

光电元件

赫鲁肖夫 著

中国电影出版社

光 电 元 件

(苏联)A·A·赫鲁肖夫著

郁 铭 译

中 国 电 影 出 版 社

1958·北京

А · А · ХРУЩЕВ

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

«ИСКУССТВО»

Москва 1955

*

本書根据莫斯科国家艺术书籍出版局

1955年印刷本譯出

光 电 元 件

(苏联) А · А · 赫魯肖夫著

郁 銘 譯

*

中国电影出版社出版

(北京西便門會館街12号)

北京市書刊出版業登記許可証出字第089号

北京新华印刷厂印刷 新华書店发行

*

開本 707×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ · 印張 3 $\frac{5}{8}$ · 字數 18,000

1953年2月第1版

1953年2月北京第1次印刷

印數 1—900册 定價 (10) 元

統一書号: 15.61·33

目 录

序言.....	1
第一章 放射能和声帶激励灯的特性概論.....	3
第二章 外部光电效应的光电元件.....	11
第三章 光电倍增管.....	30
第四章 内部光电效应的光电元件(光电阻).....	45
第五章 障层光电效应的光电元件.....	51
第六章 光电管与声帶的有效輸出.....	57
第七章 光电元件在电影还音設備中的运用.....	68
第八章 多級光电倍增管在电影还音設備中的运用.....	93
第九章 光电阻在电影設備中的运用.....	101
附录.....	105

序 言

把放射能（可視光綫和非可視光綫——紫外綫、紅外綫）变为电能
的仪器叫做光电元件。

制造光电元件和研究其特性的創始工作，早在1888—1889年就已由
俄国的著名学者莫斯科大学教授斯托列托夫所完成，他发现了：光电流
与照射在光电管感光层表面上的光流成正比的光电效应基本定律。

苏联的学者們在发展和改进光电元件方面发挥了巨大的作用，如：
苏联科学院通訊院士基莫費耶夫教授，他曾在全苏列宁电气工业研究所
完成了在技术界获得广泛运用的氧化鋇光电管，及其他光电元件的原設
計工作；在科学院院士魯基爾斯基的领导下，列宁格勒电影工程学院試
制了第一批国产的銻-鋇光电管；还有庫別茨基和其他許多学者发明了
光电倍增管。

苏联电气真空仪器工业的迅速发展，保证了各种类型光电元件的大
量生产。在掌握和发展成批生产的各种类型光电元件方面的功績，应归
莫斯科电子管厂和該厂的几位工程师——別里亞耶夫、闊諾瓦洛夫和拉
保特諾瓦姪。

电影照相科学研究所（尼克菲），正在系統地进行着光电仪器及如
何把它們运用到有声电影中的研究工作。

在研究、制造和运用光电仪器过程中所获得的成就，使我国在創制
一系列現代化構造的光电元件和光电倍增管方面，以及在国民經济各个
部門中，特别是在电影事业中广泛运用这些仪器方面都居于首位。

苏联电影事业部門，第一个在世界上大規模地使用銻-鋇光电管，
而最近几年来所有專業性的电影放映設備，已完全改用單級光电倍增
管。許多使用高灵敏度的多級光电倍增管的电影放映設備，也初次在我
国制造出来，并且經過了試驗。

在各个技术部門和工业部門里，光电元件得到了越来越广泛的运

用。工厂里生产过程的檢查和自动化、傳真电报的傳播、無綫电傳真、測量仪器以及其他許多方面，都要采用光电元件。而大量需要光电元件的，要算是有声电影了。

电影还音設備的光电管，在把影片声帶調幅光束变为調幅电流这方面，起着重大的作用。影片还音的質量，在相当大的程度上，是决定于光电管本身的特性和对它的正确使用。

在这本小冊子里，將闡述光电元件作用的原理；研究在电影設備中使用光电元件的各种电路及其使用情况；并談談电影事业部門在运用光电元件方面的显著进步。

第一章

放射能和声帶激励灯的特性概論

光电管是放射能的一种接收机。当放射能流照射在光电管上时，光电管的迴路中就会产生电流。

为了透彻地了解光电元件的动作原理和特性，必須对放射能有一个基本概念。电磁波在空間傳播时放射出来的能量叫作放射能。电磁波傳播的速度非常快，大約为300000仟米/秒。

