



## 光电子技术(15)

### 三、光电法

光电法利用材料的光电效应，直接将光子能量传递给电子，使电子的状态发生变化，从而改变材料的导电特性，实现对光子能量的测量。光电法测量是本课程要重点讲授的内容，将介绍各种光电探测器的结构，光电转换过程和光电特性。

光电效应分类：内光电效应和外光电效应。

外光电效应：光子能量被电子吸收后，电子挣脱势能场的束缚，飞离原物质的效应，即光子激发出自由电子。

外光电效应被爱因斯坦作为光的量子特征的重要证据，他也因为成功地解释外光电效应而获得诺贝尔物理学奖。

红限波长：能够产生外光电效应的最长波长。



## 光电子技术(15)

所有的真空电子器件都是基于外光电效应的光电子器件。

内光电效应：物质中的电子吸收光子能量后，跃迁到较高能量态，但并不能挣脱物质势能场的束缚，只是改变物质的导电特性。

所有的固体电子器件都是基于内光电效应的光电子器件。

### § 4.2 真空光电管

真空光电管是利用外光电效应制造的一种光电探测器件。它由三部分组成：光电阴极、阳极和真空罩。

#### 一、光电阴极材料

光电阴极材料指能够产生光电子发射的材料。光电阴极是实现光电转换的场所。光子被光电阴极吸收后，激发光电阴极中的电子，使其逃出光阴极表面。

## 光电子技术(15)

优良的光阴极材料应具备的条件：

- (1) 光吸收系数大。
- (2) 光电子的逸出深度大。
- (3) 电子亲和势小，使表面逸出几率大。

常见光电阴极： (1) 紫外光电阴极，大多数金属。

- (2) 可见光谱光电阴极： 铯铷光阴极：灵敏度高，量子效率达20-30%，制作工艺简单，应用较多。

铯钾钠铷多碱光阴极：灵敏度很高，热发射电流很小，可见光谱范围光谱响应均匀。

III-V族半导体化合物负电子亲和势光阴极：不仅灵敏度高，而且长波阈值延伸到了红外，很好地满足了夜视技术的发展需要。

## 光电子技术(15)

光电阴极的分类： 把负电子亲和势发现以前的所有光电阴极按出现的先后顺序和窗口材料以“S-数字”的形式编号，如S-1表示镀在玻璃上的银氧铯光阴极，S-25表示镀在玻璃上的铯钾钠铷光阴极材料。

