

专用半导体器件

ZHUANYONG BANDAOTI



QIJIAN

科学出版社

专用半导体器件

上海无线电十七厂 译

科学出版社

1972

内 容 简 介

本书介绍了光电器件、齐纳二极管、扩散结型硅整流器、隧道二极管、单结晶体管、硅可控整流器及场效应晶体管等七种专用半导体器件。简要说明各种器件的基本原理和主要参数、特性及应用,给出了一些典型的应用线路。

本书可供电子工业的有关工人、技术人员以及高等院校、中专的有关专业的教师和学生参考。

*

本书根据 1968 年美国出版的《Special Semiconductor Devices》(Walter A. Sowa · James M. Toole 著)一书译出。

专 用 半 导 体 器 件

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 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

*

1972 年 6 月第一版 1972 年 6 月第一次印刷

定 价: 0.40 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。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

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。

译 者 的 话

无产阶级文化大革命以来,在毛主席“**抓革命,促生产,促工作,促战备**”的伟大方针指引下,我国工农业生产形势空前大好。电子工业和其它工业一样,也得到蓬勃发展。半导体技术被越来越广泛地应用于国民经济的各个部门,涉及各种半导体器件的领域日益扩大。广大的工人和技术人员急需了解一些常见的专用半导体器件方面的知识。遵照毛主席“**洋为中用**”的教导,我们翻译了这本小册子,希望它能对读者有所帮助。

在翻译过程中,得到有关单位的支持和关怀,我们在此表示感谢。对于原书中若干地方的技术性错误,我们已作了校正。由于我们的水平有限,难免存在不少错误和不妥之处,欢迎广大读者给予批评指正。

30127

目 录

第一章 光电器件	1
§ 1-1 光的性质	1
§ 1-2 光的量度	2
§ 1-3 光谱响应或光谱灵敏度	5
§ 1-4 光电器件的分类	6
§ 1-5 光电发射器件	7
§ 1-6 光电导器件	9
§ 1-7 光生伏打器件	12
思考题	16
第二章 齐纳二极管	19
§ 2-1 伏-安特性	19
§ 2-2 功率和温度方面的考虑	22
§ 2-3 脉冲功率耗散	25
§ 2-4 齐纳二极管的电容及其影响	26
§ 2-5 温度系数的补偿	28
§ 2-6 阻抗的补偿	30
§ 2-7 齐纳二极管与充气稳压管的比较	32
思考题	32
第三章 齐纳二极管的应用	34
§ 3-1 浪涌保护	34
§ 3-2 放大器中的耦合和偏置	38
§ 3-3 基准元件	40
§ 3-4 串联和并联运用	45
§ 3-5 齐纳二极管电路	46

思考题	49
第四章 扩散结型硅整流器	52
§ 4-1 整流器特性	52
§ 4-2 瞬变现象和频率限制	54
§ 4-3 串联连接	58
§ 4-4 典型的运用	62
思考题	78
第五章 隧道二极管	80
§ 5-1 隧道效应	80
§ 5-2 隧道二极管结	81
§ 5-3 额定值和特性	85
§ 5-4 等效电路和增益	86
§ 5-5 稳定性准则	89
§ 5-6 频率限制	91
§ 5-7 隧道二极管放大器	93
§ 5-8 隧道二极管视频放大器	93
§ 5-9 隧道二极管调谐放大器	96
§ 5-10 隧道二极管振荡器	99
§ 5-11 隧道二极管用作开关	102
§ 5-12 隧道二极管多谐振荡器	103
§ 5-13 混合电路	110
思考题	111
第六章 单结晶体管	113
§ 6-1 一般描述	113
§ 6-2 单结晶体管的工作情况	114
§ 6-3 应用上的限制	119
§ 6-4 特性曲线和规范	119
§ 6-5 弛张振荡器	122
§ 6-6 单稳态多谐振荡器	126

§ 6-7 温度稳定	127
§ 6-8 UJT 作为触发器	129
思考题	131
第七章 硅可控整流器	134
§ 7-1 SCR 的结构和基本工作情况	134
§ 7-2 定额和特性	137
§ 7-3 SCR 的点火特性与电路	140
§ 7-4 关断特性和方法	151
§ 7-5 串联和并联运用	152
§ 7-6 SCR 的保护	153
§ 7-7 SCR 的应用	157
思考题	161
第八章 场效应晶体管	164
§ 8-1 FET 的简单描述	164
§ 8-2 工作方式	166
§ 8-3 工作特性	168
§ 8-4 共源组态	169
§ 8-5 共漏组态	173
§ 8-6 偏置	174
§ 8-7 级联	179
思考题	183
奇数思考题答案	186