不同类型的电磁发射的特点，是与其相应的电磁波的长度不同或波的振蕩頻率不同①。

各种电磁发射具有共同特性。它們都是由于改变了物質中原子的力能状态而产生的。根据波长（換句話說，根据波的振蕩頻率），可以將各种电磁发射按其物理特性很清楚地区分开。各种电磁发射（具有与其相应的頻率及不同波长）的光譜图解（綜合图解）见图一所示。

整个光譜中包括各种类型的发射，这些发射的波长从几仟米直到 $\frac{1}{10000000000}$ 毫米。

- ① 在波振蕩的一个周期（ T ，以秒計）内波（約为300000仟米/秒的速度）所通过的距离叫做波长（ λ ，讀作拉姆达）： $\lambda = c \text{（速度）} \cdot T$ 。計量波长的單位有仟米、米、厘米、毫米、微米（1微米 = $\frac{1}{1000}$ 毫米）、

毫微米（1毫微米 = $\frac{1}{1000}$ 微米）和埃（1埃 = $\frac{1}{10}$ 毫微米）。

波在一秒鐘内振蕩的周数为振蕩頻率（ f ）。頻率以赫芝計：

$$f = \frac{1}{T} \text{ 赫芝。}$$

这样，振蕩波长与振蕩頻率之間的关系就可由下列公式来表示：

$$\lambda = \frac{c}{f}。$$

由一般用电频率（50赫芝）的电流和声音频率（从20赫芝到20000赫芝）的电流所引起的电磁发射，都处于最长波的范围內，因而也都处于最低頻的范围內。

波长在几仟米到十分之几毫米范围内的电磁发射，通常叫做無線电波。無線电波在無線电广播、無線电联络、無線电傳真和無線电测位方面，广泛地运用着。

处于波长約为从100微米到0.8微米的光譜范围内的紅外線，是帶有热的，因此也常常叫做热光綫。

可視光綫乃是我們眼睛能感觉到的电磁发射。这种光綫在整个光譜中仅占波长为760埃到380埃这很小的一段。

图1画的是可視光譜，其比例已放大并根据不同的顏色分成許多段。大家都知道，这是当白光①（如日光）綫通过三棱鏡时分解出来的。从图一可以看出，在可視光譜中紫色和藍色光綫位于短波部分，而紅色光綫位于长波部分。

我們的眼睛对于可視光譜中各种光綫的感受是不一样的。人眼最敏感的是黃綠光綫（波长为555埃）这一部分。而从該部分往兩边去，人眼的敏感程度就显著地下降。

可視光綫的后面是非可視的紫外綫光譜部分，紫外綫的波长比可視光綫（約为350毫微米到5毫微米）还要短。紫外綫被利用在医学上（石英灯），它能使日光灯（螢光灯）和发光顏色中的特种物質（螢光物）发光。

爱克司光綫（从5毫微米到0.004毫微米）在光譜中的波长更短，这种綫在現代医学上运用甚广，还用来分析物質的構造以及应用于其他各种用途。

爱克司光綫的后面是波长極短的光綫（0.004毫微米到0.0001毫微米）部分，叫做 Γ 綫，它是放射性物質（鈾、鐳、釷）所放出的。由于原子能的研究和利用， Γ 綫也就具有越来越大的重要性。

