

# 间接耦合光敏三极管的实验研究

何民才 黄启俊 陈炳若 黎明

(武汉大学物理系)

**摘要**——实验比较公用一个受光 PN 结结构的普通光敏三极管与间接耦合光敏三极管的光-暗电流比。结果表明间接耦合光敏三极管的光-暗电流比大于普通光敏三极管约两个数量级,显示出了注入光敏器件的优越性。

## 一、引 言

根据注入光敏器件原理<sup>[1]</sup>,我们已研制成间接耦合微光灵敏硅光敏管(或称微光探测器<sup>[2]</sup>,简称微光管)。它的灵敏度很高,在 0.1lx 照度下,能输出几 mA 至几十 mA 光电流,已成功地用于光纤传感等方面。本文对间接耦合光敏三极管和普通光敏三极管的光电特性作了比较。

## 二、原理与结构

结型光敏器件的基础是描述接受入射光的 PN 结(以下简称受光 PN 结)光电特性的位移近似<sup>[3]</sup>,

$$I_i = I_{sc} - I_0 \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right),$$

式中  $I_i$  是输出的光电信号电流,  $I_{sc}$  是受光 PN 结的短路电流,  $I_0$  是 PN 结的暗电流,  $V$  是 PN 结上的电压(外加偏压或光生电压)。普通光敏三极管的等效电路如图 1 所示,其光电流  $I_0$  应是受光 PN 结在反向偏压下输出的并经三极管放大的信号电流  $I_i$ 。根据式(1),有

$$I_0 = h_{FE} I_i = h_{FE} (I_{sc} + I_0), \quad (2)$$

式中  $h_{FE}$  是三极管的直流放大系数。从式(2)可看出,  $I_0$  中含有受光 PN 结的暗电流  $I_0$ 。由于受光 PN 结面积较大,  $I_0$  也大,这正是普通光敏三极管信噪比不高的根本原因。

假如让受光 PN 结开路,则式(1)变成

$$I_{sc} - I_0 \left( e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} - 1 \right) = 0, \quad (3)$$

这里  $V_{oc}$  是受光 PN 结的开路电压。式(3)左边第二项是流经 PN 结的注入电流,它与短路

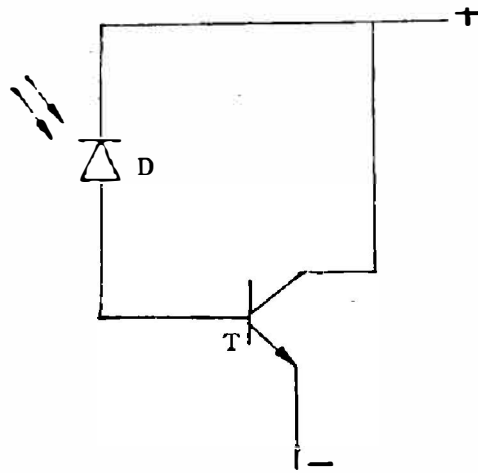


图1 普通光敏三极管的等效电路  
Fig. 1 Equivalent circuit of the conventional phototransistor.

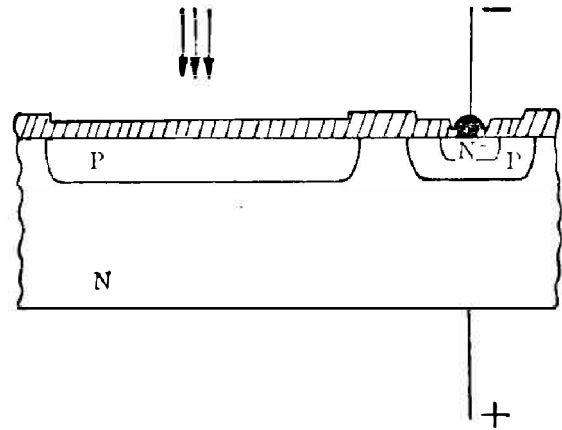


图2 间接耦合光敏三极管的结构示意图  
Fig. 2 Schematic construction of the indirect coupling phototransistor.

电流  $I_{sc}$  大小相等, 方向相反。若通过某种方法使一部分注入电流作为光电信号, 就能避免受光 PN 结在反偏压下受大暗电流的影响, 用这种方式做成的光敏器件就叫做注入光敏器件。间接耦合光敏三极管的结构示意图如图 2, 即在受光 PN 结的邻侧做一个面积很小的三极管, 在反向偏压下, 它便可以收集受光 PN 结的部分注入电流并将其放大, 形成间接耦合光敏三极管的光电流。虽然被收集的注入电流比受光 PN 结的短路电流小, 但由于小面积三极管的反向饱和电流比反偏下受光 PN 结的暗电流小很多, 因而提高了间接耦合光敏三极管的信噪比。

