）







## ● 热探测器





# 光电探测器件

光子探测  
器件（基  
于量子效  
应）

外光电  
效应

光电管  
光电倍增管

内光电  
效应

光敏电阻  
（基于光电导效应）

光生伏特效应  
（基于光生伏  
特效应）

光敏二极管  
光敏晶体管  
光 电 池  
雪崩光电管

单晶型  
多晶型  
合金型

本征型  
掺杂型

这类器件特点：①.  
响应快,响应时间一  
般为几十纳秒到几  
百微妙.

热电探测  
器件（基  
于热效应  
）

热电堆  
热电偶  
热释电探测器  
热敏电阻

特点：①. 响应波长无选择性,对从可见光到远红外的各种波长的辐射同样敏感;  
②. 响应慢,吸收辐射产生信号需要的时间长,一般在几毫秒以上.

②. 响应波长有  
选择性,这些器  
件都存在某一  
截止波长 $\lambda$ ,若超  
过此波长,器件  
无响应.

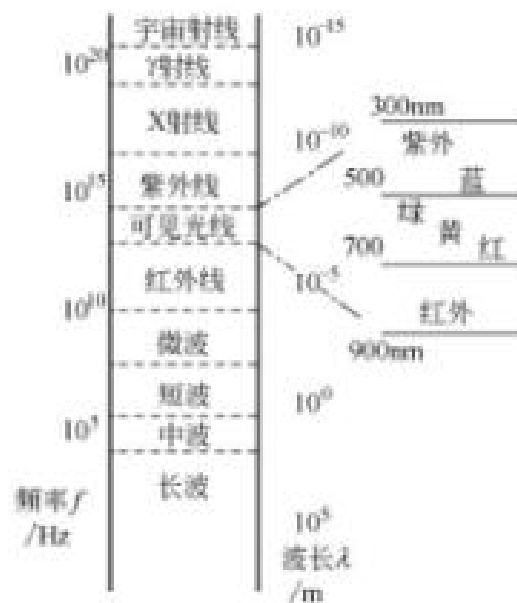


#### ● 材料的光学性能

光学传感技术由于其灵敏度高、抗电磁干扰、测量速度快等诸多优点而成为当今一种先进的感测技术。

光学传感技术一般基于光学反射、折射、透射、吸收、散射以及利用各种物理效应和敏感材料，可实现绝大多数物理量、化学量的检测问题。

人类眼睛可以看见的光称为**可见光**，其光的波长的范围约为 **$0.4\sim0.8\mu\text{m}$** ，仅占电磁波谱（ $10^{-5}\sim10^5\text{ m}$ ）中的一小部分，





## ● 关于光的速度

光在真空中的速度  $c \approx 300000\text{km/s}$ 。当光从真空进入较致密的介质材料时，其传播速度会降低。光在真空中的速度  $c$  与在介质材料中的速度  $v_{\text{材料}}$  之比，称为该介质材料的折射率，记作  $n$ ，

$$n = \frac{c}{v_{\text{材料}}}$$

材料的折射与其结构有关。对于各向同性的均质材料，只有一个折射率。当光通过材料时，光速不因传播方向改变而变化。当光通过某些晶体材料时，一般会分成振动方向相互垂直、传播速度不同的两条折射光线，即为**双折射现象**。这两条折射光线中，平行于入射面光线的折射率称为常光折射率  $n_o$ ，不随入射角大小的变化而变化，始终为常数。另一条与之垂直的光线的折射率不遵守折射定律，随着入射角大小而发生变化，称为非常光折射率  $n_e$ 。

## ● 光的反射

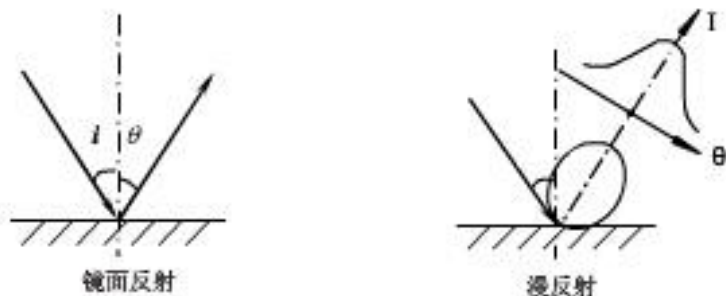
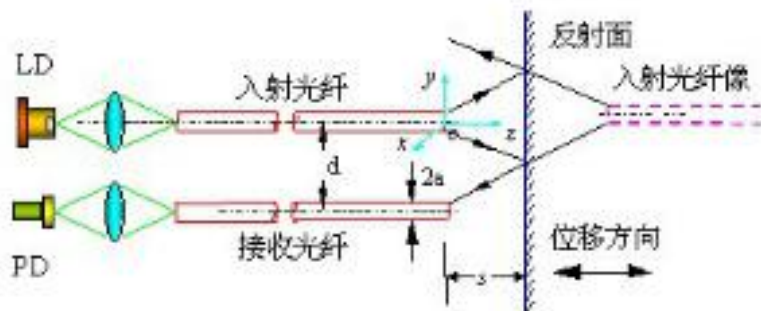