最后，在 Γ 綫后面的是目前人們所知道的光綫中最短的光綫部分，叫做宇宙綫。这种綫从宇宙空間透到地球上，在大气的上层就能很好

① 可視光譜的所有波长，都以同样的能量发射，所構成的光叫做白光。

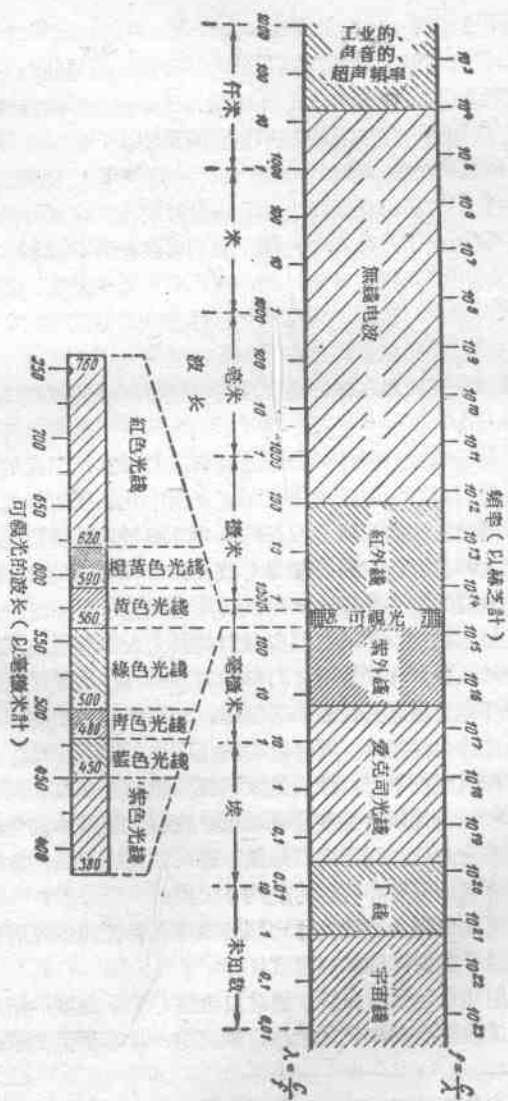


图1. 电磁发射的光谱

地發現它。

圖1中，光譜被明顯地用綫劃分為許多段，這是假設的。事實上這些放射體（如太陽、白熾燈）的光譜都具有連續漸進的特性，所以光譜上從一段過渡到另一段的界限並不是很明顯的。

為改進和研究光電元件的特性所進行的多方面的研究工作，使我們能够在電磁發射光譜的各個段上，看出各種類型光電元件的光電靈敏度。目前已製造出了幾種光電元件，它們對波長為2—3微米以下的非可視紅外線、對可視光綫、對紫外綫和愛克司光綫的感度，都極靈敏。

在有聲電影中，也像一些自動化過程和大部分其他實際採用光電元件的部門一樣，是用白熾燈來作光源的。

現在我們來講講用在電影還音設備中照射聲帶的鎢絲白熾燈的特性。

白熾燈屬於溫度放射體一類，這種燈的燈絲以相當高的溫度使放射體發射。白熾燈具有發射的連續光譜，光譜中包括所有的光綫，從光譜中可視部分波長最短的光綫（波長約為380毫微米的紫色光綫）起，直到光譜中遠處非可視的紅外線部分（波長為4—5微米的熱光綫）為止。

但是白熾燈光譜各個段上發射的彈度（能量）並不是一致的，發射強度決定於燈絲溫度。普通照明白熾燈的最大發射能量，應該鄰近紅外線（ $\lambda = 1 + 1.1$ 微米）的範圍。燈絲的溫度越高，則其最大發射能量也就越多地轉移到光譜波長較短的範圍中，因而發射出來的綠色、藍色、青色和紫色光綫也就越多。同時發射的色度也越接近白光。

隨著燈絲溫度的下降，最大的發射部分就越來越向長波方面轉移，藍色、青色和紫色光綫的強度逐漸減低，發射的色度中紅色的成分越來越多，然後變為赭色，而當溫度繼續下降時，可視光綫的發射就逐漸停止，最後留下來的只有非可視（熱的）光綫。

由此可見，發射色度決定於可視光譜中各種光綫的發射強度，而發射強度又決定於放射體的加熱程度。

溫度放射體（包括白熾燈）通常以色溫（ T_c ，溫度的絕對標度）來表示①。太陽表面有6000度的色溫，很亮的、功率很強的照明燈的鎢絲

① 絕對標度的溫度等於攝氏溫度再增加273度（ $^{\circ}\text{a6c} = ^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}$ ）。

色温为3100度，不太亮的、功率較小的照明灯的色温則为2500度。

光源的光譜特性曲綫，提供了一个关于光源发射性能較为全面和精确的概念。該光源所发射的不同波长的光綫强度，是由光譜特性决定的。光譜特性曲綫表明，在光源所发射出来的波的光譜上，放射流的能量是如何分配的。

图2所示为用在我国电影机器设备中的声帶激励灯鎢絲所发射的光譜特性曲綫。曲綫1說明用在固定式机器设备中的12伏特30瓦特和10伏特50瓦特这两种灯的特性。其螺絲狀的鎢絲色温約有3100度；其最大限度的发射能量（这从曲綫1可以看出），与930毫微米左右的波长相符。曲綫2表示4伏特3瓦特灯的特性，其灯絲的色温約为2800度。1952年初出品的窄胶片和KПC-M型和K-303M型新型寬胶片移动式电影放映机都使用这种灯。4伏特3瓦特灯的最大发射能量在1000毫微米的范围內。