### 三、对比实验

为了正确比较普通光敏三极管和间接耦合光敏三极管, 把两种三极管设计在同一个芯片上, 并且共用同一个受光 PN 结。

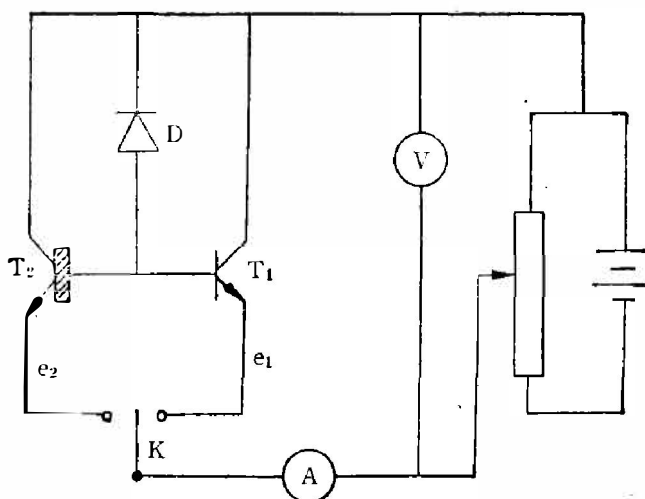


图3 普通光敏三极管和间接耦合光敏三极管复合结构等效电路及对比测量原理图

Fig. 3 Equivalent circuit of complex construction for indirect coupling and conventional phototransistors and the principle of measurement.

也就是, 在受光 PN 结内做一个发射区, 形成通常的光敏三极管, 再在这个受光 PN 结的邻侧做一个小面积的三极管, 构成间接耦合光敏三极管。把这样的芯片封装在一个管座内, 两种光敏三极管的发射极分别压焊在不同引线上, 以便比较测量。这种复合结构的等效电路及对比测试原理如图 3 所示, 图中 D 代表受光 PN 结, D 与  $T_1$  构成普通光敏三极管,  $e_1$  是它的发射极; D 与  $T_2$  构成间接耦合光敏三极管, 阴影方块代表耦合区,  $e_2$  是它的发射极。

首先使样品置于无光照条件下, 分别测出两个三极管的暗电流。当开关 K

接通  $e_1$  时, 可以测出普通光敏三极管的暗电流随偏压的变化, 将  $K$  连接  $e_2$ , 则可测出间接耦合光敏三极管的暗电流随偏压的变化。然后使  $D$  接受光照, 按同样步骤可分别测得两个三极管光电流随偏压的变化。由于  $T_1$  与  $T_2$  所占的面积比  $D$  小得多, 它们受到光照对测量结果的影响可以忽略不计。

#### 四、测量结果

按上述方法测得的两种光敏三极管的暗电流和光电流随偏压变化的曲线分别如图 4 和图 5 所示。 $I_{D1}$  和  $I_{D2}$  以及  $I_{C1}$  和  $I_{C2}$  分别代表普通光敏三极管以及间接耦合光敏三极管的暗电流和光电流。可以看出, 虽然间接耦合光敏三极管的光电流只有普通光敏三极管的四分之一, 但前者的暗电流比后者低得多, 因而前者的信噪比较高。

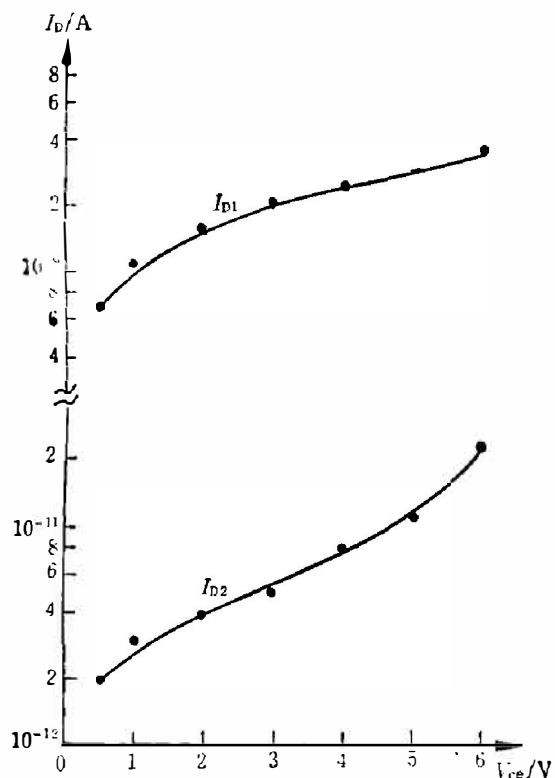


图 4 间接耦合和普通光敏三极管暗电流随偏压变化曲线

Fig. 4 Variation of dark current with reverse-biased voltage of indirect coupling and conventional phototransistors.

