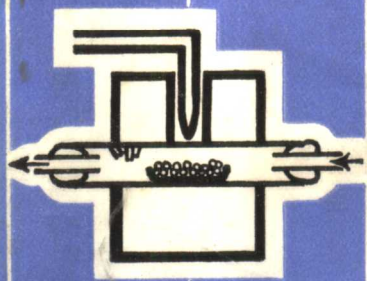


半导体手册  
第5编



# 特种 半导体 器件

河南科学出版社



科学出版社

基址

《半导体手册》第5編  
特种半导体器件

《半导体手册》翻译组译

科学出版社

1970

《半导体手册》第5编  
特种半导体器件

《半导体手册》翻译组译

\*

科学出版社出版

北京西直门外三里河路2号

北京市书刊出版业营业许可证出字第061号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1970年10月第一版 开本：787×1092 1/32

1970年10月第一次印刷 印张：2 7/8

字数：61,000

统一书号：15031·280

本社书号：3636·15-7

定价：0.23元

## 毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

外国有的，我們要有，外国沒有的，我們也要有。

对于外国文化，排外主义的方針是錯誤的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借鏡；盲目搬用的方針也是錯誤的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

## 譯 者 的 話

本书是根据〔日〕半导体手册編委会編《半导体手册》1963年初版本译出。内容包括半导体物理学、半导体材料、晶体二极管和晶体三极管的工作原理、晶体二极管和晶体三极管、特种半导体器件、晶体二极管和晶体三极管特性、半导体电路理论、线性放大、振荡、调制与解调、脉冲电路、数字电路、电源、微波电路、参量放大器、数据等16編。

本书于1966年已全部译完，因工作量较大，未能及时出版。最近，我们征求读者意见，认为做为一般了解和查阅半导体电子技术的参考书，还应出版。我们遵照毛主席关于“**洋为中用**”的教导，为适应读者的要求，又继续进行审查校对，现将其单行出版。

本书主要特点是将半导体基础知识和应用技术综合汇编在一起的半导体电子技术的资料性参考书。书中在基础知识方面涉及的范围较为广泛，在应用技术方面介绍的比较全面，各編重点不一样，仅供读者参考。

原书中主要缺点表现在：有些編的内容尚有形式化的数学推导较多，物理分析较少；有些編在讲解概念和理论分析上有些模糊；有些編在文字和数字上有错误；有些編则为一些资产阶级学术权威和厂商吹嘘、捧场；有些編内容是从别的资料中传抄过来的，未经过实践验证。我们遵照伟大领袖毛主席“一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收”的教导，加以删

节和校正。

本书在译校过程中，很多工厂、学校、科研单位给予了很大的支持和热情帮助，并提出不少宝贵意见，我们对这些单位表示衷心的感谢。

由于外文、专业知识的限制，在文字翻译及技术概念的表达上不免会有错误，又由于我们毛泽东思想学习的不够好，所以对原书中的其他错误观点及存在的问题，未能指出和很好的批判，恳切希望广大读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 光电器件</b> .....	(1)
1.1 光敏电阻 .....	(1)
1.1.1 光敏电阻的工作机构和光电导 .....	(1)
1.1.2 光敏电阻的种类和制造方法 .....	(4)
1.1.3 特性 .....	(7)
1.1.4 应用 .....	(9)
1.2 光电池 .....	(11)
1.2.1 光生伏特效应的机构 .....	(11)
1.2.2 光电池元件 .....	(15)
1.2.3 光电池的应用 .....	(20)
1.3 太阳电池 .....	(20)
1.3.1 太阳电池的基本工作原理 .....	(20)
1.3.2 太阳电池的构造和特性 .....	(23)
1.4 原子电池 .....	(27)
1.5 电发光 .....	(27)
1.5.1 电发光电池.....	(28)
1.5.2 电发光的特性.....	(29)
1.5.3 电发光的应用.....	(31)
<b>第二章 半导体电阻元件</b> .....	(34)
2.1 电阻器 .....	(34)
2.1.1 种类 .....	(34)
2.1.2 特性 .....	(35)
2.2 热敏电阻 .....	(37)
2.2.1 种类和制造方法 .....	(37)