图3-1 镜面反射和漫反射情况

根据光的反射定律。由于粗糙表面上各点的法线方向不同，光线反射后，沿不同的方向射出，形成漫反射。大多数物体表面是粗糙的，由于漫反射的作用，我们能从各个方向看到它。





## ● 光的折射

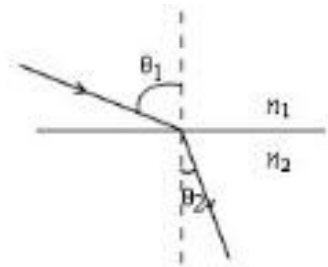


图 3-3 光的折射

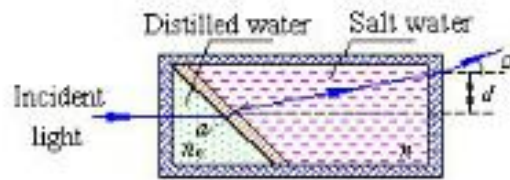
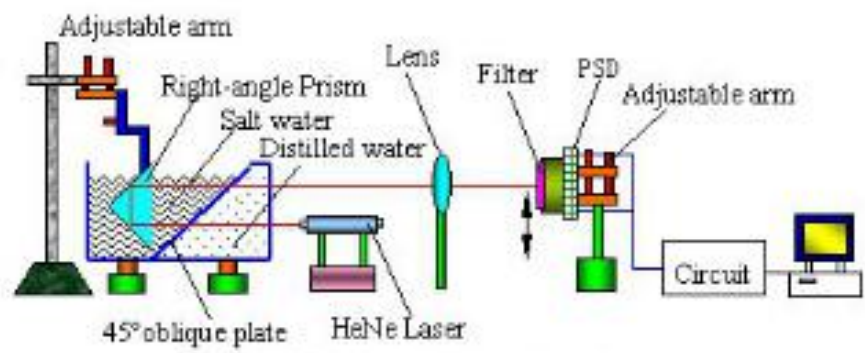
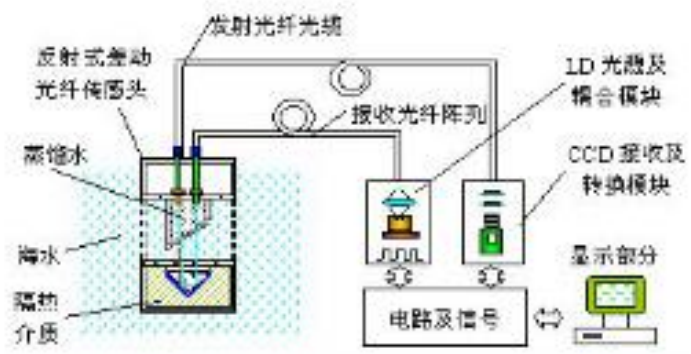


Fig 1 Salinity measurement principle based on optical refraction method

利用光学折射现象，可以实现液体浓度、成分含量的测量、气体或者液体折射率的测量。





## ● 光的色散与散射

材料的折射率随入射光的频率(或波长)而变化的现象，称为色散。

$$n = \frac{c}{v_{\text{材料}}}$$

光在材料中传播时，遇到不均匀结构产生的次级波与主波方向不一致，会与主波合成出现干涉现象，使光偏离原来的方向的现象，称为散射。诸如材料中小颗粒的透明介质、光性能不同的晶界、气孔等因素，都会引起一部分光束被散射，从而减弱光束强度。

对于相分布均匀的材料，光减弱的散射规律与吸收规律具有相同的形式，即：

$$I = I_0 e^{-s \cdot L} \quad (s \text{ 为散射系数})$$





## ● 光的色散与散射

太阳辐射通过大气时遇到空气分子、尘粒、云滴等质点时，都要发生散射。但散射并不象吸收那样把辐射能转变为热能，而只是改变辐射方向，使太阳辐射以质点为中心向四面八方传播开来。经过散射之后，有一部分太阳辐射就到不了地面。

如果太阳辐射遇到的是直径比波长小的空气分子，则辐射的波长愈短，被散射愈厉害。

空气状况好的晴天时，天空是蓝色的原因。

如果太阳辐射遇到直径比波长大的质点，虽然也被散射，但这种散射是没有选择性的，即辐射的各种波长都同样被散射。如空气中存在较多的尘埃或雾粒，一定范围的长短波都被同样的散射，使天空呈灰白色的。



