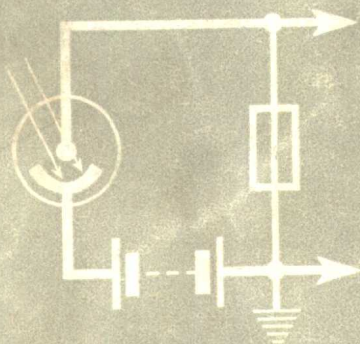


光电管及其应用

苏联 H. O. 切契克 著

董克羣 译



人民邮电出版社

苏联
业余无线电
丛书

光 电 管 及 其 应 用

苏联 H. O. 切契克 著

董 克 羣 译

版 社

內 容 提 要

本書首先概括地敘述了照明技術原理，接着介紹了現代各種光電管（如真空光電管和充氣光電管，障蔽光電池，光敏電阻和光電倍增管）的構造和工作原理。同時并引述了這些光電管的主要參數和特性曲線；例舉了各種光電管的基本接線圖和一些應用實例。

И. О. ЧЕЧИК

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1955

光 电 管 及 其 应 用

著 者:	苏 联	И. О. 切 契 克
譯 者:	董	克 羣
出版者:	人 民 郵 電 出 版 社	
	北 京 東 四 區 6 條 胡 同 13 號	
印 刷 者:	人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠	
	南 京 太 平 路 戶 部 街 15 號	
發 行 者:	新 華 書 店	

1957年4月南京第一版第一次印刷1—6,566册
787×1092 1/32 60頁 印張 $3\frac{2}{3}$ 印刷字數78千字 定價(10)0.60元
北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號
統一書號: 15045·總501-无141

序

光电效应 广义地说这个概念就是指电路中的一个元件在光^①的作用下，能够产生电流或改变电流大小的一种现象。把光能转变成电能的器件，其作用是利用光电效应的，这种器件叫做光电管。

目前，大家所关心的就是：怎样把最新的科学技术成就广泛地运用到国民经济的一切部门中去，实现生产过程的综合机械化和自动化，改善生产方式和方法，不断提高科学研究工作的水平。

光电管正在各个科学技术部门中广泛地并且日益扩大地被应用着。有声电影、有线和无线传输图象（传真）、远距离观看（电视），这些都是以光电效应为基础的。

光电管——电眼，能够在许多复杂的和容易使人疲劳的过程中代替人的眼睛。此外，在使生产过程自动化；使劳动及生产方式和方法更为完善；提高技术安全性以及在更完善的技术基础上完成科学研究等工作中起着很大的作用。

本书向广大读者，首先是有经验的无线电爱好者介绍各种光电管的主要性能、参数和特性曲线，现代苏联光电管的数据和光电管的最主要的应用。

本书的最后一页，附有推荐参考书目，读者如感到兴趣，想进一步知道各式光电管的参数以及光电管的各種应用，可以參考。

作 者

① 光电效应不仅在可见光线的作用下产生，全时在不可见射线（如红外线、紫外线）以及其他的辐射（如 α 射线和 γ 射线）的作用下也都可以产生。

目 錄

序

第一章 照明技術原理

电磁辐射頻譜和辐射能.....	(1)
能量在頻譜中的分佈.....	(2)
热辐射.....	(3)
光通量和照度.....	(6)
辐射能接收器的單頻灵敏度和積分灵敏度.....	(8)

第二章 利用外光电效应的光电管

外光电效应, 基本規律性.....	(10)
光电陰極的特性.....	(12)
光电管的構造.....	(16)
真空光电管和充气光电管的主要参数和特性曲綫.....	(16)
几种苏联光电管的标准数据.....	(23)
光电管的接綫圖.....	(25)

第三章 光电倍增管

二次电子放射.....	(28)
光电倍增管倍增原理.....	(29)
光电倍增管的構造.....	(30)
光电倍增管的主要参数和特性曲綫.....	(32)
几种苏联光电倍增管的数据.....	(34)
光电倍增管的接綫圖.....	(35)

