

半导体光电转换器件——硅光电池*

北京崇文光电器件厂技术组

硅光电池也称为硅太阳能电池，它属于把光能转换成电能的半导体光电器件。

当前，硅光电池正日益广泛地在现代电子技术中发挥其特有的本领，起着重要的作用。例如纺织、机械、化工、交通、电影、印刷等工业部门以及卫生、科研、国防等方面都有大量应用。随着我国国防、科技和工农业的迅猛发展，硅光电池的应用范围将更加广泛。

本文就硅光电池的结构特点、工作原理、性能和应用几个方面作一简单介绍。

一、结构及工作原理

硅光电池是用单晶硅制成的一种光电池，目前硅光电池有2CR和2DR两种类型。2CR型硅光电池是在一块一定形状的n型硅片上用扩散的办法掺入一些P型杂质形成一个p-n结，然后做上正负两个电极焊出引线，在接收光的一面蒸镀上一层抗反射膜就制成了硅光电池（见图1）。2DR型硅光电池是用P型硅材料做基片，制造方法与2CR型相同。其特点是抗辐能力较2CR型强，可作为人造卫星能源，适合于外层空间使用。

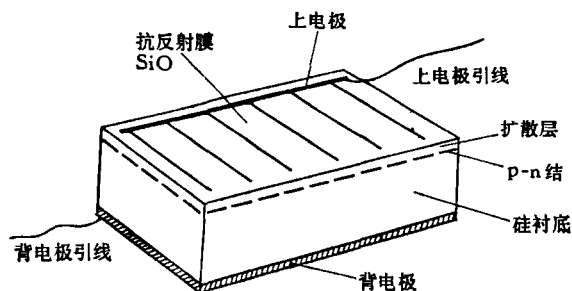


图1 硅光电池结构简图

硅光电池的工作原理是光生伏特效应，在热平衡下p-n结处能带弯曲，在势垒区，内电场方向由n区指向p区，当入射光线通过抗反射膜从扩散层表面进入时，被硅光电池所吸收，从而产生电子-空穴对。当产生的电子-空穴对扩散到势垒区边缘时被势垒内电场

分开，电子向n区移动，空穴向p区移动，此时在n区和p区两端则产生电压这就叫做光生伏特效应（如图2所示）。

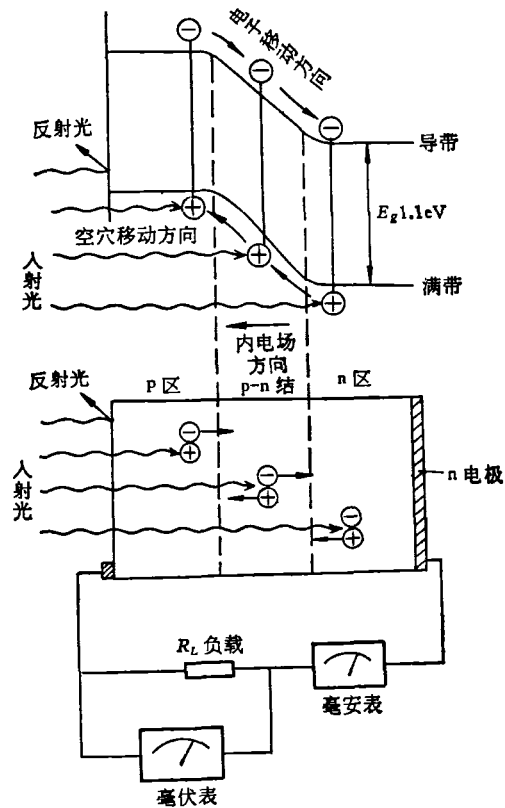


图2 硅光电池原理图

二、主要特性和参数

1. 开路电压与短路电流：

在一定光照和负载电阻为无限大的情况下，硅光

*1973年11月16日收到。

电池两端呈现的电压叫做开路电压,用 V_{oc} 表示,其大小与光强的对数成比例而与受光面积无关。在一定光照和负载电阻为零的情况下,硅光电池的输出电流叫做短路电流,用 I_{sc} 表示,其大小与光强近似成比例并与受光面积成比例。我厂生产的 2CR 型硅光电池,在 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 入射光照下, V_{oc} 约在 $450\text{—}600\text{mV}$ 之间,单位面积的 I_{sc} 约为 $16\text{—}30\text{mA}/\text{cm}^2$ 。图 3 表示 V_{oc} 和单位面积的 I_{sc} 与光强之间的关系曲线。

