

547574

5921

7/401

世 界 名 著

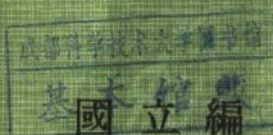
特殊半導體設計

WALTER A. SOWA 著
JAMES M. TOOLE

張 燁 譯



國家科學委員會補助



國立編譯館出版

世界書局印行

217
01

世 界 名 著

特 殊 半 導 體 設 計

WALTER A. SOWA 著
JAMES M. TOOLE

張 煌 譯

國 家 科 學 委 員 會 補 助

國 立 編 譯 館 出 版
世 界 書 局 印 行

中華民國六十年十月初版

世界名著 **特殊半導體設計** (全一冊)

精裝基本定價三元九角正
平裝基本定價二元九角正

著者：WALTER A. SOWA
譯者：JAMES M. TOOLE

漢譯權所有人：國立編譯館

補助機關：國家科學委員會

發行人：吳開先

版權所有 禁止翻印

內政部登記證內版臺業字第〇一八八號

出版者：世界書局

印刷者：世界書局

發行所：世界書局

臺北市重慶南路一段九十九號

序

由於半導體技術的問世，市面上出現了許多種取代真空管的元件。事實上，這些元件確能夠在真空管的應用受到限制的地方順利地操作。一般要瞭解這些元件，就要購買有關每一種元件的一套書籍。顯然，如果有一本書能包含較流行的各種半導體，則將給技術人員很大的方便。本書就是爲了滿足這種長期的需要而著的。

本書說明了七種半導體的原理和用途，而這七種元件的選擇是根據當前理工界的要求而決定的。除了這七種元件及其變態之外，目前市面上的其他半導體也可討論到，但是著者覺得把這些也包含進去對學習的人並無多大好處。例如雙交流開關（Diacs）和三交流開關（Triacs）在本書中就沒有討論到，因為它們只是矽控整流品（SCR）發展中自然的擴張而已，而其理論與矽控整流品（SCR）是一樣的。

通常技術人員最關心的是元件如何工作，而對元件之爲什麼會工作，則不大有興趣。因此，本書對於製造過程不擬加以說明，除非製造過程與元件之特性有關。

使用本書時，必須預先具備的知識就是電晶體的基本原理，諸如載於基本電子元件（Basic Electron Devices）者——這是本叢書中研究電子技術的另一本書。

W. A. Sowa

J. M. Toole

賓西瓦尼亞州立大學

1968年6月

目 錄

第一章 光電裝置

1-1	光的本性	1
1-2	光的測量	1
1-3	光譜響應或靈敏度	5
1-4	元件的分類	7
1-5	光電發射元件	7
1-6	光導元件	9
1-7	光電勢元件	12
	問 題	16

第二章 稽納二極體

2-1	伏特 - 安培特性	19
2-2	功率與溫度	22
2-3	脈衝功率消散	25
2-4	稽納電容及其效應	27
2-5	溫度係數的補償	29
2-6	阻抗消除	31
2-7	稽納二極體與氣體管之比較	33
	問 題	33

第三章 稽納二極體之應用

3-1	浪湧保護	35
3-2	在放大器中之耦合及偏壓	39

2 特殊半導體設計

3-3	參照元	41
3-4	串聯及並聯操作	47
3-5	稽納二極體電路	47
	問 題	51

第四章 擴散接面矽整流器

4-1	整流器特性	53
4-2	暫態及頻率界限	57
4-3	串接	60
4-4	一般的應用	64
	問 題	76

第五章 透納二極體

5-1	透納效應	79
5-2	透納二極體接面	79
5-3	定額與特性	84
5-4	等值電路與增益	86
5-5	穩度準則	88
5-6	頻率界限	91
5-7	透納二極體放大器	93
5-8	透納二極體視頻放大器	93
5-9	透納二極體調諧放大器	97
5-10	透納二極體振盪器	100
5-11	作為開關之透納二極體	104
5-12	透納二極體復振器	105
5-13	併合電路	112
	問 題	115

第六章 單接合電晶體

6-1	概述	117
6-2	操作	119
6-3	界限	124
6-4	特性曲線與規格	124
6-5	弛緩振盪器	127
6-6	單射複振器	132
6-7	溫度穩定	133
6-8	作為觸發器之UJT	135
	問 題	137