第四章 光敏电阻

内光电效应.....	(39)
光敏电阻的类型.....	(40)
光敏电阻的主要参数和特性曲线.....	(41)
苏联出品的一些光敏电阻的标准数据.....	(47)
光敏电阻的接线图.....	(49)

第五章 障层光电池

障层光电效应.....	(50)
障层光电池的类型.....	(51)
障层光电池的主要参数和特性曲线.....	(53)
障层光电池的标准数据.....	(58)
障层光电池的接线图.....	(59)

第六章 利用光电管作自动开关和調節

光控继电器, 光量和应用光控继电器的场合.....	(62)
各种光控继电器线路的选择.....	(63)
自动装置中的电机元件.....	(65)
照射器、光电管和它的附件.....	(70)
光控继电器的线路.....	(77)
光控继电器的应用实例.....	(80)

第七章 利用光电管测量和記錄

光度学、光电光度計和閃爍計数器.....	(88)
測量法.....	(90)
灵敏極限以及无照电流的减低和补偿法.....	(93)
通量測量范围和頻譜范围的擴大法.....	(99)
微弱光电流的放大.....	(104)
光电管在測量中的应用实例.....	(104)
結束語.....	(113)
附錄.....	(114)
參考書.....	(116)

第一章

照明技术原理

电磁辐射频谱和辐射能

能的许多种形式，如热能、化学能、机械能、电能是大家很熟悉的。除了这些之外，还有一种叫做辐射能的能量形式。

所有在空间传播的电磁波的能，统称辐射能。

辐射能是以电磁波的形式在空间向四面八方传播，它的传播速度不变，约为 3×10^{10} 厘米/秒。这个速度就叫做光速。辐射能的特征是用电磁波的频率或辐射的波长来表明。

光速 C 、频率 ν 和波长 λ 之间的关系是： $C = \lambda \nu$ 。频率以周(μ)计；一周就是在1秒钟内振动一次。

如果光速用厘米/秒来表示，那么波长最好用厘米来表示。通常波长还用千米($\mu\mu$)、米(μ)、厘米(cm)、毫米(mm)、微米($\mu\mu\mu$)、毫微米($\text{m}\mu\mu$)、埃($\text{\AA}$)和爱(X)为单位表示。这些单位之间的关系如下：

$$1 \text{ 厘米} = 10^{11} \text{ 爱} = 10^8 \text{ 埃} = 10^7 \text{ 毫微米} = 10^4 \text{ 微米} = 10 \text{ 毫米} \\ = 10^{-2} \text{ 米} = 10^{-5} \text{ 千米}。$$

以一定的次序把各种电磁辐射排列起来（例如以波长逐渐增加的顺序排列），就可以得到图一所示的电磁辐射频谱。

从图1可以看出，波长最短的是宇宙线，约为 10^{-14} — 10^{-18} 米。下面接着是 γ 射线、X射线、紫外线、可见光线和红外线、

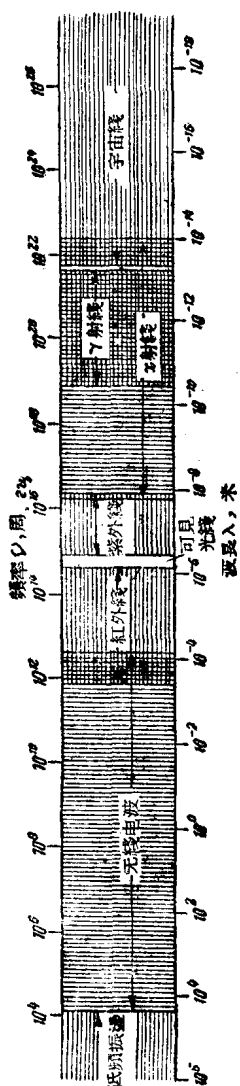


圖 1. 电磁辐射的頻譜

无线电波，到最后是交流發电机產生的低頻电磁振盪，它的波長为 10^6 — 10^4 米。可見光綫在电磁輻射頻譜中所佔的是在 3.8×10^{-7} — 7.6×10^{-7} 米（或 0.38 微米—0.76 微米）之間的一个狹窄頻帶。輻射能通常用尔格或焦耳計量（1 焦耳 = 10^7 尔格）。