2.2.2 特性 .....	(38)
2.2.3 应用 .....	(39)
2.3 变阻器 .....	(42)
2.3.1 种类和特性 .....	(42)
2.3.2 应用 .....	(44)
2.4 压电电阻器 .....	(45)
2.4.1 种类和特性 .....	(46)
2.4.2 应用 .....	(47)
<b>第三章 磁电效应元件</b> .....	(49)
3.1 霍尔器件 .....	(49)
3.1.1 工作机构 .....	(49)
3.1.2 种类和特性 .....	(52)
3.1.3 应用实例 .....	(57)
3.2 磁阻元件 .....	(61)
3.2.1 磁阻效应 .....	(61)
3.2.2 磁阻效应的应用 .....	(64)
<b>第四章 热电效应元件</b> .....	(67)
4.1 基本理论 .....	(67)
4.1.1 热电效应 .....	(67)
4.1.2 热电理论 .....	(70)
4.1.3 热电致冷理论 .....	(72)
4.2 热电元件材料 .....	(74)
4.2.1 单一热电元件 .....	(74)
4.2.2 复合半导体元件 .....	(77)
4.2.3 耐热热电元件 .....	(78)
4.3 热电元件及其应用 .....	(79)
4.3.1 温差致冷 .....	(79)
4.3.2 温差发电机 .....	(81)
4.3.3 其他 .....	(82)
<b>参考资料</b> .....	(83)



# 第一章 光电器件

## 1.1 光敏电阻

**1.1.1 光敏电阻的工作机构和光电导** 当光照射在半导体表面时, 半导体内的载流子就增加, 使半导体的电导率发生变化。这种现象称为光电导, 具有这种光敏性的物质称为光电导体。

光敏电阻是一种用光电导体制成的器件, 如图 5.1 所示, 加上一定电压后, 利用光照作用而使回路中的电流发生变化。

这个光敏电阻的工作机构就是对光电导的最好说明, 只要考虑一下半导体的能带图, 就能理解为什么半体会产生光电导。光照之所以使半导体的

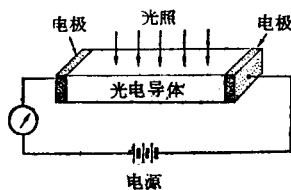


图 5.1 光敏电阻

的电导率增加, 是因为满带的电子被光激发到导带, 从而使导带的电子和满带的空穴浓度增加, 为此必须用能量大于禁带宽度  $E_g$  波长的光来照射, 也就是选定能满足下式中的波长  $\lambda$ 。

$$h\nu = \frac{12395}{\lambda[\text{\AA}]} \geq E_g[\text{eV}] \quad (5.1)$$

式中  $h$  是普朗克常数,  $\nu$  是辐照光的频率。例如, 就 Ge 来说, 因为  $E_g = 0.7$  电子伏, 所以从  $\lambda \leq 1.8$  微米的红外光就开始显示光电导。但是, 有些半导体即使处于能够产生电子空穴

对的波长范围内也不显示光电导特性。这是因为被激发的载流子虽然在外加电场作用下作布朗运动的同时也有流动，但立即被禁带中的能级俘获或复合，使载流子寿命  $\tau$  非常短。总之，要增大光电导效应，载流子的寿命必须比它在全长上移动的时间长得多。因此，光电导体的特性参数  $G$ ，必须以激发电子的寿命  $\tau$  与所产生的载流子在电极间运动的时间  $T$ ，之比来表示。设光电导体的长度为  $L$ ，截面积为  $S$ ，外加电压为  $V$ ，这时的电场强度为  $E$ ，根据电导率因光照而发生的变化  $\Delta\sigma$  计算光电流的变化  $\Delta I$ ，由欧姆定律可得

$$\Delta I = \Delta\sigma S \frac{V}{L} = \Delta\sigma SE \quad (5.2)$$

另一方面，设  $F$  为整个光电导体在单位时间内产生的电子空穴对的数目，应用下式

$$G = \frac{\tau}{T} \quad (5.3)$$

则

$$\Delta I = qGF \quad (5.4)$$

如果增大  $V$  或选用迁移率  $\mu$  大的半导体，则  $T$  缩短而  $G$  增大。要增大  $\tau$  来增大  $G$ ，可尽量选用复合中心的俘获截面和复合中心浓度都小的半导体。实用上多选用暗电阻大的半导体以便增大  $V$ ，从这一点来说，用 CdS 制成的光敏电阻较为有利， $G$  达到了  $10^4$ 。

[1] **光电导电流(光电流)** 在光电导体中，光电流  $I$  和外加直流电压  $V$  以及入射光强  $L$  (照度) 的关系，可用下式表示：

$$I = C \cdot V^\alpha \cdot L^\beta \quad (5.5)$$

电压指数  $\alpha$  的值最好接近 1。照度指数  $\beta$  在光弱时为 1，光增强时则变成  $1/2$  而趋向饱和。有时在这中间存在  $\beta \geq 1$  的范围(超线性)。 $\beta$  因光强而发生这种变化，是由于有效的陷