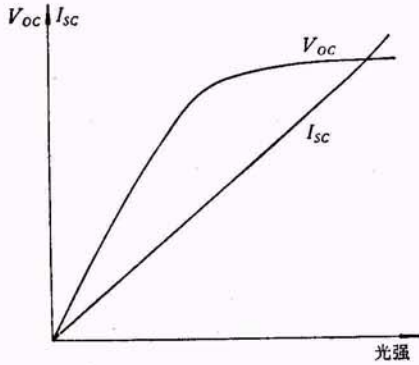


图 3 I_{sc} 与 V_{oc} 与光强关系曲线

2. 光谱特性:

对硅光电池来说,能产生光生伏特效应的波长范围大约是 4000 \AA 至 11000 \AA 。但对于各种不同波长的光,其灵敏度是不同的。在入射光能量保持一定的条件下,短路电流与入射光波长之间的关系叫做光电池的光谱特性。图 4 表示某一实测的相对输出光谱特性曲线。

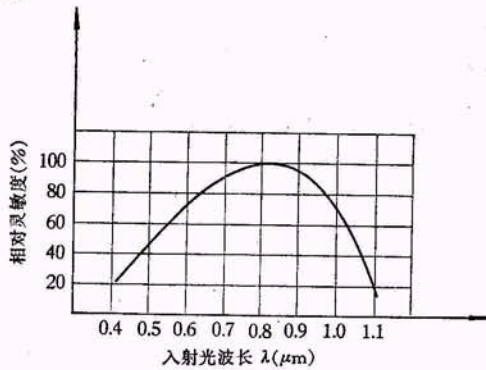


图 4 硅光电池光谱特性

硅光电池的积分灵敏度一般可达 $0.6\text{—}0.8\text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2\cdot\text{lux}$, 比硒光电池高一个数量级。

3. 转换效率:

在一定光照下,对于任一硅光电池均可求出一确定的匹配电阻值,以此电阻为负载时能获得最大输出功率。光电池的最大输出功率与入射光功率之比,叫做转换效率。硅光电池比其它一些光电池如硫化镉光

电池,硒光电池等的效率为高,目前最高可达 18%,接近于理论值(约 20%)。限制效率的主要因素是材料缺陷、反射损失、漏电损失及串联电阻等的影响。我厂生产的 2CR 型硅光电池,转换效率在 8—12% 以上。

4. 响应时间:

它表示硅光电池对于突变光照的反应速度,在实际应用时,它不仅与硅光电池本身的结构有关,而且与外接电路有关,一般约在 $10^{-3}\text{—}10^{-4}$ 秒范围内。

5. 温度特性:

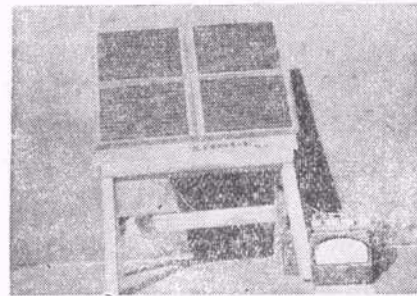
硅光电池的特性和参数与使用温度有一定关系。例如:随着温度的升高,开路电压下降(约为 $2\text{—}3\text{mV}/\text{C}^\circ$);效率也有所下降,光谱特性向长波方向移动,由此引起短路电流的温度系数在短波端为负,长波端为正。用白炽灯光实测,从室温升至 70C° , I_{sc} 略有上升。

三、应用举例

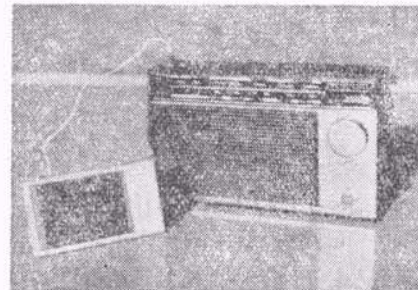
硅光电池的用途可分为两大类,其一是作为能源,其二是作为光电检测元件。

1. 能源:

