

光敏可控硅及其耦合器

王景山

(中国科学院长春物理研究所)

光敏可控硅是一种特殊类型的可控硅。它有与电触发器件相同的伏安特性，但其触发方式则由光信号代替了电信号。这一特性，使光敏可控硅的触发迴路与功率负载回路之间可以实现完全的电绝缘，从而大大提高了自动控制系统的稳定性和可靠性。

近年来，为了能在高压直流传输线系统中得到应用，国外正在大力开发高功率($>2000\text{V}$, 1000A)的光敏可控硅^[1]。通过光导纤维使这种器件与发光二极管或半导体激光器相耦合，就可构成遥控无触点开关系统。这对高电压下使用无疑是一种既方便又安全可靠的器件，有着十分广泛而重要的应用前景。

一、器件的基本特性和工作原理

光敏可控硅是一种具有双稳态的器件。当触发极开路并且没有光照，而阳极与阴极之间的电压 V 低于某一阈值电压 V_{th} 时，器件处于高阻态，即“关”态；而当 $V \geq V_{th}$ 时，器件迅速

改变到低阻态，即“开”态(见图1)。这时把电压降低，使 $V < V_{th}$ 时，器件仍能保持它的通导态，直到其工作电流小于某一值时，才又恢复到“关”态。这个电流值称为维持电流 I_H 。

在阳极与阴极间的电压 $V < V_{th}$ 时，器件处于“关”态。此时如在控制极加一正的电脉冲，或者用一定强度与波长的光照射器件，也可使器件变到“开”态，并发现器件的阈值电压 V_{th} 随照射的光强增加而减少。图2示出了不同照度时器件的开通电压(即阈值电压)。由“开”态回到“关”态，只要使器件的工作电流降到维持电流 I_H 以下即可。

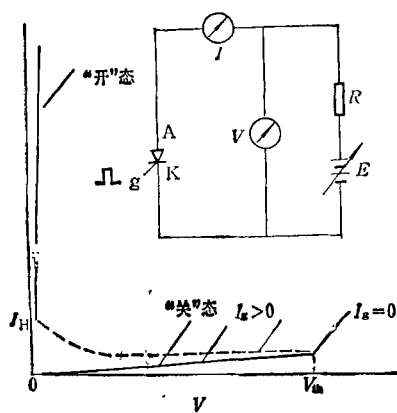


图1 光敏可控硅的伏安特性及测量线路

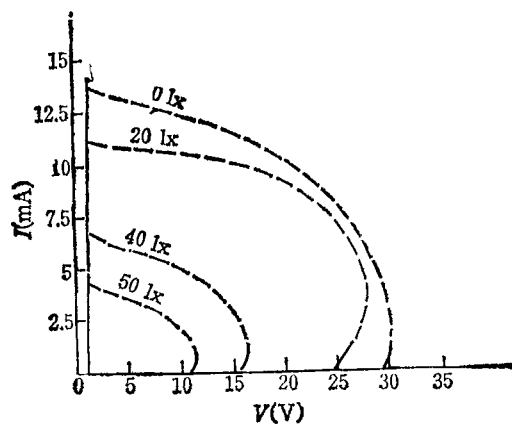


图2 不同照度下器件的阈值电压

光敏可控硅的工作原理与电控器件基本相同，仍可用双晶体管模拟法^[2]来说明。图3表明可把这种器件看成是由一个 pnp 晶体管 (BG_2) 和一个 npn 晶体管 (BG_1) 所组成。 BG_1 晶体管的收集极为 BG_2 晶体管提供基极驱动；而 BG_2 晶体管的收集极同控制极电流一起又为 BG_1 晶体管提供基极驱动。如果总的迴路增益大于 1，两个晶体管充分导通，可控硅就处于导通态。

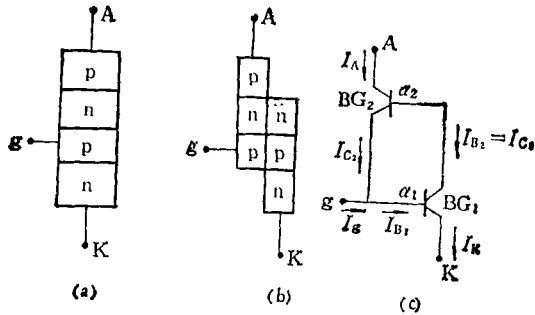


图3 可控硅的双晶体管近似

pn_p 晶体管 BG₂ 的基极电流为

$$I_{B_2} = (1 - \alpha_2)I_A - I_{CO_2}, \quad (1)$$

这里 I_{CO_2} 是晶体管 BG₂ 的收集极至基极结的反向饱和电流。这个基极电流 I_{B_2} 是由晶体管 BG₁ 的收集极提供的，而晶体管 BG₁ 的收集极电流为

$$I_{C_1} = \alpha_1 I_K + I_{CO_1}, \quad (2)$$

使 $I_{B_2} = I_{C_1}$ ，可得

$$(1 - \alpha_2)I_A - I_{CO_2} = \alpha_1 I_K + I_{CO_1}, \quad (3)$$

因为阴极电流 $I_K = I_A + I_G$ ，由(3)式得

$$I_A = \frac{\alpha_1 I_G + I_{CO_1} + I_{CO_2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad (4)$$