## ● 材料的透射性

材料的透光性用光透过率来表征。所谓光透过率是指，光线通过材料后剩余的光能占原来入射时能量的百分比。光的能量可以用光照射强度来表示，也有采用放在一定距离外的光电管转换得到的电流强度来表示。

在光路上分别测出插入厚度为 $L$ 的材料前、后的光变电流强度 $I_0$ 和 $I$ 。

由于光既在材料的两个表面发生折射，又在材料内有吸收损失和散射损失，故有光透过率为：

$$\frac{I}{I_0} = (1 - R)^2 e^{-(\alpha + s)L}$$

( $R$ 为材料的反射系数)



## ● 光的吸收

本征光吸收、晶格振动吸收、自由载流子光吸收、杂质光吸收、激子光吸收、声子光吸收、双光子吸收、拉曼散射

- $h\nu > E_g$  本征光吸收

直接跃迁和间接跃迁

**晶格振动吸收：** 光频率和晶格振动模式频率相等，光吸收最大。

- $H\nu < E_g$

- 自由载流子光吸收

同载流子浓度成正比，波长平方成正比，表明自由载流子对长波长吸收严重。

- 杂质光吸收

- 激子光吸收

以上五种吸收中，只有本征吸收和杂质吸收能够直接产生非平衡载流子，引起光电效应。其他吸收都程度不同地把辐射能转换为热能，使器件温度升高，使热激发载流子运动的速度加快，而不会改变半导体的导电特性。

## ● 光电探测敏感材料的吸收机理

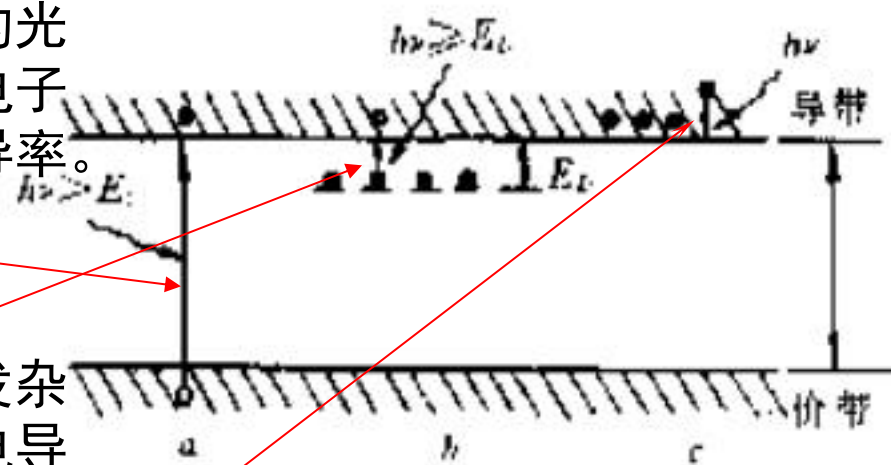
- **敏感材料的本征吸收**：入射辐射的光子能量大于半导体禁带宽度，使电子从价带激发到导带而改变其光电导率。