将硅光电池按所要求进行组合,象化学电池那样经过串、并混联可做成具有一定电压电流和功率的硅光电池组,以代替化学电池可用于人造卫星、灯塔航标,农用黑光灯,无人气象站,野外高山仪器以及半导体收音机等。实际装置如图 5 所示。



(a) 能源充电器



(b) 半导体收音机电源

图 5 硅光电池实际装置

应用原理线路如图6所示,当有光照时靠硅光电池组给镍镉蓄电池充电,同时对负载供电,无光照时靠蓄电池给负载供电,线路中的D为保护二极管,作用是防止在光弱或无光时硅光电池电压降低时蓄电池反充。

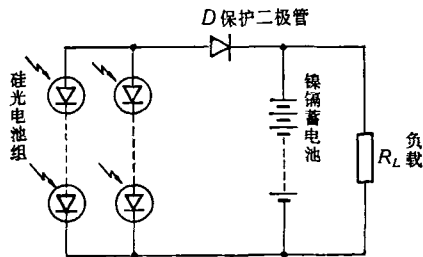


图6 充电原理图

2. 光电检测元件:

硅光电池对光很敏感,因此在自动控制中是很好的光电检测元件,可用于红外探测、光电输出、光电耦合、光电跟踪,特性识别等方面。硅光电池可做照度计、光度计、浊度计、比色计、烟度计等仪器的光信号接收元件,另外可用于电影还音;纺织行业的光电探纬、换梭、除疵等;还可用于航标灯,路灯自动开关;机床的安全保护自动控制,自动计数,印刷机控制双张等方面,下面略举数例作一介绍:

(1) 光电开关电路: 电路图7由硅光电池和两个反相器BG₁,BG₂构成。当有足够光照时硅光电池便产生较大的电动势,使BG₁管导通,BG₂管截止。当光线被挡住时BG₁管截止,BG₂管导通,继电器动作。为了使BG₁导通时BG₂可靠的截止,在BG₂发射极串入硅二极管2CP12,该管两端始终有0.7V左右的压降。若BG₁导通时u_{e1}≈0.3V则此时BG₂基极间约有0.4V的反向偏压,这样可以省去一个反向偏置电源。

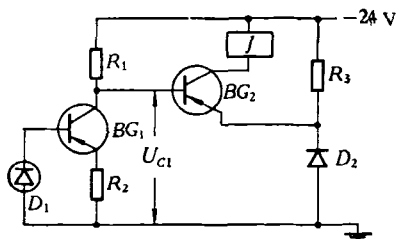


图7 光电开关电路

D₁: 2CR硅光电池; R₂: 20Ω;
D₂: 2CP12; R₃: 6kΩ;
R₁: 150Ω; BG₁, BG₂: 3AX31.

用这样的光电开关电路可以实现光电自动控制,如光电计数,冲床的光电安全保护,纺织工业中的送花机的棉花自动输送,光电探纬以及一切需要实现光电自动开关控制的地方。

(2) 用于电影机做还音元件: 图8是用硅光电池做电影机还音元件的输入电路图。原来D用的是光

电管,放大器是高阻抗输入的电子管电路,改用硅光电池后则要调整一下输入线路中的阻容元件,使其阻抗匹配,如图8中的R和R_e分别改成500Ω—1kΩ和200—300kΩ。

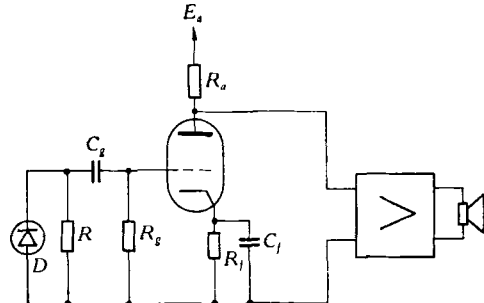


图8 电影机还音输入电路

D: 2CR21, 5×5mm² 硅光电池;
R: 500Ω—1kΩ;
R_e: 200—300kΩ。

硅光电池比光电管具有寿命长,体积小,效率高,便于保存等优点,但目前硅光电池的频率响应在高频端还不够理想,仍需在工作实践中试验、改进、提高,为发展我国的电影工业,宣传毛泽东思想做出新贡献。现在我厂生产的2CR21, 2CR31-34, 2CR41-44, 2CR91等几种型号的硅光电池,已被一些电影机的生产单位和

