

光電管及其應用

楊 一 儂 編

龍門聯合書局出版

5

77

光電管及其應用

楊 一 儂 編

龍 吟 聯 金 書 局 出 版

本書先敘述關於光電的一些基本原理，次將各種類型的光電管特性進行分析，再次為光電管的製造和光電放大，最後將光電管在傳真電報、電視、有聲電影以及工業上交通上的各種應用和自動控制等加以闡述，並附實物結構圖照或電路圖。

本書可供工礦企業或上述有關方面的電業從業人員，作為參考之用。

光 電 管 及 其 應 用

楊 一 猷 編

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

上海茂名北路300弄3號

新 華 書 店 總 經 售

中 科 藝 文 聯 合 印 刷 廠 印 刷

上 海 延 安 中 路 537 號

開本：850×1168 1/32

印數：5,001—8,000 冊

印張：6

1953 年 3 月 第 一 版

字數：154,000

1957 年 2 月 第 五 次 印 刷

定價：(11) 1.30 元

序

光電管自發明以來，進步一日千里，其應用範圍日廣，而與人民日常生活密切地結合起來。工廠中利用光電管的各種自動裝置，可以不用人力，自動檢驗某些成品，控制固定標準的工作，或管理一定程度的保險設備，使生產效率，大大增加，並達到最高的安全率。這在我國即將進行大規模工業化的現在，和使工業機械化和自動化的將來，都是不可缺少的重要工具之一。它和原子能、雷達及噴氣技術等，都為勞動生產率的增長，開闢無限的可能。在我們偉大友邦蘇聯，設立的一個世界上最大和最新式的汽車活塞自動工廠，全部生產過程中，由原料加工到成品包裝，都是不需人力參加，而自動進行。其中有些任務，就是交由光電管來執行的。有聲電影，藉光電管為靈魂，現正為我們娛樂和教育的重要工具。十幾年前，電視因技術幼稚，應用並不普遍，但自光電攝像管和顯像管，把光電管和陰極射線管熔冶於一爐後，電視在工業發達的國家，已普遍地把有聲電影和廣播無線電聯合搬到廣大人民的家庭裏，使人們可以足不出戶，而能洞觀天下事。傳真電報，也是最現代化的通訊工具之一，故本書中特別分章詳述，其目的乃欲介紹這方面進步的情況，使讀者好作應當如何迎頭趕上的思想準備。再如變無用的太陽光能為電能一事，更為光電池的重要任務之一。如能努力鑽研提高光電池效率，則裨益人羣當非鮮淺。

本書於抗戰時，曾以「光電池及其應用」之名，由偽正中書局在渝出三版，滙出一版，直至去年五月間始向出版總署把版權弄清楚，乃於工餘中搜隻十餘年來進步的新材料，全部增訂改編。其中有許多材料，都是以前所沒有的，所以現在再出版，可說是利用舊瓶來裝新酒。但因作者學識淺陋，謬誤及遺漏之處必多，尚望國內先進指正為幸。

楊一農 於上海交直電工廠 一九五二年十二月廿八日

目次

第一篇 通論	1
第一章 光電管之演進	1
1.1 最初之發現	1
1.2 哈爾發克斯效應	2
1.3 鹼金屬之採用	3
1.4 光電管問世	4
1.5 經驗之定律	5
第二章 基本原理	5
2.1 光譜	5
2.2 輻射能源	7
2.3 光度測量及其單位	7
2.4 電子之概念與物質的構造	8
2.5 光電子之測定	11
2.6 導電體與絕緣體	12
2.7 半導體	14
2.8 電壓式光電池光電流之產生	15
2.9 光電子輻射之速度	16
2.10 愛因斯坦方程式	17
2.11 光之解釋	18
第二篇 光電管特性	21
第三章 一般特性	21
3.1 波與極化對光電效應之影響	21
3.2 色彩靈敏度	22
3.3 光電疲乏之現象	23

3.4	光電靈敏膜	24
3.5	鹼金屬薄膜之研究	25
第四章	真空式光電管	26
4.1	名稱與形式之檢討	26
4.2	光電子在真空中之輻射	27
4.3	熱效應特性	28
4.4	照度特性	28
4.5	商用真空式光電管特性	29
第五章	充氣式光電管	31
5.1	氣體分子	31
5.2	氣體之游離	31
5.3	氣體運動平均自由路程	32
5.4	氣體放大的限度	34
5.5	動態特性	35
5.6	充氣式光電管特性	37
第六章	電導式光電池	38
6.1	電導	38
6.2	光變導元素	38
6.3	光變導定律	39
6.4	動態特性	40
6.5	色彩效應	41
6.6	甲類電池與乙類電池	41
第七章	電壓式光電池	41
7.1	電解液之應用	42
7.2	培克累爾效應	42
7.3	來復陀式光電池	42
7.4	乳膠液式光電池	44
7.5	氧化亞銅光電池	44