阱能级的位置不同的关系。

[2] **光谱灵敏度** 如前所述, 根据光电导性预期的光谱灵敏度在长波方面的临界波长是能量相当于禁带宽度  $E_g$  的波长。但是经过实际测量,

Ge 的光谱灵敏度如图 5.2 所示, 曲线末端伸延到 1.9—2.0 微米处。这种情况表明, 即使长于临界波长的光也能产生光电导特性, 其原因可能有以下几点。第一, 虽不足相当于临界波长的能量, 但吸收了晶格的热振动能, 使能量的总和等于临界波长能量。第二, 禁带宽度  $E_g$  对

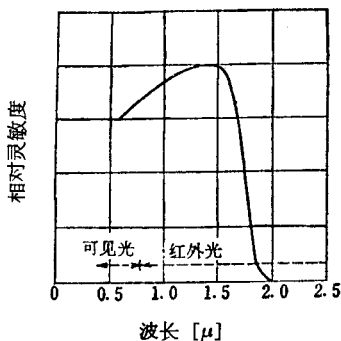


图 5.2 Ge 的光谱灵敏度

于该光电导体不是绝对的, 会由于局部变动而出现小于  $E_g$  的部分, 当该部分吸收光时, 便能以波长长于临界波长的光产生电子空穴对。此外, 把施主杂质或受主杂质引进光电导体, 并在杂质原子不致预先被热电离的温度范围内使用时, 可以增大长波方面的光谱灵敏度。

短波方面的衰减情况是这样, 当入射光的波长减短, 它的能量值相当于从满带底到导带顶时, 光电导性才消失。但是, 通常在波长长于这个波长时, 光电导性就消失了。其原因是在于进行激发的照射光的波长减短时, 载流子被激发的几率增大, 光在表面的薄层中被吸收, 使载流子密集在紧靠光辐照的表面下, 结果复合速度增大, 大部分载流子的平均寿命缩短, 来不及对光电导作出贡献。

[3] **时间常数** 光导体并不是在受到光照时立即产生光电流, 而停止光照时, 光电流也不是立即完全消失, 它具有

如图 5.3 所示的时间延迟现象。这个延迟时间称为时间常数,根据不同使用目的,用达到稳态电流的半值或 $(1-1/q)$ 时的上升时间和衰减时间来表示。由图中可以看出,时间常数依照度而异,光照越亮则越短,光照越暗则越长。一般来说,光敏电阻的缺点是能够响应的最高频率比其他光电器件低。

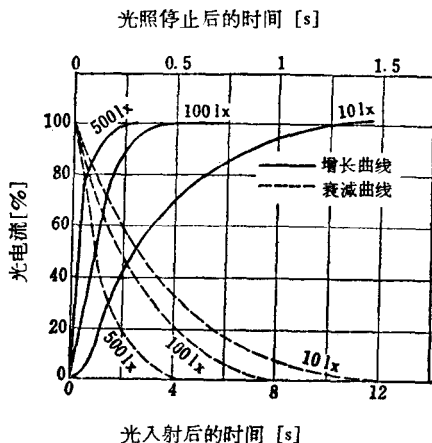


图 5.3 CdS 光敏电阻的光电流增长和衰减特性

**[4] 暗电流** 把光敏电阻放在黑暗中时,有微小电流通过。这种电流称为暗电流,是由存在于浅能级的载流子被热能激发到导带上而产生的。为了增大上述增益  $G$ ,使用暗电流小的光电导体制作光敏电阻较为有利。

### 1.1.2 光敏电阻的种类和制造方法

**[1] 光敏电阻的种类** 具有光电导性的物质的种类甚多,但要用来制造光敏电阻却要受到各种限制,实际应用的光电导体材料如表 5.1 所示。用这些材料制成的光敏电阻的光谱灵敏度的范围各不相同,难以简单地比较它们的性能,目前在可见光区多使用 CdS 光敏电阻,在红外光区多使用 PbS 光

## 敏电阻。

表 5-1 光电导体材料

单 质	Se,	Ge,	Si
氧 化 物	ZnO,	PbO	
Cd 化 合 物	CdS,	CdSe,	CdTe
Pb 化 合 物	PbS,	PbSe,	PbTe
其 他	InSb,	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	

**[2] 制造方法** 因吸收光而产生的载流子只限于光电导体的表面层，因此光电导率的变化也发生在这一部分。当然载流子或多或少要扩散到内部，但其距离最多不过 1 毫米，所以要提高光敏电阻电导率的变化，光电导体的厚度越薄越好。

光敏电阻的电极应选用能形成欧姆接触的材料，用真空蒸发法或喷涂法等方法镀成或涂成适当形状，为此必须选用功函数小于光电导体的功函数并在化学上稳定的物质作电极材料。电极安置好以后再用适当的方法把光电导面保护起来。

