



光电子技术(17)

4、频率特性

频率特性指光电池对不同重复频率的光脉冲的响应特性。由于光电池的结面积大，所以结电容大，频率响应慢。硅光电池的截止频率最高达10-30kHz，减小负载电阻可改善频率特性。

5、光电池的探测应用

指用光电池作为光探测器，由于光电池的输出功率很弱，不能直接带负载进行检测，所以光电池的输出信号通常要通过功率放大电路放大。常用放大电路如图。

6、太阳能电源装置

由于单片光电池的的输出电流很微弱，不能直接做电源应用。通常是将很多光电池通过串、并联组成光电池组，并与蓄电池组装在一



光电子技术(17)

起。实现24小时昼夜工作。通过串联提高电压，通过并联多个相同串联组获得大的输出电流。

太阳能装置的设计要求：

(1) 串联组中各片的面积要相等，并联的各组中的所串联的光电池片数应相同。

(2) 在蓄电池充电电路中应设置防逆流二极管，阻止蓄电池向光电池组放电。

(3) 蓄电池应有较长寿命，漏电小，价格低，维护简单。

7、太阳能装置的电压变换

通过倍压升压和通过直流-交流-升压-整流-滤波-高压直流输出



光电子技术(17)

二、半导体光电二极管

1、p-n结型光电二极管

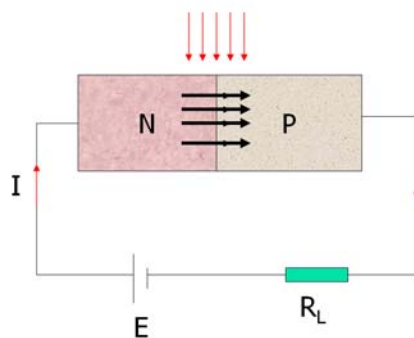
p-n结型光电二极管的结构实际上与光电池完全相同，只是反向应用而已。[如图所示](#)，光电二极管被反偏置，即工作在伏安特性曲线的第三象限，而光电池工作在第四象限。

2、PIN光电二极管

光电二极管的反向偏置电压主要施加在p-n结的耗尽层上，而非耗尽层的P、N端的电压降很小，电子在非耗尽区运动主要是靠浓度扩散，所以电子运动速度慢，导致普通p-n结型光电二极管的响应速度慢，响应时间在 10^{-7} s量级。为了改善p-n结型光电二极管的时间响应特性，发展了PIN型光电二极管。PIN型光电二极管的结构[如图所示](#)。



光电子技术(12)



光电二极管反向偏置



光子技术(17)

它由P、N型半导体间夹一本征半导体层，而P、N端的厚度很薄。所以，反偏置电压近似均匀分布在整个PIN结上，电子在电场作用下快速漂移运动，减小了电子的渡越时间，提高了响应速度。响应时间在 10^{-9} s量级。

3、雪崩型光电二极管

PIN型光电二极管具有快得多响应速度，但增益低。所以，发展了雪崩型光电二极管，它既响应快，又具有高的增益。所以具有高的光电灵敏度。接近光电倍增管。

雪崩二极管的结构和普通二极管的类似，只是在p-n结区增加了一个保护环，以提高p-n结的反向击穿电压。

雪崩二极管的工作原理：施加接近反向击穿电压的反向偏置电压，



光子技术(17)

使耗尽区的电场强度达 10^5 伏/厘米，光生电子在强电场加速下，获得高的动能，当与晶格发生碰撞时，使晶格电离形成二次电子。二次电子再被强电场加速，再次与晶格碰撞，使其电离产生二次电子，这个过程继续下去，称为雪崩过程，雪崩过程使电子数剧增，产生大的增益。

光电倍增因子定义为倍增光电流与未倍增光电流之比：

$$M_{pn} = \frac{i_{pm}}{i_{pno}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{V}{V_B}\right)^n}$$

式中 V_B 为反向击穿电压，n为1-3的常数，与材料断面和波长有关。

4、四象限探测器

光电子技术(17)