第一章 光 电 器 件

光电器件在现代技术中扮演着重要的角色,而且这种重要性还在不断地增加。卫星系统、军队的武器系统、计算机系统,甚至于象喷灯和衣服干燥机等等,都可使用光电器件。光电器件的可用性是极为广泛的。在这些器件的各种应用中,输入信号都是光束,因此在对这种器件进行讨论之前,我们必须首先讨论一下光及光的性质。然后,把各种光电器件分成三类,再逐一研究之。

§ 1-1. 光的性质^[1]

在十七世纪中叶以前,科学家们认为光是由称为微粒子的极小粒子所组成的。那时,光的所有已知性质都用微粒子理论来解释。然而,大约在 1670 年左右,发现了如果假设光只是一种波的运动,也能够对光的某些性质作出解释。但这种理论后来又被否认了,直到大约 1827 年前,这种波动理论已经匿迹。1827 年后,大量的证据证实了光的波动理论,并且反而抛弃了较老的微粒子理论。光的波动理论就深深地固守在科学领域中,直到 1905 年爱因斯坦又借助于微粒子理论解释了光电效应。从此,光的波动性就用来作为解释某些物理现象的基础,而解释另外一些现象时,就必须应用微粒子理论。于是,光就具有一种双重的性质——它既可以被认为是一种波,又可以被认为是一种粒子。通常,当我们考虑光的传播时,就认为光是由于一种波的运动;而在涉及相互作用现象时,我们又认为光是一种微粒子,并且称它为光子。

§ 1-2. 光的量度

当把光作为一种波来考虑时,直接感兴趣的有两个参数,即波振动的**振幅**和**波长**。研究技术的人们通常是熟悉关于波的两个关系的,这就是波所携带的能量与波振幅的平方有关,和光的颜色与波的频率或者波长有关。这样,任何测量技术就都必须与这两个参数相关。现在,有两种方法来表示光的特性,即所谓**辐射系统**和**照明系统**。辐射系统是一种物理的概念;而照明系统则是一种基于生理学上的概念。辐射能谱的波长范围从 10^{-14} 到 10^7 米。可见辐射能谱复盖着一个十分宽阔的波长范围。然而,照明系统却只是与人眼对其敏感的那一部分光谱有关。正因为这个原因,才说它是基于生理学上的概念。这样,在辐射系统中,**辐照**的定义是人射到接收表面上的**总的**辐射功率密度。一般说来,它是用每平方厘米毫瓦这个单位来表示的。注意它的定义是**总的**辐射功率密度,这样,辐照是与全部辐射能谱有关的。而在照明系统中,波长是被限制在人眼对之敏感的那部分能谱上,也就是被限制在 0.4μ 到 0.76μ (这里 μ 是微米, $1\mu = 10^{-6}$ cm) 的那一部分能谱上。这样,在这种系统中,我们就只关心紫色(0.4μ)和红色(0.76μ)之间的颜色或波长。人眼的光谱响应,或称标准的亮度曲线,示于图 1-1 中。

入射于一个表面上的辐射功率密度是用称为**照度**的亮度函数来计算的。照度是根据入射在一个接收表面上的光通量给出的。其单位一般用每平方米流明或较老的呎烛光来表示。这里,