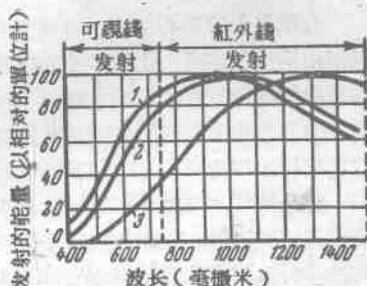


图2. 声帶激励灯的鎢絲所发射的光譜特性曲綫

曲綫3說明5伏特35瓦特灯的特性，它的色温較低，約为2150度。这种灯的最大发射能量，比之前两种灯，处于长的波长范围內，而大致与1350毫微米的波长相符。我国1952年以前出品的各种类型的寬胶片移动式放映机都采用这种灯。大家都知道，采用5伏特35瓦特灯的原因，是由于这种灯的灯絲有很大的热惰性，可以用交流电源。

当灯絲的电压降至4伏特时，在家庭用的窄胶片放映机中所用的6伏特30瓦特灯的光譜特性，大体上与曲綫3相符。

从图2可以看出，声帶激励灯放射流的能量中，只有不大的一部分在光譜的可見范围內，較大一部分能量发射都在光譜的非可見的紅外綫范围中。

这点特別与剛才提到的色温較低的5伏特35瓦特灯有关。激励灯的光譜特性（該灯所发出的放射流的光譜成分由它决定）就是这样。

放射流的能量以放射流的功率来表示，以瓦特来計算。放射能中使

我們的眼睛產生光的感覺的這部分流叫做光流。

由於我們的眼睛對可視光譜中不同的段（不同的色），具有不同的感受性，所以，功率（以瓦特表示）相同而光譜成分（色）不同的光流，會使我們對光有強度不同的感覺。因此用一個特定的單位來計算光通量，這個單位叫做流明（ЛМ）。

流明是光通量的單位，它是用來計算人眼對各種光譜的感受性，並能夠根據放射能所產生的對光的感覺來估計放射能的功率。流明的精確值是根據專用的光源標準來確定。我們用下面的情況來作例子：12伏特30瓦特的聲帶激勵燈所放出的光流總值約為500流明；5伏特35瓦特燈所放出的約為77流明；4伏特3瓦特燈則約為24流明。

這幾種燈，依靠電影放映機聲頭的光學系統而放出的影片聲帶上激勵光刃的光通量，在固定式電影放映設備（СКП型，КПТ型）中約為0.03—0.04流明，而在移動式電影放映設備（К-101型，КПС型，16-3П型）中約為0.003—0.004流明。由於激勵光刃的光流通過聲帶時一部分光流被聲帶吸收，所以，到達光電管的光通量的值不過只有千分之幾流明。