**(a) CdS 单晶<sup>[1]</sup>** 制造 CdS 单晶，目前有升华法、气相法和熔炼法等方法，特别是升华法和气相法由于装置和操作都简单，一般常采用这两种方法。

升华法是把 CdS 粉放在晶体生长炉内保持 1000°—1250°C 的部分里加热，让 CdS 粉升华，用携带气体把 CdS 蒸气带到同一炉中温度约为 950°C 的低温部分，使其冷凝而变成晶体(图 5.4)。

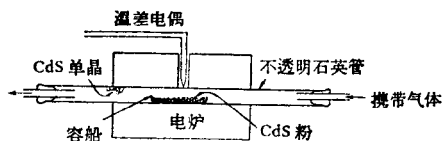
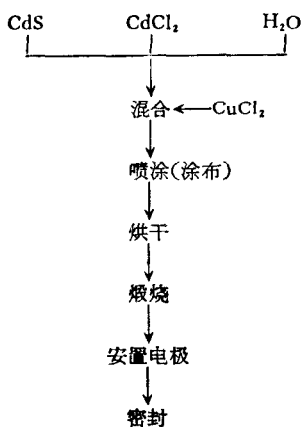


图 5.4 CdS 单晶的制造装置(升华法)

(b) **CdS 多晶** 制造 CdS 多晶有烧结法、粉末法和真空



蒸发法等方法，其中使用最多的是烧结法。

烧结法大体上可以分为两种方式<sup>[2]</sup>，一种方式是使高纯度 CdS 粉悬浮于水，并在其中添加约为 CdS 的 10% 的 CdCl<sub>2</sub> 和 10—1000 ppm 的 CuCl<sub>2</sub>，然后涂布或喷射在耐热绝缘底板（如滑石板或硼硅酸玻璃板）上，放在 500°—700°C 的空气中或惰性气体中烧结，形成光电导面（图 5·5）。

图 5·5 烧结型 CdS 光敏电阻的制造工艺

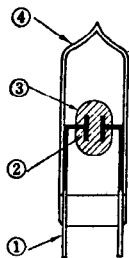
另一种方式<sup>[3]</sup>是预先把 Ga、In 和 Ag 等杂质以其盐的形式引入 CdS 粉末中，制成适当的形状或涂布在底板上，然后进行烧结。

粉末法<sup>[4]</sup>是预先制备光电导率大的 CdS 粉末，用稀释到 1% 左右的有机胶粘合剂固结，然后制成薄片。

真空蒸发法是把 CdS 粉末放在加热到 200—500°C 的玻璃板上真空蒸发约 1 小时，使形成厚为 1—10 微米的薄层。将淀积了 CdS 薄层的玻璃板瞬时暴露于 Cu 或 Ag 的蒸气中，然后加热到 450—550°C，使 CdS 的晶体在玻璃板上生长，并使 Cu 和 Ag 等杂质扩散。另外，也可不添加杂质，而在空气或惰气中进行热处理。

(c) **PbS 光敏电阻** 制造 PbS 光敏电阻有真空蒸发法和化学淀积法，用前一种方法制造的光敏电阻是立式的，灵敏度高，用后一种方法可以比较自由地制成任意形状的微型光敏

电阻。这里就真空蒸发法<sup>[5]</sup>加以说明。将长 2 厘米左右的钨丝隔着适当距离焊在玻璃外壳的一端作为电极(图 5·6)。使这个电极沿着玻璃外壳的内面延长,在电极间隙的正下方放入数毫克 PbS 粉末或 PbS<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉末,然后进行排气(10<sup>-1</sup>—1 毫米汞柱),用煤气的火焰从下方加热 PbS 部分,使 PbS 凝结在电极间隙部分。



①钨电极 ②胶体石墨  
③ PbS 薄层 ④外壳

图 5·6 PbS 光敏电阻

### 1·1·3 特性

**[1] CdS 单晶** CdS 的单晶是在可见光区灵敏度最高的光电导体,对 X 射线、 $\gamma$  射线、 $\alpha$  射线和  $\beta$  射线的照射也很灵敏。而且由于内阻高,具有能够简单地加以放大的优点。但是单晶的大小有限,所以受光面小,而电流容量低。

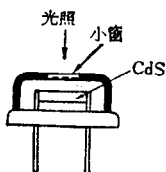


图 5·7 单晶型 CdS 光敏电阻

受光面积为 1 毫米 × 0.5 毫米左右时,光灵敏度约为 0.1 安/流明,至于光电流则是几十微安左右。工作范围在 5200 埃—3000 埃之间。响应时间和延迟时间也都比较短,只有几毫秒左右(图 5·7)。