$$1 \text{ 呎烛光} = \frac{1 \text{ 流明}}{\text{平方呎}}。$$

两种系统之间的换算因子是

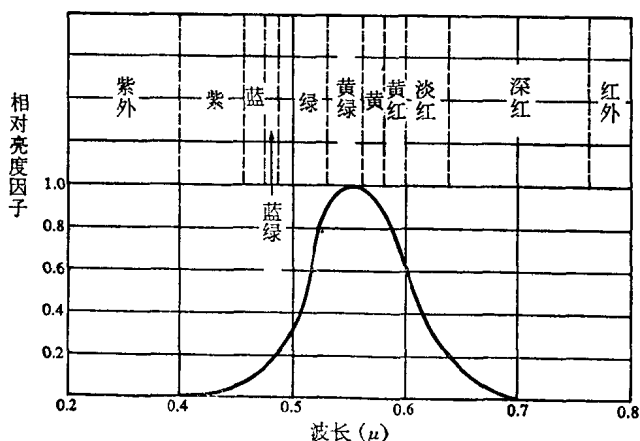


图 1-1 标准亮度曲线

$$1 \text{ 瓦} = 680 \text{ 流明。} \quad (1-1)$$

然而,这个关系式只在最大能见度的波长 0.556μ 处才是正确的。其实在这两种系统之间难以列出关系式。因此,习惯上在说明光生伏打器件(太阳电池)的特性或响应时采用辐射系统,而对于光电导性器件(光电管)则采用照明系统。

黑体辐射的概念,在说明某些光电或光学器件的测试中所采用的照明源方面是重要的。在热传输物理学中有这样一个基本概念:一种物体或物质,当它是热的良好的反射体时,它就是热的拙劣的发射体。换句话说,一个物体,当它是热的良吸收体时,它又是热的良发射体。辐射能的良吸收体是黑色的表面,理想的黑色表面就称为黑体。

实际上,理想的黑体是不可能有的。然而,可以有几种方法来得到接近于这样的物体。不过我们在这里并不去谈这些方法。如果我们有这样一个理想黑体的话,升高它的温度,它将首先在不可见的红外区域内辐射。随着这个理想黑体温度

的增加,辐射将会向较短波长方面移动。当黑体变得足够热时,辐射能谱就将会移到光谱的可见区域中。在任一个特定温度下,我们都可测量每单位波长范围每秒每平方厘米的能量(这个参数通常称为**单色功率密度**,术语“单色”的意思是在某一波长上测得的功率密度),在整个辐射光谱上对每一个波长间隙我们都能这样做。因此,还可以增加理想黑体的温度并重复一系列的测量。于是,我们就可以画出类似于图 1-2(a)所给出那样的一族曲线。

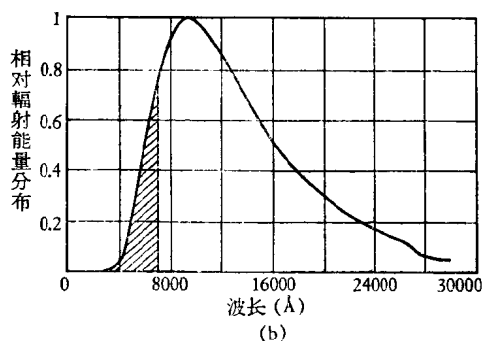
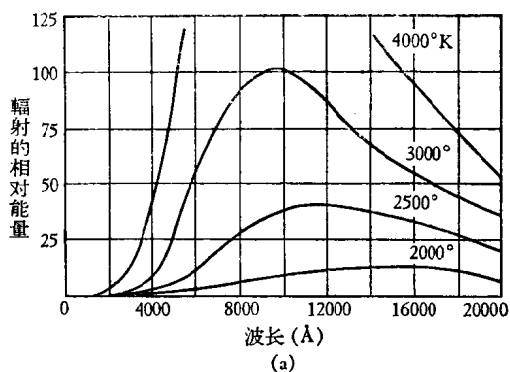


图 1-2 (a)黑体的辐射能量分布曲线; (b)工作于 2850°K 色温的钨灯泡的辐射能量分布曲线

图 1-2 中的曲线是黑体的辐射能量分布曲线。例如,在这些曲线中,规定了在光敏器件的测试中所使用的钨丝灯光源。在器件的实际测试中通常规定钨灯泡工作于 2850°K 的色温。色温的定义是:当其光谱分布最接近于在同一温度下的完全辐射体(黑体)的光谱分布时,一个白炽光源的温度。图 1-2(b) 是一根表示工作于 2850°K 色温的钨丝灯泡的单一辐射能量分布曲线。注意波长标尺是从 0 到 30000Å ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{cm} = 1\text{埃}$)。如果我们要用照明系统来讨论这个光源的话,我们就只关心曲线在 4000Å 和 7600Å 之间的那一部分。这一部分正是人眼的光谱响应范围。把在曲线下面的阴影区域与曲线下面的总面积相对比,就可对这两种系统作粗略的比较。