第七章 矽控整流器

7-1	構造與基本操作	143
7-2	定額與特性	146
7-3	SCR激發特性及電路	150
7-4	關閉特性及方法	163
7-5	串聯及並聯操作	164
7-6	SCR之保護	165
7-7	SCR之應用	170
	問 題	174

第八章 場效電晶體

8-1	說明	177
8-2	操作的形式	180
8-3	操作特性	181
8-4	共源極配置	183
8-5	共吸極	186
8-6	偏壓	188
8-7	串級	194

4 特殊半導體設計

問 題.....	199
奇數題之解答.....	201
索引	

第一章 光電裝置

光電裝置在今日的理工界所扮演的角色是很重要的，且其重要性與日俱增。衛星系統、軍備系統、計算機系統、甚至家用油爐以及衣物烘乾器都用到光電裝置。它們的用途僅為設計者的想像力和技巧所限。由於這種裝置的輸入信號是光束，所以在研究這種元件以前，我們必須討論光及其性質。然後，我們再把各種裝置分成三類，而逐一加以研究。

1-1 光的本性¹

在十九世紀中葉以前，科學家認為光是由一種叫做微粒子的極小質點所組成。在當時，所有已知的光的性質都可以用微粒子的理論來說明。不過，約在1670年有人假設光為一種波動，而且證實此一假設可用來闡述某些光的性質。然而此一波動理論並未被接受。直到1827年，由於有許多事實證明了波動理論，於是以前的微粒子理論被棄而不用。此後，光的波動理論即一直被科學界所確認。到了1905年愛因斯坦才重新利用微粒子理論來說明光電效應。因此光的波動理論可以作為解釋某些物理現象的基礎，而其他現象的解釋卻必須用到微粒子理論。於是，光有了兩種本性——可被當作波，也可被當作微粒。我們通常認為光的傳播是由於波動，但是在討論相互作用之現象時，我們把光當作微粒或小匣，我們稱此為光子（Photon）。

1-2 光的測量

當光被認為是一種波時，我們就立即會想到兩種量：振動的波幅

2 特殊半導體設計

(Amplitude) 以及波長 (Wavelength)。理工科的學生大都熟知關於交流電的這兩個術語。光波所帶的能量與波幅的平方有關，而光的顏色與光波的頻率或波長有關。因此，任何測量均須涉及這兩個量。目前，確定光的特性的方法有兩種，那就是**輻射系統** (Radiation System) 以及**照明系統** (Illumination System)。輻射系統是物理學上的觀念，而照明系統則是生理學上的觀念。由於輻射能光譜之波長由 10^{-14} 擴展到 10^7 ，因此輻射能光譜佔有極寬廣的波長範圍。但是照明系統僅涉及光譜中人眼所能感覺到的部分而已，因而我們說照明系統是基於生理學上的觀念。如是，在輻射系統中，**照光** (Irradiation) 即設定為照射到接收面的總輻射功率密度。其單位通常以每平方公分之毫瓦數來表示。注意，照光既設定為總輻射功率密度，因而與整個輻射能光譜有關。在照明系統中，波長範圍僅限於能量光譜中人眼所能感覺到的部分，那就是在 0.4μ 到 0.76μ 之間，其中之一微公尺， μ ，即定為

$$1 \text{ 微公尺} = 10^{-4} \text{ 公分}$$

因此，在此系統中，我們所關心的是在紫色光 (0.4μ) 與紅色光 (0.76μ) 之間的波長。圖1-1 為人眼的光譜響應或所謂的標準發光度曲線。

照射於物體表面的輻射功率密度，係以叫做**照度** (Illuminance) 的發光度函數來計算的。而**照度**則以照射在接收面上的光通量來表示。照度通常以每平方米之流明數來表示或以老式的呎燭光來表示，

$$1 \text{ 呎燭光} = \frac{1 \text{ 流明}}{\text{平方呎}}$$

這兩個系統的換算因數為

$$1 \text{ 瓦特} = 680 \text{ 流明}$$

(1-1)