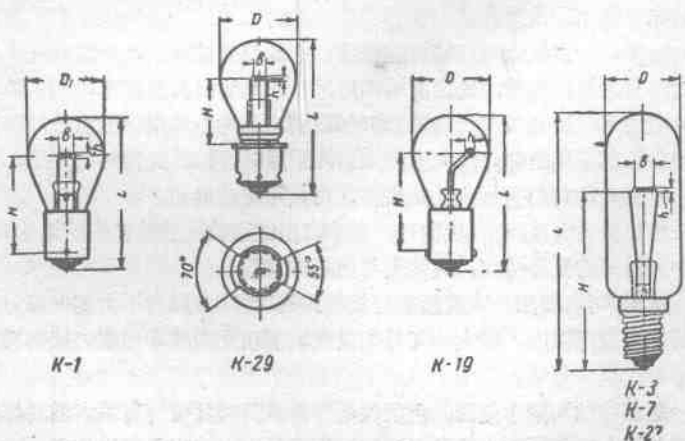


圖3. 聲帶激勵燈的全貌

西帶激勵燈的基本技術規格

表 1

燈 的 典 型	額 定 值				燈 的 大 小				發 光 體 小	底 座 的 典 型	用 于 何 處		
	電 壓 (伏 特)	功 率 (瓦 特)	光 通 量 (流 明)	發 光 效 率 (流 明 / 瓦 特)	色 溫 (近 似 值) (°K)	發 光 的 平 均 延 續 時 間 (小 時)	泡 子 的 直 徑 (毫 米)	H (毫 米) 發 光 中 心 的 高 度				L (毫 米) 全 長 (最 長 的)	D (毫 米) 最 大 的 直 徑
K-1	4	3	24	8	2300	100	26	51	31±2	3	0.18	1111-15型單直螺 腳的、按合銷的φ 15毫米	16-311-5型窄膠片放映 機
K-29	4	3	24	8	2300	100	26	51	23±0.3	3	0.18	1Φ-C19型單直螺 腳的、可調焦點的 圓筒形的φ19毫米	“烏克蘭”窄膠片放映 機, K11C-M型和K-30 3M型寬膠片放映機
K-19	6	30	555	18.5	—	10	26	51	31±2	4.5	1.5	1111-15單直螺 腳的、按合銷的φ15 毫米	16-K1131型家庭用窄 膠片放映機 (此燈在燈絲 降低到4伏特的情況下可 使用很長的期限)
K-3	5	35	77	2.2	2150	500	31	91	60±3	9	2.5	P-14型螺紋的φ 14毫米	所有1952年前出品的移動 式寬膠片放映機都使用
K-7	12	30	528	17.6	3100	50	25	86	60±3	4	1.5	P-14型螺紋的φ 14毫米	K3C-22型和CK11-26 型固定式放映機
K-27	10	50	850	17.0	3100	100	25	86	60±3	6	2	P-14型螺紋的φ 14毫米	CK11-26型和K11T-1 型固定式放映機 (帶有K 3BT型、VCCY-50型、 VCCY-51型和VCCY-52 型的擴大器)

在結束光譜成分和在還音設備中光电管上下降的光通量值等問題的簡要分析的同时，還應該着重指出，這種流的光譜成分遠遠地越出光譜中的可視部分，而進入非可視的紅外（熱的）綫範圍內。

表 1 中列出了聲帶激勵燈的基本技術規格，在我國電影還音設備中都使用這些燈。激勵燈的全貌請看圖 3。

第二章

外部光电效应的光电元件

作用和构造的原理

光电元件的作用，是以称为光电效应（或简称光效应）的物理现象为基础。光电效应表现为某些物质在光的作用下，具有产生电流或改变电流量的性能。

1888年，斯托列托夫做了一个简单的用实物进行的实验来说明光电效应现象。这个实验的线路图见图4所示。拿一块磨光的金属薄片，薄片前放置金属栅极，然后将薄片和栅极与电池组和电流计的回路相接通。电池组的负极与薄片相接，而正极与栅极相接。当用强光源照射薄片时，电流计就标记出有电流通过。斯托列托夫在以后的几个实验中，把感光薄片和金属栅极放进抽掉了空气的玻璃器皿中。这样可以更好地来观察和研究光电效应现象。这个仪器就是现今光电元件的基本构造。

为了阐明光电效应的物理实质和光电元件的作用原理，必须回忆一下物质构成学说的基本原理。现代的物质构成学说认为：一切物质都是由叫做原子的最微小的粒子组成。物质中原子的体积是非常小的，原子所占范围的直径约为 $\frac{1}{10000000}$ 毫米（ $d \approx 1 \cdot 10^{-7}$ 毫米）。

原子的质量极为微小（ $m \approx 1.67 \cdot 10^{-24}$ 克）。在一克物质中

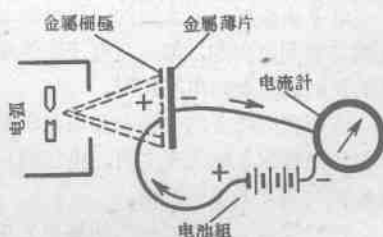


图4. 斯托列托夫的实验说明光电效应的线路图

原子的数量簡直难以数計 ($N \approx 6 \cdot 10^{23}$)。

任何物質中的原子，其內部都有一个帶正电荷的核。核的四周有一些以很高速度圍繞着它轉的、帶負电荷的微粒，这就是电子。原子核中还含有一些帶正电荷的微粒叫做質子，和不久前才发现的不帶电荷的微粒叫做中子。質子的正电荷与电子的負电荷在数量上是相等的（电子的电荷 $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}$ 庫倫）。