实际上，輻射能的大小可以用輻射通量，即單位時間內所輻射的能量——來衡量。輻射通量 Φ 代表輻射能的功率，以尔格/秒或瓦特計量（1 瓦特 = 10^7 尔格/秒）。

能量在頻譜中的分佈

輻射能的存在，可以利用各种輻射能接收器顯示出來。这些接收器有：无线电接收机和高頻振盪指示器、照相底片的感光層、視覺器官、熒光剂、热电偶和热敏电阻、光电管、 γ 輻射計和光子計以及其他等等。

各种輻射能接收器的特性是各不相同的。有一些有選擇性的接收器，它对于不同頻率有不同的灵敏度；另一些是沒有選擇性的，它对于不同頻

率的輻射都有同样的灵敏度。有的接收器，如照相底片的感光層、人的皮膚和暫時熒光劑等，對於輻射能作用的延續時間有反應，能把輻射能積儲起來。但是大多數接收器都只对輻射通量的強弱有反應，而與延續時間沒有關係。

為了確定某一輻射源的能量在頻譜中的分佈情況，要利用沒有選擇性的接收器。通常用作這一目的是輻射熱測量器或熱電堆，熱電堆就是緊密裝置在一起的一組串聯的熱電偶。

輻射能或以某一波長的射綫輻射——單波能；或以不同波長的射綫同時輻射，這時輻射出來的能就是非單波能。實際上，輻射源的輻射，大都不是單一波長的。

借助專門儀器（如單色儀、攝譜儀），可以研究能量在頻譜中的分佈情況。進行研究時，先把要研究的復波輻射分成頻譜，然後再把这个頻譜中的各個單波射綫束依次射向一個沒有頻率選擇性的接收器。這樣，就可以把能量在頻譜中的分佈情況記錄下來。

熱 輻 射

在人類的生活和活動中，各種熱輻射源起着重要的作用，例如太陽、火焰和各種白熾電燈等。

輻射源的溫度、輻射的波長和它所輻射的能量三者之間的關係，是由熱輻射定律確定的。

利用所謂絕對黑體可以比較各種不同的熱輻射源。

絕對黑體或全輻射體是這樣一種物體，不論輻射源的溫度和輻射的波長如何，它都能夠把射到它上面的能量完全吸收。

自然界中是沒有絕對黑體的。但帶有一個小孔的純炭質球，具有非常接近絕對黑體的特性。光綫通過這個小孔射進球體內部，經過球壁的多次反射，實際上就被球體完全吸收了。如果把這個球均勻地加熱，它的小孔就輻射能量。這種輻射具有一定的亮度和一定的顏色。掌握了絕對黑體的热輻射規律，就可以利用它的輻射跟被試驗物体的輻射進行比較（使兩者的亮度或顏色相等），來測定被試驗物体的輻射規律。热輻射是用單位面積的輻射功率來衡量的，這種功率值叫做物体的全輻射率或輻射密度 R 。如果輻射出來的能量是單一波長的，那麼這種值就叫做物体的單頻輻射率或單頻密度 R_λ 。

根據蒲朗克理論，絕對黑體的單頻輻射密度同波長 λ 和絕對溫度 T ^①的關係是：

$$R_\lambda = C_1 \frac{\lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1},$$

式中 C_1 和 C_2 是常數， e 是自然對數底（ $C_1 = 3.74 \times 10^{-12}$ 瓦特/厘米²； $C_2 = 1.43$ 厘米 $\times$ 度； $e = 2.718$ ； R_λ 以瓦特/厘米²來表示； λ 以厘米表示）。

根據單頻輻射密度 R_λ 的大小，可以確定單頻輻射通量 $\Phi_\lambda = R_\lambda S$ ，這裡 S 是通量 Φ_λ 所照射的面積。全輻射通量 $\Phi = RS$ 。

自然界存在的各種非黑體吸收或輻射的能量，在溫度相同的條件下，比絕對黑體要少一些。所以，非黑體的單頻輻射密度 $\gamma_\lambda = e_\lambda R_\lambda$ ，式中的係數 e_λ 叫做物体的單色輻射係數，該係數小於1。