7.6	氧化亞銅產生光電子的試驗	45
7.7	韋斯吞管	46
7.8	普托斯管	46
第八章	光電倍增管	47
8.1	二次電子放射	47
8.2	二次放射表面之製備	48
8.3	磁力二次放射倍增管	48
8.4	靜電二次放射倍增管	49
8.5	光電倍增管	51
第三篇	光電放大	53
第九章	放大電路	53
9.1	簡單直流電路	53
9.2	對稱直流電路	54
9.3	多級式直流電路	55
9.4	羅夫汀-懷特電路	55
9.5	交流電路	56
9.6	電阻與電容耦合電路	56
9.7	感應線卷耦合電路	57
9.8	放大之限度	57
9.9	載波放大法	58
第十章	放大真空管	59
10.1	光電放大混合管	59
10.2	高頻率放大管	60
10.3	柵極輝管	61
第四篇	光電管製造	63
第十一章	真空式光電管之製造	63
11.1	玻璃之認識	63
11.2	金屬電極在玻璃中之焊入	64

11.3	金屬電極之處理	65
11.4	構造形式及體積之檢討	66
11.5	真空與壓力	67
11.6	抽氣機	68
11.7	低氣壓之測量	72
11.8	鹼金屬之認識	74
11.9	活動金屬之引入	75
11.10	氧化銻-銀光電管之製造	79
11.11	銻-銻光電管之製造	80
第十二章	充氣式光電管之製造	82
12.1	惰性氣體	82
12.2	惰性氣體之提取	83
12.3	其他氣體對於靈敏度之增進	84
12.4	充氣之方法與步驟	85
第十三章	電導式光電池之製造	88
13.1	感光性硒之製備	88
13.2	硒光電池簡易製造法	89
13.3	格累姆培爾製造法	89
13.4	圓筒式製造法	89
13.5	玻璃管式製造法	90
13.6	硒碲光電池製造法	91
13.7	鉍化光電管製造法	92
第十四章	電壓式光電池之製造	93
14.1	氧化亞銅之製備	93
14.2	光電流之測量	95
14.3	電解液式光電池製造法	96
第五篇	光電管應用	98
第十五章	傳真電報	98

15.1	概說	98
15.2	掃描原理	99
15.3	機械掃描及傳送	100
15.4	電子掃描及傳送	102
15.5	傳真電報之接收	104
15.6	同步與同相	107
第十六章 電視		108
16.1	概說	108
16.2	機械分條	108
16.3	機械播視收視法	109
16.4	電子管之應用	110
16.5	電子顯像管	111
16.6	五彩電視	112
16.7	敏光攝像管	113
16.8	析像管	114
16.9	光電送像管	115
16.10	影送像管	117
16.11	正送像管	118
16.12	影正送像管	119
16.13	電子式播視及收視方法	121
第十七章 有聲電影		123
17.1	聲片之應用	123
17.2	聲帶攝製法	124
17.3	聲帶之發音	125
17.4	有聲機之發音系統	128
第十八章 工業上應用		130
18.1	燈泡測光器	130
18.2	燈泡測溫器	130

18.3	辨色機	132
18.4	顏色分析機	133
18.5	傳透機	135
18.6	電度計校驗	136
18.7	頻率調節器	137
18.8	烟量記錄	137
18.9	斷電設備	138
18.10	鑽孔保險	139
18.11	液體濃度調節	141
18.12	液體流速調節	144
18.13	溫度調節	145
18.14	電焊時間控制	148
18.15	種子檢驗	149
18.16	光電計數機	150
18.17	相版製造	152
第十九章	交通上應用	152
19.1	街衢警燈管理	152
19.2	過橋交通管理	153
19.3	門扉自動啓閉	154
19.4	電梯入門保險設備	156
19.5	電梯水平控制	157
19.6	秘密通訊	158
第二十章	其他應用	159
20.1	紫外光線之測量	159
20.2	太陽光能之利用	160
20.3	屋內外燈光自動啓閉	162
20.4	壁窗控制	163
20.5	魚雷艇控制	165