其中 α_1 、 α_2 分别为晶体管 BG₁ 和晶体管 BG₂ 的直流共基极电流放大系数。可以证明 α_1 与 α_2 一般都随电流增加而增加。(4)式分子中的所有电流分量都很小，所以 I_A 也很小。只有 $(\alpha_1 + \alpha_2)$ 接近或大于 1 时， I_A 才会突然变大，出现开关作用。

当然控制极电流也可由光激发产生。图 4 表示 npn 晶体管在光照正向偏置条件下的工作原理。基区的少数光生载流子电子被拉向收集区，而多数载流子空穴则被积聚在近发射结一边，而在靠近发射区的发射结另一边，也相应地有电子的积累。由于这种载流子的积累而引

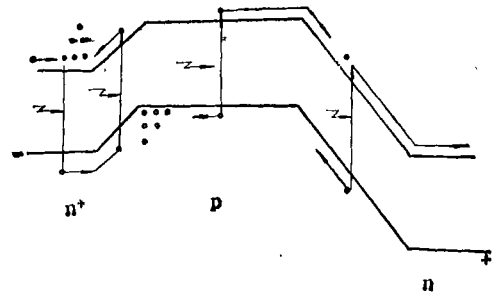


图4 npn 晶体管在光照正向偏置下的能带图

起发射结势垒的降低。这相当于在发射结两端加了正向信号，导致倍率为 α_1 的电子流注入。电流增加产生的 α_1 与 α_2 的变化一旦满足了 $(\alpha_1 + \alpha_2) \geq 1$ 的条件，器件就由“关”态而变成“开”态。光照取消也能维持其“开”态。

二、器件的参数和光电耦合器种类

我们对大量器件进行了测量。表 1 和表 2 分别列出了器件的电学和光学特性。

采用不同的器件制造工艺，也可得到几种特性不同的光敏可控硅器件。它们的不同点在于反向偏置时有不同的特性，有的截止，有的导通，有的则与正向偏置时有同样的开关特性。这与报导的某些电控器件相类似^[3]。

我们用具有上述几种特性的光敏可控硅与砷化镓红外发光二极管分别耦合，研制成几种光电耦合器（见表 3）。当然，对不同用途的耦合器，其中的光敏可控硅器件的参数应有一定的调整，以充分发挥其特点，更适合应用的要求。

总之，光敏可控硅器件是一种优良的光敏传感器件，已经作为光阈值开关、晨昏开关、报警系统和限位开关等方面有了很广泛的应用。

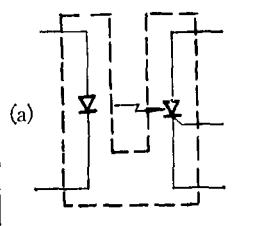
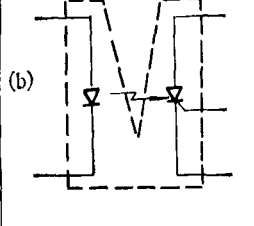
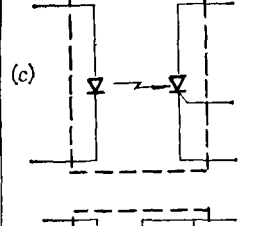
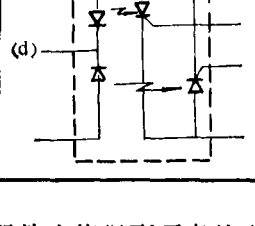
表 1 器件的电学参数

阈值电压 V_{th} (V)	暗电流 I_D (A)	维持电流 I_H (mA)	通态压降 V_0 (V)	最大工作电流 I_m (mA)	开通时间 t_{on} (ns)	关断时间 t_{off} (ns)	开关寿命 (次)
<150	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	<4	<2	50	36	20	>10 ⁶

表2 器件的光学参数

灵敏峰值波长 λ (μm)	灵敏光谱范围	暗电流 I_D (A)	光照阈值功率 (mW/cm^2)
0.85	可见光至近红外	10^{-6} — 10^{-8}	<30

表3 光敏可控硅耦合器

类型		使用条件	用途	特点
直通式	(a) 	直流维持电流以下; 阈值电压以下	光电记数,测速,光电报警, 位置监控,触发器等	高速、大 功率、多 用途
反射式	(b) 	同直通式	同直通式	同直通式
密闭式 (单组)	(c) 	阈值电压以下	光控无触点开关,显示中 存贮控制单元,触发器等	抗干扰、 速度快、 功率高
密闭式 (双组)	(d) 	阈值电压以下	控温、整流双路报警等	抗干扰、 速度快、 功率高

预期高功率器件也将得到更多的应用。

参 考 文 献

[1] V. A. K. Temple, *IEEE Trans. Electron Devices*

ED-30 (1983), 816.

[2] S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, John Wiley and Sons, Inc., (1969),

[3] H. Marriott et al., *Thyristor D. A. T. A. Book, Derivation and Tabulation Associates, Inc.*, (1975), 188.