① 絕對溫度是從所謂“絕對零度”（ -273°C ）起計算的，用 $^\circ\text{K}$ 表示。

每一种非黑体的系数 ϵ_λ ，各有它自己的值，值的大小要根据温度和波长来定。从圖2可以看出，当温度为 2870°K ，在波长为 $0.45\text{—}0.66$ 微米之間，鎢的辐射约为绝对黑体的 $1/2$ 。約略測定單頻密度 r_λ 的方法，是在同一波长 λ 下來比較非黑体和黑体所辐射的亮度或顏色。

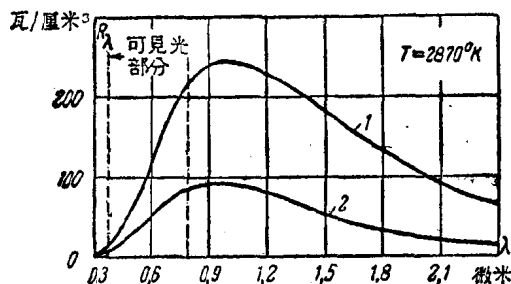


圖2. 光譜辐射密度与波长的关系。1. 绝对黑体的；2. 鎢的。

在比較时，当绝对黑体和非黑体的表面亮度相同时，非黑体的表面有效温度或表面实有温度 T 就与绝对黑体的亮温 T_b 相应；而当两者顏色相等时，就与绝对黑体的色温 T_c 相应。

第一表所列，是在 1500°K — 3000°K 之間与鎢的真实温度相对应的亮温和色温。

第 1 表

$T, ^\circ\text{K}$	$T_b, ^\circ\text{K}$	$T_c, ^\circ\text{K}$
1500	1420	1517
1600	1509	1619
1700	1597	1722
1800	1684	1825
1900	1771	1929
2000	1857	2033

續第 1 表

$T, ^\circ K$	$T_R, ^\circ K$	$T_q, ^\circ K$
2100	1943	2137
2200	2026	2242
2300	2109	2347
2400	2192	2452
2500	2274	2557
2600	2356	2663
2700	2437	2770
2800	2516	2878
2900	2595	2986
3000	2673	3094

光通量和照度

我們的視覺器官是一種有選擇性的輻射能接收器。

大家知道，在日間的視覺條件下，眼睛對波長 0.555 微米的黃色光綫最敏感。如果波長大於或小於 0.555 微米時，眼睛的靈敏度就降低了。

對於 0.38 到 0.76 微米這個範圍以外的波長，眼的靈敏度幾乎等於 0。

眼對於射入眼內的單色輻射通量的絕對靈敏度，叫做眼的可見度，用 V_λ 來表示。眼的可見度 V_λ 隨着波長的變動而改變；在日間的視覺條件下，當 $\lambda = 0.555$ 微米時達到最大值，即 $V_\lambda = V_{\lambda, \max}$ 。通常用相對可見度係數 $K_\lambda = \frac{V_\lambda}{V_{\lambda, \max}}$ 來表示眼的相對單頻靈敏度， K_λ 因波長的不同而具有由 0 到 1 的數值。眼的相對可見度係數與波長的关系（日間的視覺）見圖 3。

能够使我們的眼晴產生光感的輻射通量，叫做光通量。光

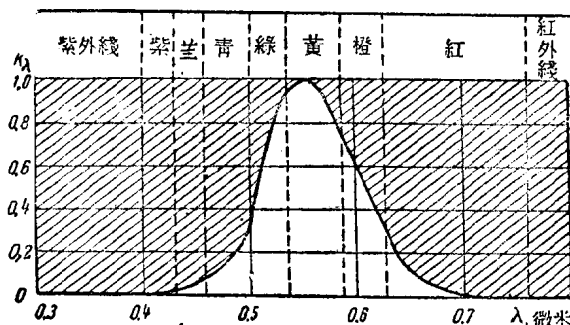


圖 3. 日間視覺的相對可見度曲綫

通量的單位是流明 (LM)。單色的光通量可以用 $F_{\lambda} = V_{\lambda, \text{max}} K_{\lambda} \Phi_{\lambda}$ 來代表，式中 F_{λ} 以光通量單位——流明計算， Φ_{λ} 以瓦特計算，而 $V_{\lambda, \text{max}}$ 是常數，等於 683 流明/瓦特。