但是，只有在最高可見度， 0.556μ 的波長時，此一關係才能成

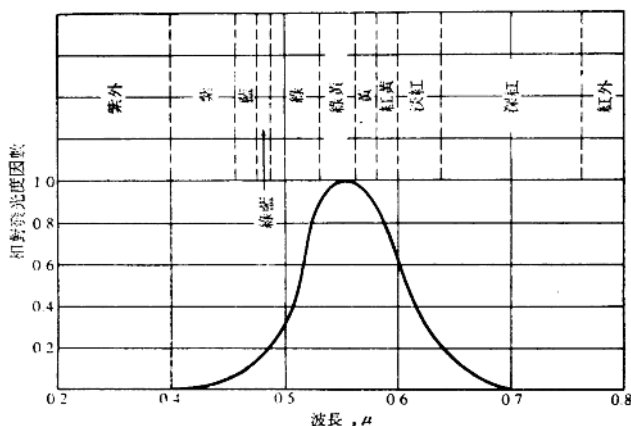


圖 1-1 標準發光度曲線

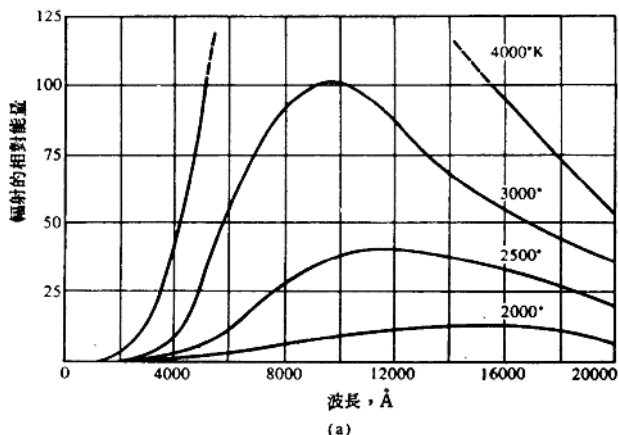
立。因此很難於將這兩種系統關連起來。目前，在一般實用上，大都以輻射制度來指明光電勢裝置（太陽電池）的作用或響應，而以照明系統來指明光電導裝置（光電池）。

黑體輻射的觀念，在規定用於測驗某種光電或光學裝置的照明來源上，是很重要的。在熱轉移的物理中，有一基本觀念，就是，物體或材料若是良好的熱的反射體，則必是不良的熱的發射體。換言之，一個良吸收體必是一個良發射體。輻射能的良吸收體為黑色表面，而黑體（Black-body）即設定為一理想的黑色表面。

實際上，理想黑體是不可能的；然而，這種物體可用若干方法來近似，但在這裏我們對這些方法不擬考慮。如果我們有這樣的一個理想黑體，並使其溫度升高，則此黑體首先會於不可見的紅外線區域發射輻射，當此理想黑體之溫度增高，輻射將移到較短的波長，而當此物體夠熱時，輻射能即將轉移到光譜之可見區域。在任何特定溫度，

我們均可測得每單位波長範圍每秒每平方公分之能量（此一種量平常叫做單色光功率密度 (Monochromatic Power Density)，「單色光」這一名稱的意義，就是功率密度是在某一特定波長測得），而我們就能整個輻射光譜之每一個波長間隔作這種測定。因此，我們就能將理想黑體的溫度增加，而重複作一系列的測定。如是，我們可作成與圖 1-2 (a) 相似的一系列曲線。

圖 1-2 中的曲線是黑體輻射能的分布曲線，例如，用來測試光感元件之鎢絲燈源，就是以這些曲線來規定的。在測試元件時，通常規定應使用操作於 2850°K 之色溫的鎢絲燈。所謂色溫就是白熾燈源的溫度，在此溫度其光譜分布最接近於一完全輻射源（黑體）在同一溫度之光譜分布。圖 1-2(b) 即表示一操作於 2850°K 色溫之鎢絲燈的單色光輻射能分布的曲線。注意，其波長標度由 0 一直到 $30,000\text{\AA}$ 。（1 埃 = $10^{-8}\text{cm} = 1\text{\AA}$ ）如果我們要用照明系統來討論此一光源，則我