### 二、真空光电管的构造原理与分类

**构造：** 真空玻璃罩内放置光电阴极和阳极，阳极加正电压，收集阴极发射的电子。

真空光电管的分类： ①按受光位置分为侧面受光型（侧窗型）和顶部受光型（顶端窗式）。

②按光阴极结构分为透过型和反射型光电管。

③按阴阳极的相对设置分为中心阴极型和中心阳极型。

## 光电子技术(15)

### 三、工作特性

#### 1、灵敏度

灵敏度一般用量子效率或阴极光照灵敏度表示

量子效率：光阴极发射的光电子数与入射到阴极上的光子数之比

$$\eta = \frac{n}{N} \times 100\%$$

n为光电子数，N为光子数。

阴极光照灵敏度：单位光通量(lm)入射到光阴极所产生的光电流，单位为 $\mu\text{A}/\text{lm}$

$$R = I / \phi_v$$

#### 2、光谱响应特性 $R(\lambda)$

指光电管的单色光照灵敏度随波长的变化关系。它与阴极类型、

厚度、衬底材料和窗口材料有关。

#### 3、光电线性性

指保持光谱和阳极电压不变时，光电流随光通量的变化关系。如是线性的，则称线性的，反之称为非线性的。

影响线性性的主要因素：

①阴极发射过程产生光电疲劳，底层补充电子有困难；

②阳极不饱和接收。即不能接收来自阴极的所有电子。

### 四、常用真空光电管

#### 1、铯铷型光电管

多采用反射式结构，基底为钠钙玻璃，光照灵敏度在 $50\mu\text{A}/\text{lm}$ 以上。响应光谱在紫、蓝、绿波段。

## 光电子技术(15)

### 2、银氧铯光电管

对近红外波段较灵敏。但热噪声发射大，比铯铷型的大三个数量级。

### 3、铯钾钠铯光电管

多碱阴极的灵敏度高（>150uA/lm），光谱范围宽，响应曲线平坦，峰值波长在400-600纳米

### 4、碲铯型光电管

该光电管为日盲型，峰值响应波长在2000-3000埃紫外波段。

### § 4.3 光电倍增管

上节所述的普通光电管的增益小于1，灵敏度低，不能满足弱光的测量。而光电倍增管具有远大于一的增益，常用于弱光探测。

## 光电子技术(15)

### 一、二次电子发射与二次电子发射体

二次电子发射系数：
$$\delta = \frac{n_r}{n_p} = \frac{i_r}{i_p}$$

$n_r$ 和 $n_p$ 分别为二次电子发射体的发射和入射电子数。

二次电子发射体：具有二次电子发射能力的物体。常用做倍增电极。

对二次发射体的要求：（1）低电压下， $\delta$ 要大；

（2）热发射电流小；减小热发射噪声。

（3）发射要稳定，在较高环境温度下长时间稳定工作。

（4）制备容易，价格低廉。

常用倍增体材料（二次发射材料）

## 光电子技术(15)

- (1) 含碱倍增电极材料，主要有银氧铯和锑铯
- (2) 氧化物型，如MgO
- (3) 专用合金型，银镁、钴镁等
- (4) 负电子亲和势二次电子发射体。

### 二、光电倍增管的结构和工作原理

光电倍增管的结构如图79。由光电阴极、输入系统，倍增系统和输出系统组成。

设每级的二次电子发射系数 $\delta$ 相同，则输出电流为： $i_A = i_0 \delta^n$

光电倍增管的电流放大系数为： $\beta = \frac{i_A}{i_0} = \delta^n$

#### 1、光电阴极

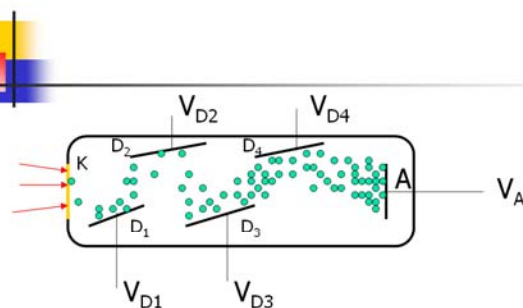


图79、光电倍增管结构。K为光电阴极；D<sub>1</sub>-D<sub>4</sub>为倍增电极，A为阳极，收集来自D<sub>4</sub>倍增极的电子。V<sub>D1</sub><V<sub>D2</sub><V<sub>D3</sub><V<sub>D4</sub><V<sub>A</sub>

## 光电电子技术(15)

实现光电转换，将光子转换为电子。

### 2、输入系统

由阴极与第一倍增极及设置在这两极间的辅助电极组成，它的作用是尽量全部收集光阴极产生的电子，并输入到后面的倍增系统。

### 3、电子倍增系统

倍增系统是光电倍增管的放大系统，由多级组成。倍增系统可分为聚焦型和非聚焦型。

(1) 非聚焦型：盒栅式和百叶窗式，如图79a所示。

(2) 聚焦型：圆笼式，端窗圆笼式和直列式结构，如图79b所示。

### 4、输出系统

## 光电电子技术(15)

由最后一级倍增级与阳极组成，收集倍增系统输出的电子。

### 三、光电倍增管的特性参数

#### 1、灵敏度

① 阴极灵敏度：用光照灵敏度表示，即单位光通量产生的光电流。

② 阳极灵敏度：指光电倍增管在一定工作电压下，阳极输出电流与入射到阴极面上的光通量之比。它与工作电压有关。

#### 2、放大倍数

在一定工作电压下，光电倍增管的阳极信号电流和阴极信号电流的比值，称为倍增管的放大倍数或电流增益。

$$G = \frac{i_A}{i_k}$$

G与倍增系统的级数和二次发射系数 $\delta$ 有关。

## 光电子技术(15)

### 3、暗电流

指无光照，加上工作电压时，阳极输出暗噪声电流的直流成份，它决定了光电倍增管可探测的最小光通量。暗电流主要由光阴极和倍增极的热电子发射引起，所以降低温度可以减小暗电流。

### 4、等效噪声能当量

暗噪声电流中的交流和脉冲分量构成了管子的本底噪声，此本底噪声决定了管子在闪烁计数中能够测量的最小辐射能量。

等效噪声能当量描述光电倍增管本底噪声的大小，定义为：

$$E_m = \frac{V_n}{V_s} E_r (KeV)$$

式中 $V_n$ -噪声脉冲电压， $V_s$ - $\gamma$ 射线照射下光电倍增管的输出脉冲信号电压， $E_r$ - $^{60}Co$ 的 $\gamma$ 射线的能量，为661KeV。

## 复习要点

- 1、内、外光电效应？红限波长？
- 2、真空光电管的结构，光电阴极材料的要求？常见光电阴极材料及其标记方法？
- 3、描述真空光电管的参数及其意义？
- 4、二次电子发射及二次电子发射体？光电倍增管的结构，工作原理，描述参数及其意义，工作电路？
- 5、倍增系统的结构？



## 作业十五

---

- 1、解释光电效应中的红限波长的物理起因？
- 2、解释光电倍增管的增益原理及产生增益的充分、必要条件？