§ 1-3. 光谱响应或光谱灵敏度

正如人眼对不同波长的光有不同的灵敏度一样,光电器件也是这样。任何光电器件的光谱响应都是很重要的,当根据某种具体的应用来选择器件时,就必须考虑到这一点。看看人眼灵敏度的标准亮度曲线,这根曲线代表人眼对具有各种波长、且所有波长的强度都相同的光的响应方式。设想有两个实际上相同的物体,我们用绿光(0.5μ)来照明其中之一,而另一个则用黄绿光(0.55μ)照明。让我们进一步设想在每种情况下的光都有相同的强度。则从标准亮度曲线,我们看到被用黄绿光照明的物体对人眼呈现出比用绿光照明的物体亮三倍。光敏器件的反应类似于同样的情况,要有最大的灵敏度,光谱响应曲线应与器件工作的光之光谱相匹配。一般来说,在整个光谱上全都匹配是不可能的,但必须做到最好的协调。

材料的光谱响应,在很大程度上取决于材料本身以及其

中存在什么杂质,而在较小程度上取决于器件的工作温度。材料的带隙对于确定光谱响应是根本的因素。在材料中杂质的存在,就使光谱响应曲线向红色(较长的)波长移动,当温度增加时,也会发生这样的结果。

·如果某种材料被装在没有合适的透射特性的物质做成的外壳内,则材料的光谱响应就会改变。然而,通常由制造者提

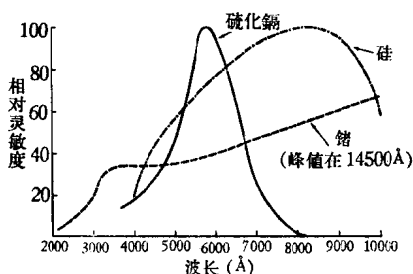


图 1-3 几种常用材料的相对光谱响应

供的光谱响应曲线表示器件本身的光谱响应。如果罩壳材料是可以选择的话,则一般说来制造者会提供它们的透射特性。

图 1-3 说明了硅、锗和硫化镉的相对光谱响应特性。这种

响应,通常是在把曲线的峰点定为 100 的相对基础上给出的。也就是说,把峰值归一化为 100。

§ 1-4. 光电器件的分类

光电(或者更适当地说是光学)器件可以分为三类:

1. 光电发射器件;
2. 光电导器件;
3. 光生伏打器件。

光电发射器件包括光电倍增管,真空和充气光电二极管,以及其他多种管子。这类器件的工作原理是:当光打在一个表面上时,具有足够能量的光子撞击出材料中的电子。这些被逐出或者被发射出的电子,就是光电发射器件的根本特征。

光电导一类包括通用的光电管。这一类的范围很广,包括了用硫化镉、锗和硅制作的各种器件。光在这些物质上的作用是增加材料的电导率。

光生伏打一类一般说来包括被称为太阳能电池的那些器件,光在其中引起一个电动势。单晶硅是最普遍使用的材料,其典型的效率是百分之十二到十三。其他的材料也正在逐步得到采用,已用多晶材料制成了大面积的太阳能电池。但是,这种器件的效率通常是较低的,大约在百分之五到六左右。