**[2] CdS 多晶** 由于感光面大,可以获得比较大的电流,用隐埋法制成的 CdS 光敏电阻在 50 伏、100 勒克司下,可以获得 6—7 毫安的光电流,而用烧结法制成的 CdS 光敏电阻(图 5·8)在 10 伏、50 勒克司下,可以得到 10 毫安的光电流。特别是用烧结法制成的光敏电阻,光谱灵敏度范围比单晶宽广,延伸到长波方面。但是光电流的时间延迟却比单晶大得多,衰减时间短时不能使用(在 1 千赫以上时难以使用)。

**[3] PbS 光敏电阻** 这种光敏电阻在常温下对波长约为

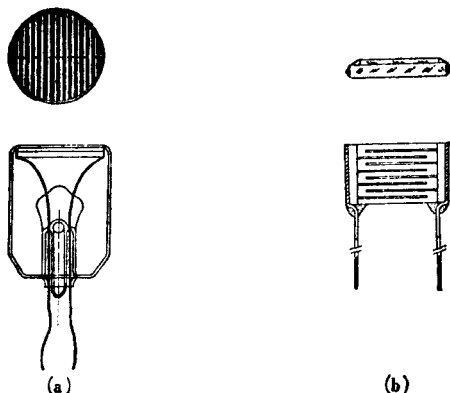


图 5-8 多晶型 CdS 光敏电阻(烧结法)

3 微米以内的红外光灵敏，而且在这段波长范围内灵敏度最高，因而用途很广。输出电流和灵敏度与入射照度的关系如图 5.9 所示，大体上在照度不超过 0.5 毫瓦/厘米<sup>2</sup>时呈线性关系。电阻噪声在信号噪声比(S/N)最大的电压 40—60 伏时不超过 5 微伏，时间常数很小，为 20—100 微秒。频率特性在

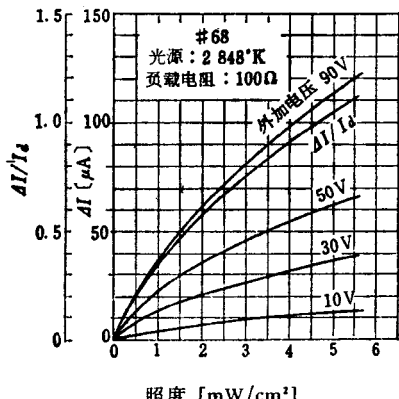


图 5-9 PbS 光敏电阻的照度-输出电流和灵敏度特性



10 千赫时约为 70%，灵敏度和电阻的温度效应都大，使用时最好保持 60°C 以下的温度。

**[4] 其他光敏电阻** CdSe 光敏电阻最近在各方面都被利用，引起了人们的注意。最高波长灵敏度在 6700 埃附近，对红色光灵敏度最高，如果引进杂质还可以移到 7900 埃处。响应速度比 CdS 光敏电阻快，光电导率也大，不过在对温度的依从关系上还有问题。

PbSe 光敏电阻在常温下可以在 1—5 微米的波长范围内使用，冷却到 90°K 时，工作波长可达到 7 微米。

PbTe 光敏电阻在常温下可以在 4 微米的波长范围内使用，冷却到 90°K 时可以在 5 微米的波长范围内使用。不论在常温下或在 90°K 下使用，时间常数均为  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  秒，最低探测辐射能均为  $10^{-13}$ — $10^{-14}$  瓦左右，噪声电压都不超过 5 微伏。

Ge 光敏电阻在引进 Au 作为杂质时，灵敏度可以伸展到波长 10 微米处，并能探测  $10^{-13}$  瓦的辐射能。时间常数为  $2 \times 10^{-7}$  秒左右，响应非常快。但是这种情况一般都是在冷却下使用的。

InSb 光敏电阻用作红外光区的探测器时特别有用，可以一直使用到波长 7.5 微米以上，能探测  $10^{-9}$  瓦的辐射能，而且在室温下就可工作在长波方面，这是运用上方便之处。

各种光敏电阻的特性值如表 5·2 所示。

#### 1·1·4 应用

**[1] CdS 系光敏电阻** 在可见光区的用途很广，广泛应用在照明系统的自动点灭装置（图 5·10）、电视接收机的亮度自动调整电路（ABC）、照相机的自动曝光装置以及汽车前灯自动调节器等器件中，尤其是在用于继电器电路里时，不需要放大器就能直接使继电器进行工作，所以非常有利。