與可見光（從 $\lambda_1 = 0.38$ 微米到 $\lambda_2 = 0.76$ 微米）的一切可能的波長 λ 相應的各個單色光通量 F_{λ} 的總和，等於全光通量或積分光通量 F 。

實際上，光通量 F 的大小是以光通量角密度——光源的光度 I_{cs} 來決定的， I_{cs} 以燭光 (CB) 計。測定光通量的值，可利用以下公式：

$$F = I_{cs} \frac{S}{l^2},$$

式中 l 是從光源到受照射面的距離（以厘米計），而 S 是受照射面的面積（以厘米²計）。光源通常是利用發光體面積很小的點光源。

舉個例子，如果一盞燈的光度等於 100 燭光，它射到距離這個發光體 100 厘米遠的、1 厘米² 的面積上，那麼光通量就是：

$$F = 100 \times \frac{1}{100^2} = 0.01 \text{ 流明。}$$

光通量 F 射到与光綫束垂直的、面積为 S 的面上时,就在这个面上造成照度为 $E = \frac{F}{S}$ 的光点。由此可見,照度就是光通量的横断面密度。照度單位是勒克司(lx)。值为1流明的光通量照射到1米²面積上,就產生1勒克司照度。面積以厘米²計算时, 1×10^{-4} 流明光通量照射到1厘米²面積上,就產生1勒克司照度。

輻射能接收器的單頻灵敏度和積分灵敏度

若用某一單頻輻射通量 Φ , 照射輻射能接收器, 而其波長 λ 不超出該接收器的灵敏度范围时, 則接收器对这一波長 λ 的輻射通量所起的反应, 就用接收器的單頻灵敏度 γ , 來表示。

如果一种接收器能將輻射通量变为电流, 那么这种接收器在受到單位功率的單頻輻射通量照射时所得到的电流, 就根据單頻灵敏度的高低來決定。

假使我們有一种輻射能源, 可以均匀地改变單頻輻射通量 Φ , 的波長, 而在任何波長 λ 时都保持通量的功率不变。用这种通量來照射接收器, 就可以得到接收器的絕對單頻特性曲綫, 这个曲綫表示單頻灵敏度 γ , 与波長 λ 的关系。这里 γ , 用某些絕對單位表示, 如安培/瓦特。

假定这是一个有选择性的接收器, 只要在特性曲綫上找出 γ , 的最大值, 即找出 γ_{max} 的值之后, 就可以求出接收器的相

对單頻灵敏度 $\gamma_0 = \frac{\gamma_\lambda}{\gamma_{\lambda, \max}}$ 。当灵敏度最大时, $\gamma_\lambda = \gamma_{\lambda, \max}$, 因而 $\gamma_0 = 1$ 。

对于沒有選擇性的接收器來說, 不論波長 λ 为任何值, 总是 $\gamma_\lambda = \gamma_{\lambda, \max}$ 。因而不論在任何波長 λ , γ_0 总是等于 1。

表示相对單頻灵敏度 γ_0 与波長 λ 关系的特性曲綫, 叫做接收器的相对單頻特性曲綫, 或簡称接收器的單頻特性曲綫。

各种实际的輻射能源、特别是热輻射源, 它們的能量在頻譜中的分佈是不均匀的。因此, 用它來測定接收器的單頻特性曲綫时, 就必须考慮到这种輻射源的能量在頻譜中的分佈情况。