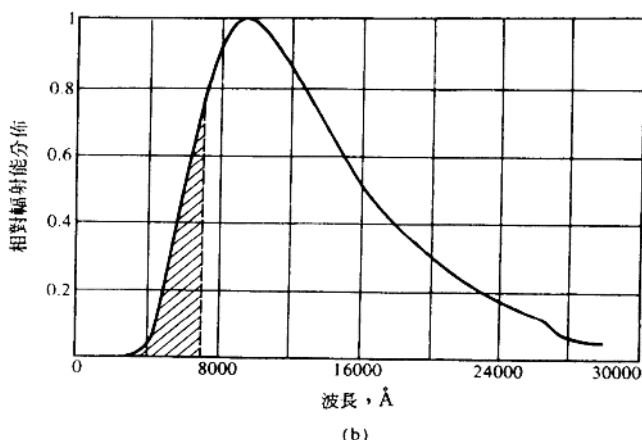


圖 1-2 (a)黑體輻射能分布曲線，及(b)操作於
2850°K 之鎢絲燈的輻射能分布曲線。

們將僅考慮在4000Å 和 7600Å 之間的曲線部分，此一部分就是人眼的光譜響應範圍。對照曲線下之斜線部分和曲線下之總面積，即可就此兩系統作一概略的比較。

1-3 光譜響應或靈敏度

就如人眼對不同波長的光有不同的靈敏度一樣，光電元件也是如此。任何元件的光譜響應都有其重要的結果，而當一個元件被選用於某一特定的應用中時，這些結果就必須被考慮到。就人眼之靈敏度的標準發光度曲線而論，此一曲線表示了人眼對不同波長的光的反應方式，但是實際上所有波長的強度都相等。假設我們將兩個完全相同的物體，分別以綠光 (0.5μ) 及綠黃光 (0.55μ) 照射之；再進一步假設這兩種光的強度相同，則由標準曲線我們可以看出，就人眼的感覺

而言，以綠黃光照射的物體要比以綠光照射的物體亮三倍。光感元件的反應和人眼的情形相似，而若欲獲得最大的靈敏度，其光譜響應曲線就必須與操作此元件之光譜相匹配。整個光譜的匹配通常是不可能的，所以必須作最佳的折衷。

材料的光譜響應與材料本身和呈現於其中的不純物大為有關，而且，與元件操作時的溫度也有關係。材料的能帶隙是決定光譜響應的主要因素。材料中不純物的呈現使得光譜曲線向紅色（較長的）波長方面移動，而當溫度增高時也會發生這種結果。

如果將材料裝在不具台宜的透射特性的物質的盒子中，則其光譜響應即可被改變。通常，廠家所提供的光譜響應曲線僅表示了元件本身的性質。如果元件外覆蓋的材料有多種可供選擇採用，則廠家通常會提供其光透射特性。

圖1-3 說明了矽，鎘，及硫化鎘的相對的光譜響應特性。通常我們把曲線的尖峯轉移到100 之值而將響應表示於一相對的基準上。就是，把尖峯一致化。

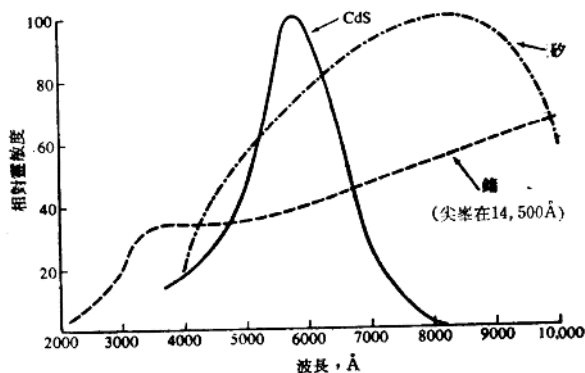


圖 1-3 數種常用材料之相對光譜響應。

1-4 元件的分類

光電（或更適切地，光學的）裝置可以分為三類：

1. 光電發射裝置
2. 光導裝置
3. 光電勢裝置

光發射裝置包括了光電倍加管，真空及含氣光二極體，以及其他種類的管。這種元件的操作原理就是，當光射擊於一個表面時，光子即有足夠的能量將電子擊出材料之外。這些被擊出的或被發射出的電子，就是光電發射元件的基本特徵。

光導裝置包括了一般的光電池。這是一個廣泛的種類，包括了由硫化鎘，硒，鎢，鎢，及矽所製造出的元件。光對這些物質的效應就是，增加了材料的電導係數。

光電勢裝置包括了一般所謂的太陽電池等元件，由光而產生電動勢。單結晶的矽是最常用的，其一般的效率為12 到 13%。目前，其他材料也被採用，而大面積的太陽電池就已經以複晶的材料製出。但是，這種裝置的效率通常很低，約為5 到 6 %。