光 電 管 及 其 應 用

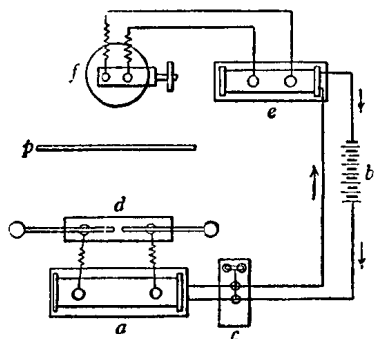
20•6 燭光計.....	167
20•7 飛機偵察.....	167
20•8 星座觀察.....	168
20•9 雲層測量.....	170
20•10 盲人讀書機.....	172
名詞索引.....	174

第一篇 通論

第一章 光電管之演進

1.1 最初之發現

1887年，赫茲用第1.1圖所示的儀器和連接法，做了一個感應錄卷之火花放電的試驗。圖中 a 為大感應錄卷， b 為電池， c 為水銀斷續器， e 為小感應錄卷， f 為火花測微計。由 a 產生強大的感應電流，在 d 的兩棒端放電發生火花，同時由 e 產生較小的電流，而於測微計的兩端，發生約一公厘間隙的火花，然後從 f 處窺察因 d 處火花長度變化所生的效應。因為要使測微計中，所生微弱的火花更清晰些，赫氏就製一小箱，把測微計的四周圍起來，以免光輝四散；可是這樣一來，他發現火花的長度，似乎每次比原來短些。於是他把箱的四周分別先後移去，這時他更進一步地試驗得，祇是遮住感應錄卷火花光線的那一面，才有影響。經過幾次重複的試驗，其結果都是相同，所以他就肯定這是感應錄卷發出火花射線的效應。後來他又於測微計的前面，用一表面光滑的金屬片，來把光線反射，那末，火花放電的長度，又恢復前狀了。若將金屬片移去，以透明的玻璃板來代替，則效應全無。他更以透明和不透明的固體和液體等，一一加以試驗，並在感應錄卷的前端，開一小縫隙，把通過縫隙的光線，由一水晶稜鏡來分散，再移動測微計的間隙，先對準稜鏡光譜的紅色，然

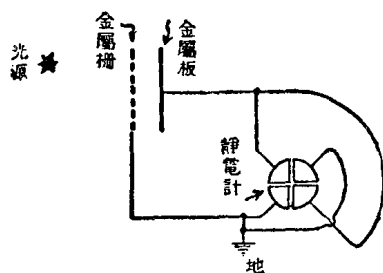


第1.1圖 赫茲試驗感應錄卷火花放電之儀器

後漸漸偏向紫色去，以觀察火花的效應，得知越近紫色，效應越顯著，完全達到紫色時，效應為最大。結果得一結論：效應顯著的程度，與隔離物體傳送紫外線能力之大小成正比。此外如由電弧或燃鎂等所生之紫外光，亦有相同的效應，並且光線射於間隙負端，其效應較射於正端時為大。面積大的球體或片極，較面積小或有尖端的電極易受作用。又表面光亮的物體，其效應較表面粗糙或污濁者為大。赫氏這個試驗，在當時雖看不出有何實際的價值來，但他這發現，成為光電效應研究的開端，却是值得提起的。

1.2 哈爾發克斯效應

1888年，德人哈爾發克斯繼續赫氏的試驗，作更進一步之研究。他將一個絕緣而表面光滑的鋅球，連接於一金箔驗電器上，然後在球上荷以負電，使金箔的兩葉分開。此時如以弧光照射至鋅球上面，金箔立即收合，這表示鋅球已失去負電荷。這個實驗，可以重複至無數遍而相同。但若在鋅球上荷以正電，則雖以極強弧光來照射，驗電器的金箔都無顯著的作用。後來他又試得一個中和體，若受紫外光的照射，就會獲得正電荷；同時如將一個絕緣而荷正電的物體，和另一個荷負電的物體相靠近，再以弧光向後者照射，則前者將失其原有之電荷。因此，哈氏就很確定地說：凡負電荷遭受紫外線的照射時，即行離開所荷之物體，而消失於靜力線中。這個效應，就被稱為光電效應，或哈爾發克斯效應。

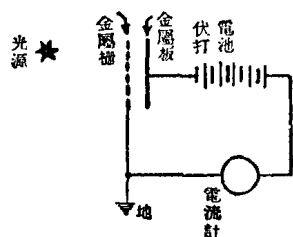


第1.2圖 李歧試驗光電效應之電路

同年有另外兩個研究者，因受哈氏效應興趣的激動，也從事於這現象的研究。其中一個叫做李歧，他用一塊光滑的金屬板，連接於靜電計上相對的兩象限，板的前面置一金屬柵，柵的一端接到靜電計的另外兩象限，然後又接通至地，如第1.2圖所示。當光源經過柵極而照射於金屬板上時，