其优点是工作温度比非本征型高。

- **敏感材料杂质吸收**：入射辐射激发杂质能级上的电子或空穴而改变其电导率。其优点是长波效应较好。

- **敏感材料的自由载流子吸收**：材料吸收光子后不引起载流子数量的变化，而是引起载流子迁移率的变化。

这类器件常需要在极低温度下工作，以降低能量向晶格转移。

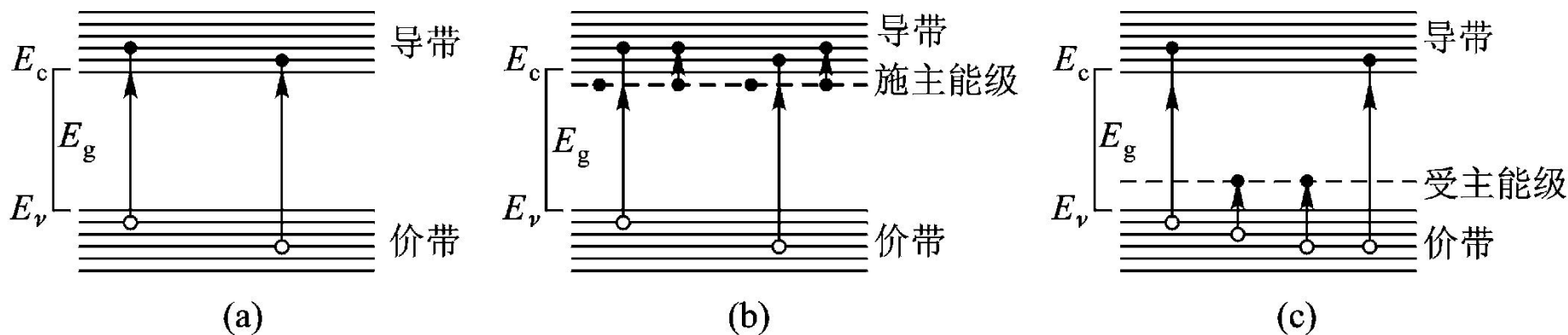


半导体的光激发过程

(a) 本征吸收；(b) 非本征吸收；(c) 自由载流子吸收



## ● 光电探测敏感材料的吸收机理



● 本征吸收  $h\nu_c = h\frac{c}{\lambda_c} = E_g$   $\lambda_c$  为长波限。

● 杂质吸收  $h\nu \geq \text{电离能} \leq E_g$

半导体对光的吸收主要是本征吸收  $\lambda < \lambda_c$

本征型光敏电阻的长波限:  $\lambda_L \leq \frac{1.24}{E_g} (\mu m)$

掺杂型光敏电阻的长波限:  $\lambda_L \leq \frac{1.24}{\Delta E_D} (\mu m)$

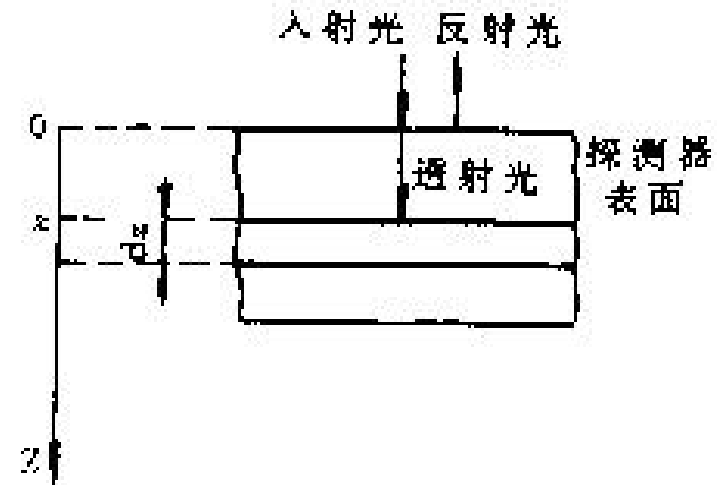
由于  $E_g \gg \Delta E_D$ , 所以掺杂型半导体光敏电阻对红外波段较为敏感。





## ● 敏感材料入射光强的衰减规律

辐射进入探测器后，辐照要逐渐衰减，若材料的吸收比为 $\alpha$ ，则在 $z$ 到 $z+dz$ 处，其辐照度衰减的量值可写成 $dE$ ，设探测器表面反射率为 $\rho$ ， $z=0$ 时入射到表面处的照度为 $E_0$ ，则有辐射度随厚度的衰减公式由此可见，**辐照度随厚度增加而呈指数衰减。**



入射光强随厚度变化

$$dE = -\alpha E dz$$

$$\frac{dE}{E} = -\alpha dz$$

$$E = E_0(1 - \rho)e^{-\alpha z}$$



## 1. 常见紫外敏感材料

GaN基( $E_g=3.4\text{--}6.2\text{eV}$ )、SiC( $E_g=2.9\text{eV}$ )、ZnO( $E_g=3.37\text{eV}$ )、TiO<sub>2</sub>( $3.2\text{eV}$ )、金刚石薄膜 ( $E_g=5.4\text{eV}$ ) 等宽禁带半导体，对紫外光有很强的吸收能力。

$$E=h\omega=\frac{2\pi hc}{\lambda}$$

宽禁带半导体材料作为紫外光电转换材料有如下几个优点：

- (1) 禁带宽，对波长短的紫外光很敏感，对波长较长的可见光和红外光不敏感，因此不受可见光和红外光的干扰。
- (2) 介电常数小、载流子迁移率高。
- (3) 耐高温、抗辐射。







2. 常见红外敏感材料

光子探测器		热探测器	
本征, PV	MCT	热敏	$V_2O_5$
	Si, Ge		多晶SiGe
	InGaAs		多晶Si
	InSb, InAsSb		Amorph Si
本征, PC	MCT	热电堆	Bi/Sb
	PbS, PbSe	热释电	Lithium Tantalite (LiTa)
非本征	SiX		Lead Zirconium Titanite (PbZT)
光发射	PtSi		Barium Strontium Titanite (BST)
量子阱	GaAs/AlGaAs	热容	Bimetals



## 专题论文:

查阅近年发表文献（原则上3年内），综述一种类型（紫外、可见、红外、太赫兹）光电探测器的研究现状及发展趋势。

字数要求：A4，小四，1.5倍行距，篇幅5-10页。

课程结束前务必提交。





## PPT报告：

**主题：光电探测器领域相关的研究或高新技术**

**自由组合，4人一组，每组15分钟；为了避免内容重复，在第10周上报PPT报告题目和小组成员。**