1-5 光電發射元件^{2,3}

利用材料的光電發射特性的元件，種類奇多，但我們將僅考慮光電倍加管。討論此類元件之操作及規格，則對前面的討論將有所說明。

圖1-4 扼要地說明了光電倍加管之構造及其操作情形。光由窗口W穿入而射擊到陰極k，而由陰極敲出電子。電子由陰極而被加速到間極（Dynode）1，此間極對陰極而言為正。在間極1，電子發射再度發生，但在此被發射的電子，將較由陰極發射者為多。由於諸間極係按階段而接到外在的分壓器之故，此時，間極2 即作為屏極，而間

極 1 則為陰極。這一連串的操作一直繼續到電子到達陽極為止，此時之電子數將數十萬倍於由陰極發射出的電子數。

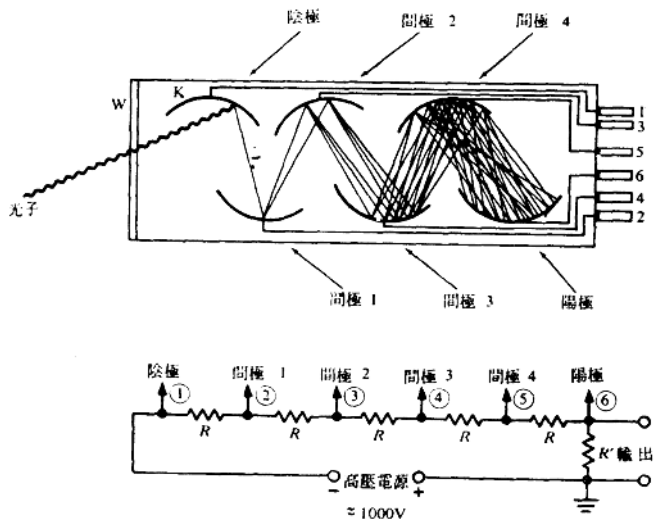


圖 1-4 光電倍增管之概略圖。

光電倍增管的製造，大都在 6 級到 14 級之間。最常用的陰極材料為銣—銻混合物，而間極以同樣的混合物置於鎳或銅—鋅襯底上。如是，陰極材料對於光電倍增管的光譜響應，除了可能因製造窗口 W 之材料的不同而有差異之外，是相當可靠的。廠家常以 $S4$, $S11$, 或 $S20$ 來表示光譜響應。而每一個符號代表一種標準光譜響應曲線。就光電倍增管而言，廠家提供各種光譜響應特性，通常為 10 種到 15 種。

光電倍增管只有三種最大定額是重要的。就是，陽極陰極電壓 (Anode-to-cathode Voltage) (直流或尖峯交流值)，平均陽極電流 (Average Anode Current)，以及周圍溫度 (Ambient Tempera-

ture)。通常，最大的陽極—陰極電壓是在於 1000 到 2500V 之範圍內。而分壓器的設計是要使每一個連續的間極比前一個極高出約50到100V；無論如何，廠家總會規定每一個電極的電壓位準的。平均陽極電流一般是在於0.1 至 3mA 之範圍內，而溫度則為75° 至 85°C。

光電倍加管的其他特性有，靈敏度，電流放大，雜音，以及時間鑑別 (Time Resolution)。靈敏度通常以輻射及照明系統來表示。例如，操作於 1250V 之 RCA2020 型光電倍加管，其陰極之輻射靈敏度 (Radiant Sensitivity) 為 0.04A/W，而在陽極則為 4.8×10^3 A/W，這就是說，如果光電倍加管被 1W 的功率所照明（在元件之最大響應波長具有 1W 的功率），則在陰極之發射足夠產生0.04 A之電流。而照明靈敏度 (Luminous Sensitivity) (2850°K) 在陰極為 5×10^{-5} A/lm，而在陽極則為 6A/lm。注意，由這兩種系統所規定的靈敏度的大小十分不同，這是因為 1lm之功率要比 1W小得多的緣故。

電流放大之定義如下：

$$\text{電流放大} = \frac{\text{陽極照明靈敏度}}{\text{陰極照明靈敏度}} \quad (1-2)$$

如是，就 2020 型之光電倍加管而言，其放大為

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

光電倍加管的其他特性為，最大，等值，陽極暗流輸入；等值雜音輸入，及時間鑑別因數。廠家會就特定的一組試驗條件而給與我們這些特性，因此我們將不再加以討論。

1-6 光導元件⁴

此類元件最具代表性的單元是硫化鎢光電池。這種光電池由於可