靜電計的指針，即記錄一定偏斜度，柵和板即趨於同一電位。他決定這偏斜值是由於柵和板兩者原始不同的電位，和接觸後共趨一致，所生的接觸位差。但後來的試驗，又啓示他這結果並不盡然。不過他自己另有一套儀器，可以由光的作用，直接產生電流，並稱之爲“光電池”；若藉兩個同樣的“光電池”互相串聯，那末受光源照射時，靜電計指針的指值，就是加倍了，亦即成爲所謂光電池組。

第二個研究者，叫做斯士力多，他也採用一塊光滑金屬板，和一個金屬柵，與李氏試驗的不同之點，就是他用一个高阻力的電流計，代替靜電計，同時於串聯的金屬板和電流計間，加上一組伏打電池，其電路連接如第 1·3 圖。用這樣測量的方法，當金屬板被光源照射時，即有微量電流，自金屬板的正極起，流經電池及電流計，而達金屬柵。方法雖甚簡單，但可說已經發展到與現在相近似的測量光電效應之步驟了。



第 1·3 圖 斯士力多試驗光電效應之電路

1·3 鹼金屬之採用

繼續哈氏以後，又有埃爾斯忒和蓋替爾兩氏再接再勵，由他們倆協力研究的結果，造成光電管發達史上第二個燦爛的時期。他們從已往金屬光電靈敏性的試驗，得知效果最佳的，要推鋁、鎂和鋅。可是仔細觀察一下，在元素週期表上顯示着，鋁是屬於陽性的，而鎂和鋅比鋁更加屬於陽性，因此他們就想像到元素愈屬於陽性，其光電靈敏性亦必愈大，於是就進而試驗鹼金屬了。最初試驗的是鈉和鉀，無知這兩元素，性質甚爲活動，一經和空氣或水蒸汽接觸，就立即變爲不靈敏的氧化物，或氫氧化物。以後又經過幾番探討，發覺從前試驗鋅的時候，由鋅與水銀化合成爲鋅汞合金，所得的結果，較之單獨的鋅來得滿意。於是他就將這方法，利用於鈉和鉀。直至 1889 年，才證實這是一個更佳的结果，那就是不論鈉汞合金或鉀汞合金，其靈敏度都要遠勝於鋅汞合

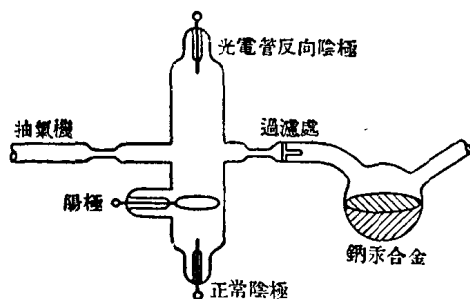
金。下表是他們用各種元素的汞合金，受微弱日光照射後，放電率的定量試驗。 V_0 為原來負電壓； V_t 為受光源照射 t 秒後剩餘的電壓。

合 金 名 稱	V_0 伏 特	V_t 伏 特	t 秒
純汞.....	185	175	30
鋅汞.....	195	116	15
鈉汞.....	195	0	10
鉀汞.....	195	0	5

鈉或鉀的汞合金，當光源照射時，雖經一層透明玻璃的隔離，亦能使之迅速地發生放電的現象，這就是說：不一定要波長甚短之紫外線一類的光波，即普通入眼可見的光波，也可達到發生光電作用的目的。

1.4 光電管問世

埃爾斯忒和蓋替爾兩氏，在發現鹼合金之應用的次年，就以鈉汞合金作為輻射體，製成第一個光電管。輻射體係塗於高真空的玻璃管內壁，再於對壁開個小窗，以供光源的透入，它的構造，自第 1.4



第 1.4 圖 埃爾斯忒和蓋替爾兩氏製造之鈉汞合金光電管

把負極復新。換言之，亦即這種合金的光電效應不能持久。

大約再過四年的光景，哈爾發克斯也另外設計一個測量光度的光電管，它的構造，是由一個抽空的管機，和一片表面塗上黑氧化物的銅板作為負極來組成的。這在光電效應的持久性，已經改良至能保持數