原子核的質子和中子，要比电子重得多。質子的質量（同样，中子的質量几乎与它相等）差不多比电子的質量大2000倍。由此可見，原子的主要質量都集中在核內了。在不同的物質中的原子核里，質子和中子的数量以及与此数量相对应的电子的数量，都是不同的。

在处于常态的原子中，帶負电荷的微粒（电子）的数量与帶正电荷的微粒（質子）的数量相等。这样的原子从电学上来说是中性的，因为在其內部，質子的正电荷被电子的等量負电荷所均衡。如果給物質中的原子以附加的能量（如給物質加热），那么，原子中那些离核最远的外部电子就能够与核相分离。原子在失掉了一个或几个电子后逐渐变为帶正电荷的原子。这种原子叫做阳离子。得到附加电子后的原子逐渐变为帶負电荷的原子，叫做阴离子。离子的形成过程叫做电离作用。

电子最容易与金屬的原子分离，因此，金屬原子的外部电子在导电的过程中起着重要的作用。

在外加电压作用下，金属导体中的电子开始轉移并产生电流。

在电子管中，一些电子从燒热的金属阴極表面逸出，而飞向具有正电荷的阳極，这时管内就产生电子流。

电子从金屬表面逸出的現象叫做电子发射。若是电子逸出是由于給金屬加热而发生的，如同在电子管的燒热的阴極上发生的一样，那么这样的发射就叫做热电子发射。

在斯托列托夫的實驗中發現和研究的金屬表面光电效应（現今称为外部光电效应）的物理实质，也包括在光作用所引起的电子发射中。这样的发射謂之光电子发射。

現代的科学知識使我們能够对光电子发射作如下的基本闡述。射在金屬表面上的光綫，能够把它的能量傳給藏于金屬中的电子。由于电子的能量增大，使电子的运动速度增加，于是这些电子就能战胜金屬中抑

制它們的力量而逸出金屬的表面範圍。这样就发生光电子发射。

从其表面上能得到光电子发射的金屬板或其他某种物質层，叫做**光电阴极**。利用光电阴极表面的光电子发射的这类仪器，叫作**外部光电效应光电元件**。

多年研究外部光电效应的結果，查明許多金屬制的光电阴极都是有效的，但最有效的則是**鹼金屬**，如鉀和銫。

在有声电影中采用过的最早的光电元件，具有其表面用氫、硫黃和其他物質加工过的鉀光电阴极（謂之鉀光电元件）。在現代的光电元件中所采用的最有效的光电阴极，具有复合構造，其構造中銫是必不可少的。

目前使用得最普遍的是**氧化銫光电阴极**和**銻-銫光电阴极**，它們的大致構造請看圖5（放大了無數倍的簡圖）。

复合光电阴极的粗糙表面上复有銫原子。复合光电阴极的高度光电子发射，在相当大的程度上决定于这些原子的存在。

氧化銫光电阴极中間层的組成成分中，包含有銀、銫氧化物和銫；銻-銫光电阴极中間层的組成成分中，包含有銻-銫和銫。高效的氧化銫光电阴极还有一层銀的底层，这是銻-銫光电阴极所沒有的。

这两种类型的光电阴极，都可以制作在金屬的底基上，或者像我国工业用光电元件中的光电阴极那样，直接制作在光电管泡子的玻璃上。

光电阴极的复合構造保證了高度的光电子发射，因此，帶复合光电阴极的光电元件所具有的光电灵敏度，比光电阴极是用單一金屬做的那些光电元件要大許多倍，也就是說，这种光电元件能够在射至光电阴极的放射流的單位中得到相当大的电流。帶复合光电阴极的光电元件有一个很大的优点，就是灵敏度很高。

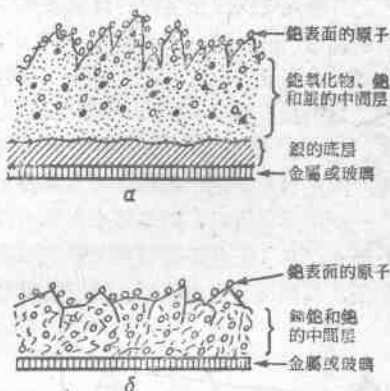


图5. 复合光电阴极的大致構造
α—氧化銫光电阴极；δ—銻-銫光电阴极