使用单位使用,效果较好。

(3) 桥式平衡控制器: 电路如图9(a)所示,图9(b)表示出光头示意图。此线路中用两片硅光电池做为同一光源的两个光电接收器,在正常工作时两片硅光电池输出信号用电位器W调至平衡,这时硅光电池对电路不起作用,即两硅光电池产生了大小相等方向相反的两个信号,迭加后为零。

使用时将样纸插口处放进待印纸样,再将要印的纸放入送纸处。此时如果上下两处纸都是单页,光的透过率近似相等,两硅光电池上同时产生大小相等极性相反的信号,电路仍为平衡状态。如果在送纸过程中出现双张、折迭等现象时,下光头接收的光就弱了,而上光头接收的光不变,两片硅光电池产生信号迭加的结果得一极性与上硅光电池相同的输出信号即加在BG₁基极上一个负的电位,使BG₁导通,BG₂趋于截止,BG₃导通,继电器J动作,发出故障信号或指示排除机构排除故障后再恢复工作。

(4) 电航标灯: 航标灯是夜航的标志,在我国漫长的海岸线上以及内河设置了数以万计的航标,以保证舰船的安全航行,以适应建立强大的海军及海上和内河运输的需要。图10是半导体单闪霓虹灯原理电路图,实际使用中还有双闪灯。这里以单闪灯为例主要说明一下光电控制部分所起的作用。