月之久了，可惜在靈敏方面，竟完全不受人眼可見光線的影響，也可說是美中不足。後來埃蓋兩氏，復從他們發現之鹼金屬的途徑，再加以深切的研究。最先他們發覺氫化物結晶體，較二者本身的靈敏性要高得多，畢竟就在這裏找到一個新發展的園地。他們把氫放進由鹼金屬製成的管內，然後使它放電，於是負極的表面，受放電作用，而變為膠體狀態，這樣製成的光電管，其靈敏度較之從前所製者，要高出百倍之多。不僅如此，他們還孜孜不倦地改良，直至 1912 年，已把靈敏度改進較最初所製者，增高至兩百倍了。現代所用的許多光電管，也不過是換湯不換藥，將埃蓋兩氏的氫化鹼素電池，加以改良而已。

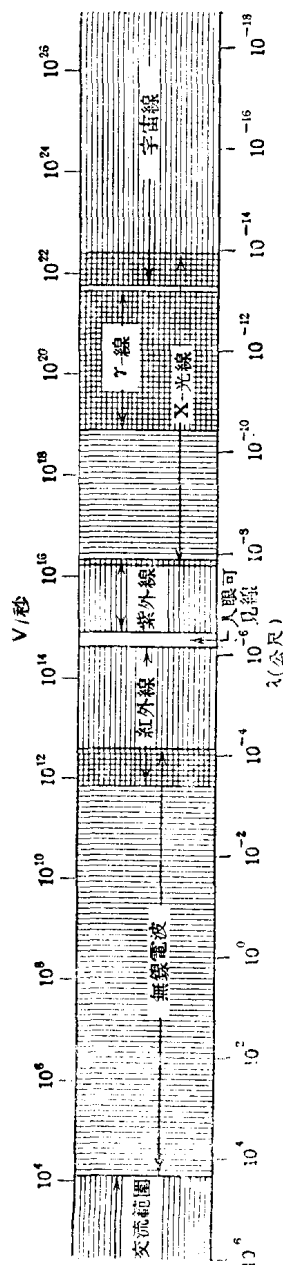
1.5 經驗之定律

也不知經過了多少研究者，試驗的結果，關於光電的關係，才逐漸地結晶，成為兩條經驗的定律。條文是經過許多次數的修改，最初錯誤的結果，可說差不多已經完全免除了。第一條是：“每單位時間，光電表面電子釋放之數目，與入射光源強度成正比”。這定律曾經太陽光之自零起，以至可能之最大強度的試驗；其中亦有差異之處，惟可以下面各種原因解釋之：如測量上的錯誤，或電池內部的缺點等，致使真正釋放的電子，不能準確地被收集攏來。第二條是：“每單位時間，光電表面釋放電子之最大能力，與入射光源之強度無關，而與光源之頻率成正比”。或者可解釋為：電子因受光源之入射而釋放的速度，各有不同，但其中最高的速度，係以光源之最大頻率而決定。無論光源強度加強至何程度，電子之最高速度，亦不能增加。

第二章 基本原理

2.1 光譜

宇宙間一切輻射的能源，如果按照它們頻率的高低，或波長的長短，排列起來，就和音階一般地井然不紊，如第 2.1 圖。



第2-1圖 光譜

人眼可見的光線，因受眼睛網膜感光遲鈍的限制，在整個光譜中所佔的階段，不過極其微小的一部份而已。光波輻射的頻率，如每秒振動達 7.5×10^{14} 次，在人眼視覺中所察者，就是紫色。若每秒振動次數，僅為上述之一半時，則為紅色。換言之，即人眼可見輻射線的波長，係介於 3.8×10^{-7} 與 7.6×10^{-7} 公尺間之一小段，除此範圍以外，則不論其波長較長或較短，皆不能覺察之。波長比 3.8×10^{-7} 公尺短者，即紫外線，紫外線之最短者為 1.36×10^{-8} 公尺，和紫外線相近的乃 X-線。X-線最長的波長，按俄斯古德試驗成功的記載，為 1.67×10^{-8} 公尺；其最短者，係得騷兒和巴克兩氏從原子量最重之鈾，試驗而得者，乃 1.04×10^{-11} 公尺。波長比 X-線更短的一段，為由放射元素所放射的 γ -線，它的波段係自 3.9×10^{-11} 至 5.57×10^{-13} 公尺。此外，除了極小部尚未發現者外，世間上一切波長之最短者，要推宇宙射線了。宇宙射線是黑斯發現的。倘依照密爾根與卡美隆藉天體振盪吸收係數推測所得，它的波長應自 5.25×10^{-14} 公尺起，至 8×10^{-15} 公尺止。

在另一方面看來，波長較人眼可見線長者為紅外線。據尼科爾斯與提爾試驗之結果，知該段波最長者為 4.2×10^{-4} 公尺。再退後一段，便是無線電波。無線電波之最短者，竟超入紅外線的界限，而達 $8.2 \times$