§ 1-5. 光电发射器件^{[2],[3]}

利用材料的光电发射特性的器件是很多的,我们这里只介绍光电倍增管。对光电倍增管的工作情况和技术规格的讨论,就会阐明前几节中的讨论。

在图 1-4 中,用图来说明了光电倍增管的结构和说明它

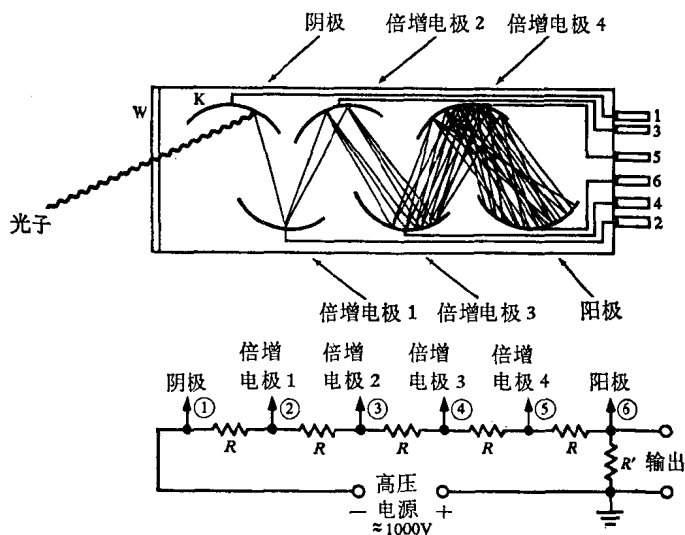


图 1-4 光电倍增管的图解说明

是如何工作的。光通过窗口W进入并打在阴极K上,从阴极K上逐出电子。这些电子从阴极被加速到对阴极为正电位的倍增极1。在倍增极1处又发生电子的发射,但这时发射的电子将比从阴极发射出的更多。现在倍增极2作为板极而倍增极1作为阴极,因为在这种方式中各个倍增极都连接到外部的分压器。这种连续作用一直持续下去,直到到达阳极的电子数是从阴极发射的电子数的几十万倍。

制成的光电倍增管有少至六级或多至十四级的。最常用的阴极材料是铯-铽组合物,而倍增电极常常是由在镍或铜-铍衬底上涂覆这种组合物而制成的。这样,管子的光谱响应取决于阴极材料,除非窗口材料可能使它有所改变。制造者用S4、S11,或者多数用S20来指明光谱响应,每个名称都指一标准的光谱响应曲线。制造者提供多种多样的光谱响应特性,对于光电倍增管来说,通常可有10到15种。

只有三个最大额定值是重要的。**阳极对阴极电压**(直流电压或交流峰值电压)、**平均阳极电流**和**环境温度**。通常最大阳极对阴极电压是在1000到2500伏的范围内。把分压器设计得使一个接一个的倍增电极每个都比它前面的一个正出50到100伏左右;但是,制造者规定了每个电极的电压。典型的平均阳极电流是在0.1到0.3毫安的范围内,而温度是 -75°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$ 。

光电倍增管的其他特性是灵敏度、电流放大倍数、噪声和时间分解力。灵敏度通常是用辐射系统和照明系统给出的。例如,对于在1250伏工作的2020型来说,阴极的**辐射灵敏度**是0.04安/瓦,而阳极是 4.8×10^3 安/瓦。这意味着,若管子被用1瓦的功率照明(在器件响应最大的波长上的1瓦功

* 译者注:原文误为 75°C 到 85°C 。

率), 则阴极的发射就足以产生 0.04 安培的电流。 阴极的**光灵敏度**(2850°K)是 5×10^{-5} 安培/流明, 而阳极是 6 安培/流明。 注意两种系统所给出的灵敏度的数值是很不相同的, 这可用 1 流明比 1 瓦功率小得多的事实来解释。

电流放大倍数定义如下:

$$\text{电流放大倍数} = \frac{\text{阳极的光灵敏度}}{\text{阴极的光灵敏度}} \quad (1-2)$$

于是, 对于 2020 型管子来说, 放大倍数就是

$$\frac{6 \text{ A/lm}}{5 \times 10^{-5} \text{ A/lm}} = 1.2 \times 10^5$$

光电倍增管的其他特性是最大等效阳极输入暗电流, 等效输入噪声和时间分解力。 这些特性都是由制造者在一整套特殊的测试装置上给出的, 因此我们不再讨论它。

§ 1-6. 光电导器件^[4]

这一类器件最有代表性的元件是硫化镉光电管。 因为其广泛的可用性, 这种管子在制造时有许多种结构和封装。 光谱响应的范围可以从紫外区域到红外区域, 而最大的响应则出现在 5800 Å 左右(见图 1-3)。

前面已经说过, 光在光电管上的效应是增加它们的电导率, 因此, 它们有时被称为光敏电阻器。 其中电阻随照度的变化方式是在图 1-5(a) 中所表示的。 表 1-1 则表示了它们的最大额定值和特性。 典型的上升特性示于图 1-5(b), 衰减特性示于图 1-5(c)。 几种典型的物理尺寸在图 1-5(d)、(e) 和 (f) 中给出。 在表 1-1 的注解中提到管子在光电流测试以前已经经历长时间的照明。 如果制造者提供的说明书要重复一下的话, 那末这一要点是值得记住的。