半导体单闪霓虹灯由多谐振荡器,缓冲触发器,可控硅无触点开关,直流变换器及日光开关等组成。

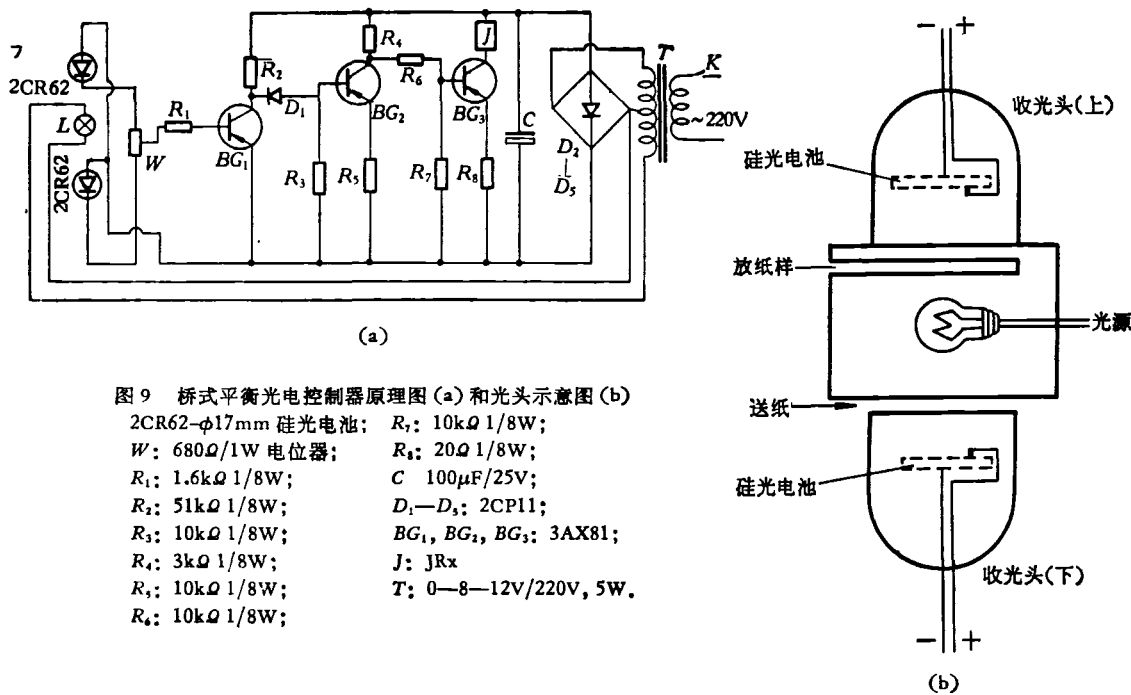


图9 桥式平衡光电控制器原理图(a)和光头示意图(b)
 2CR62-φ17mm 硅光电池; R_1 : 10kΩ 1/8W;
 W : 680Ω/1W 电位器; R_2 : 20Ω 1/8W;
 R_1 : 1.6kΩ 1/8W; C : 100μF/25V;
 R_2 : 51kΩ 1/8W; D_1-D_5 : 2CP11;
 R_3 : 10kΩ 1/8W; BG_1, BG_2, BG_3 : 3AX81;
 R_4 : 3kΩ 1/8W; J : JRx
 R_5 : 10kΩ 1/8W; T : 0-8-12V/220V, 5W.
 R_6 : 10kΩ 1/8W;

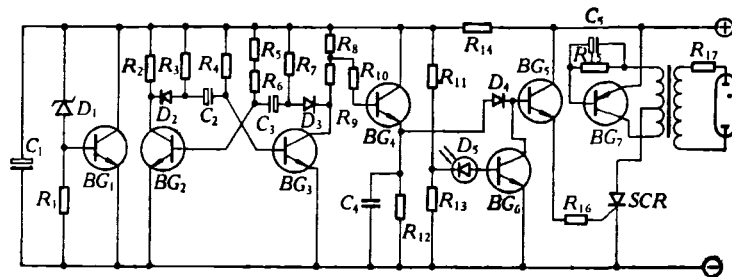


图10 半导体单闪灯原理图

- | | | | |
|------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| R_1 : 300—1kΩ; | R_8 : 2kΩ; | R_{15} : 1kΩ; | $D_1 \sim D_4$: 2CP15; |
| R_2 : 3.3kΩ; | R_9 : 1kΩ; | R_{16} : 100—1kΩ; | D_5 : 2CP21; |
| R_3 : 5.1kΩ; | R_{10} : 3kΩ; | R_{17} : 47k—1MΩ; | C_1 : 200μF/15V; |
| R_4 : 30kΩ; | R_{11} : 43kΩ; | D_1 : 2CW12; | C_2 : 22μF/6V; |
| R_5 : 18kΩ; | R_{12} : 470Ω; | $BG_1 \sim BG_6$: 3DG6A; | C_3 : 100μF/6V; |
| R_6 : 47kΩ; | R_{13} : 3kΩ; | BG_7 : 3AD30C; | C_4 : 0.047μF; |
| R_7 : 5.1kΩ; | R_{14} : 240—470Ω; | SCR: 3CT5A; | C_5 : 10μ/6V. |

由 BG_1, BG_2 组成多谐振荡器以保证明暗相间的闪光周期。由 BG_3, BG_4 组成缓冲触发器，用以防止日光开关及直流变换器对多谐振荡器振荡周期的影响。SCR 为可控硅无触点开关；由 BG_5 控制其工作状态。当 BG_5 导通时正电位加在 SCR 的控制极，使 SCR 导通，接通直流变换器电源，在 BG_5 截止时，SCR 是靠直流变换器内交流讯号负半周来关闭的。由 BG_6, BG_7 组成直流变换器，将直流电变成频率为 2—3 千赫的交流电，然后由变压器 T 升压供霓虹灯发光。

日光开关由硅光电池 D_1 与 BG_1 构成，白天阳光照射时，硅光电池 D_1 产生电压，它与 R_{15} 分压电压迭加使 BG_1 饱和导通，这就短路了 BG_1 的基极，使 BG_1 不能

去触发 SCR，因此灯不亮（白天多谐振荡器仍在工作）。晚间，硅光电池不产生电压， BG_1 截止，触发器 BG_1 基极不受影响，此时它由多谐振荡器控制去触发 SCR，使灯发出周期性闪光。此电路在傍晚或拂晓时，日光开关基本上不影响闪光周期，并消除了乱闪光的临界现象。

这样使航标灯天黑时发闪光，天明时关闭实现了自动化，从而大大减轻了航标工人的劳动强度，特别是在恶劣的条件下保证了航标工人的安全，同时舰船可以安全航行。

硅光电池是一种新型的半导体光电器件，随着我国科学技术的发展，必将在利用太阳能和自动控制的领域中发挥更大的作用。