为了更好地比较两种光敏管, 我们引入了光-暗电流比的概念, 即在某一光照下的光-暗电流比为

$$\gamma = \frac{I_C}{I_D},$$

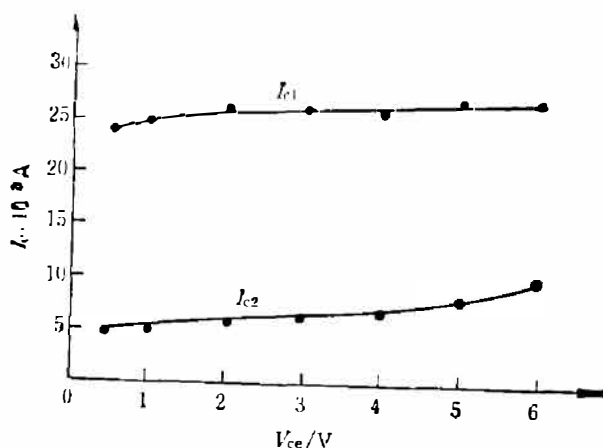


图 5 间接耦合和普通光敏三极管光电流随偏压变化曲线

$$(E_e(\lambda=870\text{nm})=2 \times 10^{-7}\text{W}/\text{cm}^2)$$

Fig. 5 Variation of photocurrent with reverse-biased voltage of indirect coupling and conventional phototransistors

$$(E_e(\lambda=870\text{nm})=2 \times 10^{-7}\text{W}/\text{cm}^2).$$

由此可以测出同一光照下两种光敏三极管的光-暗电流比。图 6 示出了两个三极管的光-暗电流比随偏压的变化,  $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  分别代表普通光敏三极管和间接耦合光敏三极管的光-暗电流比。由图 6 明显看出, 间接耦合光敏三极管的光-暗电流比约比普通光敏三极管大两个数量级。随着设计和工艺的改进, 间接耦合光敏三极管的光-暗电流比还可望进一步提高。

#### 五、结 论

通过间接耦合光敏三极管与普通光敏三极管光电特性的比较, 可以看出注入光敏器件的信噪比比普通光敏器件高, 因而是一种较好的光电探测器件。

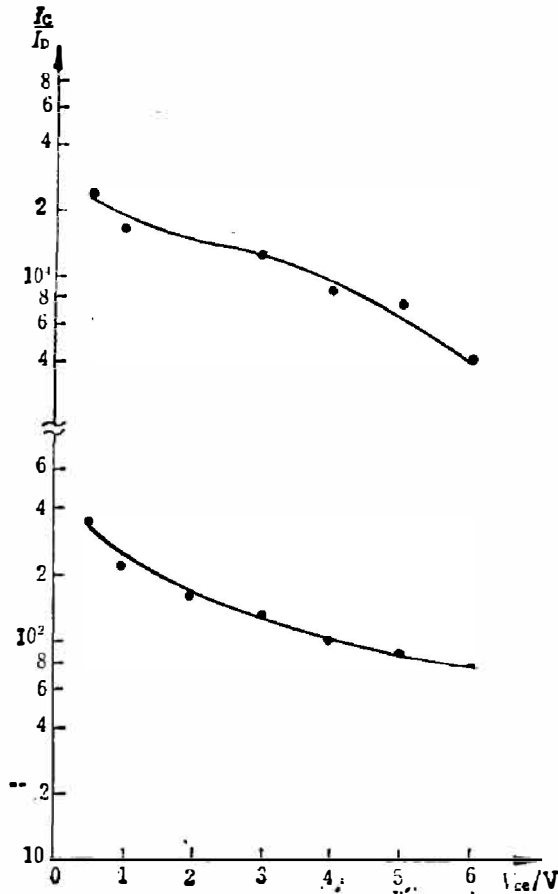


图6 间接耦合光敏三极管(上部)曲线和普通光敏三极管(下部)曲线光-暗电流比随偏压变化的曲线  
 Fig. 6 Variation of photocurrent-to-dark current ratio with reverse-biased voltage of indirect coupling (the lower part) and conventional phototransistors (the upper part)

### 参 考 文 献

- [1] 何民才, 注入光敏器件, 全国第四届化合物半导体和微波光电器件学术年会报告, 1986, 福建, 泉州。
- [2] 何民才、黄启俊、陈炳若, 微光探测器, 中国电子学会第四届年会, 1987, 北京。
- [3] Pankove J. I., *Optical Processes in Semiconductors*, Prentice-Hall, Inc., 1971, P. 304.

## EXPERIMENTAL STUDY OF INDIRECT COUPLING PHOTOTRANSISTOR

He MEINCAI, HUANG QIJUN, CHEN BINGRUO, LI MIN  
 (Department of Physics, Wuhan University)

### ABSTRACT

The photocurrent-to-dark current ratio of indirect coupling phototransistor is compared experimentally with that of conventional phototransistor. The same PN junction which converts the optical signal into the electrical one is used by both phototransistors. The experimental results express that the photocurrent-to-dark current ratio of the former is about two orders of magnitude larger than that of the latter, showing the advantage of the photosensitive device with injection model.