接收器受到全輻射通量照射时, 它对这一通量的反应, 是用接收器的全灵敏度或積分灵敏度來表明。

与接收器灵敏度范围 ($\lambda_0 - \lambda_p$) 内所有波長 λ 相对应的各个單頻灵敏度 γ_λ 的总和, 等于接收器的積分灵敏度 γ 。

在圖示中, 接收器的積分灵敏度是由橫座标軸和 $\gamma_\lambda - \lambda$ 的关系曲綫所包圍的面積來表示。

表示積分灵敏度 γ 的單位跟表示單頻灵敏度 γ_λ 所用的單位是相同的。光电輻射能接收器的積分灵敏度用安培/瓦特表示。如光电接收器僅僅对可見光綫有反应时, 它的積分灵敏度就可以用安培/流明表示。在这种情况下, 除了考慮光源的能量沿頻譜的分佈情况之外, 还应当考慮到相对可見度的特性。但是有时候有人搞錯, 竟用安培/流明表示对紫外綫和紅外綫敏感的光电接收器的積分灵敏度。这种錯誤是很明顯的, 因为 λ 为 0.38—0.76 微米范围以外的射綫的可見度 V_λ 等于 0。所以, 在类似情况下用安培/瓦特來表示接收器的積分灵敏度就比較正确。

第二章

利用外光电效应的光电管

外光电效应，基本规律性

1888年莫斯科大学教授亞歷山大·格利果里耶維奇·斯托列托夫進行了他的著名試驗，这个試驗是这样的：把相对放置着的两个电極接到一个由電池組 B 和檢流計 T 組成的電路上（如圖 4），这两个电極一个是鋅板極 U ，另一个是黃銅柵極 A 。当电弧 A 的光綫照射电極 U 时，这个电路中就產生直流电流，而由檢流計指示出來。

这种現象就叫做斯托列托夫光电效应。

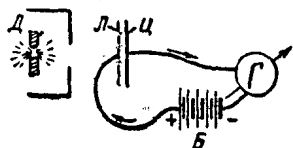


圖 4. A. T. 斯托列托夫試驗的說明圖

進一步研究証明，在斯托列托夫的試驗中之所以有电流發生，是因为被照射的物体表面（斯托列托夫試驗中的鋅板極）放射出帶負电荷的微粒

——电子的緣故。这种电子从受照射物体表面飛出的現象，叫做外光电效应或光电放射。

現在我們研究一下，电子从金屬中飛出时所需的条件。金屬的結構是一种在其結合点聚集着許多原子的晶格。而这些原子很容易失去分佈在其外層的电子。所以在原子与原子之間有許多自由电子以一切可能的方向运动着。

当电子欲从金属表面飞出时，电子就受到它附近已电离的（即失掉一个或几个电子的）原子吸引，而返回到金属中。这样一来，在金属的表面就有一层密集的电子复盖着，而形成一层负电荷层。由于这个负电荷层的作用，在金属表面就发生电位的突变，阻碍着电子向外飞出。

要使电子能够克服阻碍着它的力量，从金属中飞出，那就必须给它以附加的能量 W_0 ，这种能量叫做逸出功。逸出功以电子伏来表示，它相当于电子由具有某一电位 U_1 的点移向具有较高电位 U_2 的点时所需的能量。

因此，逸出功 $W_0 = e\varphi_0$ ， e 是电子的电荷，等于 1.6×10^{-19} 库伦 (K)，而 $\varphi_0 = U_2 - U_1$ ，代表电位差，其单位是伏特。

根据量子论，辐射通量即是大量极小的能量质点、即辐射能的量子（又叫光子）的通量。

辐射的量子能量等于 $h\nu$ ， h 是蒲朗克常数等于 6.6×10^{-27} 尔格秒， ν 代表辐射通量的振动频率。可见，振动频率越高，量子的能量也就越大。

落到金属表面的量子的通量，一部分被金属原子吸收，原子获得了能量就使金属中电子的能量增加。如果量子的能量超过逸出功，电子就能够飞出金属的表面。

由于平板电极（即光电阴极）和网形电极（即阳极）之间有外加的电位差，所以从金属中飞出的电子就向阳极运动，因而检流计上就指出了电流的存在。

斯托列托夫曾确定，光电流的值，即从光电阴极放射出来的电子数量与射到光电阴极表面的辐射通量成正比。这个规律