四象限探测器由四个性能完全相同的光电二极管拼在一起，用于精确定位和跟踪光束。结构如图**所示**。

5、肖特基光电二极管

指金属-半导体二极管。由于金属的电子浓度很高，所以肖特基二极管的耗尽层主要在半导体一侧。**如图**所示。

肖特基二极管通常通过金属端受光，所以，受光面大。

三、光电二极管的工作特性

1、光电灵敏度

在给定波长光照下，单位辐射功率产生的光电流，单位uA/W。

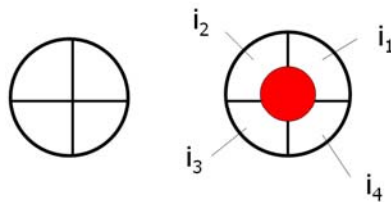
$$S = \eta q \lambda / hc$$

光电子技术(17)

四象限光电探测器



实物照片



四象限探测器结构及应用



光电子技术(17)

2、伏安特性

同光电池的一样: $I = I_s(e^{qV/kT} - 1) - I_\phi$

光电二极管均反向应用, 且 $|V| \gg kT/q$, 所以, 指数项为零, 即

$$I = I_s + I_\phi = I_s + S\phi$$

式中S为光电灵敏度 (uA/lm), ϕ 为辐射通量。

3、最高工作电压 V_{\max}

无光照时光电二极管中反向电流不超过规定值前提下管子上所允许的最高反向电压。

4、暗电流

无光照, 加一定的反偏电压时, 二极管的反向漏电流。

5、光谱响应特性



光电子技术(17)

指光电二极管的光电灵敏度随光波长的变化关系。

6、频率特性

指二极管响应随脉冲光的重复频率的变化关系。度量二极管的时间响应特性。影响频率特性的因素:

(1) 结电容。同样条件下减小负载电阻可提高响应频率。

(2) 光生载流子的扩散和漂移时间。

光电管参数例子

四、半导体光电三极管



光电子技术(17)

光电三极管组合了光电二极管的光敏性和三极管的电放大能力，所以，光电三极管是具有增益的光敏器件。

普通晶体三极管具有电流放大能力， $i_e = (1 + \beta)i_b$ 。光敏三极管就是将光电流作为三极管的基极电流，从而实现光电流放大。

光电三极管的结构多种多样，最简单的一种就是p-n-p⁺结构，p⁺端做集电极，将n-p⁺集电结作为光敏结。或n-p-n⁺结构，将n⁺端做集电极，p-n⁺结作为光敏结。其它结构视工艺、具体应用要求而定。



光电子技术(17)

§ 4.6 变象管和象增强器

变象管：把不可见光谱图象转换为可见图象的成象器件。

象增强器：增强微弱图象到可视亮度的成象器件。

象管：变象管和象增强器的总称。

一、象管原理

利用光电阴极将可见或不可见图象转换为光电子图象，利用具有成象和电子动能增强二合一功能的电子透镜或MCP将光电子图象增强并成象到荧光屏上，轰击荧光屏发出足够亮度的可见光谱图象。

二、象管的结构

象管由四部分组成：输入系统、电子光学成象和增强系统、输出系



光电子技术(17)

统和真空外壳，如图所示。

输入系统：由输入窗和光电阴极组成。窗口材料的透射光谱和光电阴极的响应谱共同决定了象管的光谱响应。

成象与增强系统：由静电场或静电磁复合场形成的电子聚焦、加速系统或MCP成象加速系统。

输出系统：由荧光屏和输出窗组成。荧光粉沉积在窗口玻璃上，在荧光粉表面渡有一层薄的铝膜，以便给加正压和导走电子。

真空罩：通常为玻璃或石英，维持内部超高真空。

三、象管的分类

象管有多种分类方法。



光电子技术(17)

1、按电子光学系统结构分类

按电子光学系统结构分类，象管可分为：

{	近贴型	
	{	定焦型二电极倒象管
		调焦型三电极倒象管
		变焦型四电极倒象管
{		电磁复合聚焦型

2、按研制年代分类

按研制年代和光电阴极材料，分类为：



复习要点

- 1、太阳能装置的组成，太阳能电池串、并联要求、电压变换？
- 2、p-n结型光电二极管、PIN光电二极管、雪崩光电二极管的结构、性能改进，特征？
- 3、四相限探测器、肖特基二极管的结构、特性？
- 4、p-n结型光电二极管的特性参数？
- 5、光电三极管的结构、特性？
- 6、何谓变象管与象增强器？结构、分类？



作业十七

- 1、PIN光电二极管改善频率响应特性的原理？
- 2、雪崩二极管的增益原理？

