

真空管的知識目錄

(I) 電子管總論

1.1 緒言	1
1.2 真空管的發展史	2
真空管的起源(2)	
奧田洪三極管(4)	
三極管用作振盪(6)	
高真空電子管的完成(7)	
現代的電子管(10)	

1.3 電子管的種類	12
------------	----

(II) 二極真空管

2.1 總說	17
2.2 構造	18

陰極材料(18)
陽極材料(31)
兩極管的電極構造(34)

2.3 特性	43
理想特性(43)	
實際的特性(46)	

2.4 二極管電路	53
二極管的特徵和用途(53)	
用一只兩極管的整流電路(54)	
用二只兩極管以上的整流電路(58)	
濾波器的應用(63)	
兩極管的檢波作用(65)	

2.5 二極管使用法	67
試驗法(67)	
使用上的注意(69)	

(III) 三極真空管

3.1 原理	71
總說(71)	
陰陽兩極和柵極的互相作用(71)	
柵極(74)	
等價二極管(80)	
三極管的理想特性和三定數(83)	
3.2 構造	90
柵極的構造(90)	

陰極和陽極(91)	
電極位置及管形(92)	
實際的電極構造和三極管定數(99)	
電極間的電容量(106)	

3.3 特性	107
--------	-----

實際的特性(107)	
柵極電流(109)	
二次電子發射影響(112)	

3.4 三極管電路	113
-----------	-----

三極管等價電路(113)	
動特性(117)	
三極管的輸出電力(121)	
三極管的特質及用途(124)	
放大電路(125)	
振盪電路(131)	
調波電路(138)	
檢波電路(140)	

3.5 三極管的使用法	142
試驗法(142)	
使用時的注意(147)	

(IV) 多極管及複式電子管

4.1 總說	148
4.2 四極真空管	148
四極管的種類(148)	
空間電荷柵四極管(149)	
篩柵極四極管(152)	

4.3 五極真空管	157
-----------	-----

4.4 可變放大因數管	160
-------------	-----

4.5 集射管	161
---------	-----

集射功率管的構造(162)	
集射功率管的基本特性(164)	
集射管的特點與實例(168)	
門式集射管(169)	

4.6 六、七、八極管及複合管	172
-----------------	-----

六極管(173)	
七極管(174)	
八極管及多單位管(178)	

真空管的知識

I 電子管總論

1.1 緒言

學習無線電的同志們常常會遇到種種的問題：例如要設計一些新的線路時，需要挑選那一類真空管，來完成某種指定的任務，電路的條件及情形要怎樣決定，方能使工作得到最大的效果。研究某一機件的電路時亦會發出疑問，為什麼電路要這樣裝置，又每一真空管和另件的功用是什麼。修理時舊管壞了，而又得不到新的，那末可以用那些別的管子來代替，並且它的電路又需作那些必要的改變呢？要能將這些問題得到根本的解決，首先就要對真空管的各種基本特性，有澈底的了解，而且亦只有將真空管的種種基本特性，能夠充分的掌握以後，加以靈活應用，方纔能夠將無線電的技術完全掌握。

由於真空管的優越性能，和科學技術的快速進步，它的應用在有線電信，電力設備和國防建設及其他工業中亦正一天一天的飛躍發展。因此，從事這些工作的人們對於真空管知識的需要，亦是相當迫切的。

本書的目的，就是將真空管的基本特性作簡明及有重點的介紹，仔細讀完本書以後，就能對於真空管有一清晰的印象。在研究無線電及遇到有電子管的設備時亦能夠應付裕如。並且可以進一步的研究電子科學的各種高深問題。

本書的開端，首先介紹真空管的發展史，說明真空管的歷史發展的概念。同時，作為將來讀下面各章時的準備，並且亦可以幫助了解和記憶。

第二章討論二極真空管。先介紹它的構造和製造方法。因為實際接觸到的正是從工廠裏製造出來的實物，它的特性和作用是由它的製造過程和構成材料及裝置等條件所決定的。所以對於它的製造上的過程亦是每個使用者所樂知的常識。其次討論它的特性，先從簡單易解的理想特性着手，再和實際的特性相比較後進而掌握實際用法。

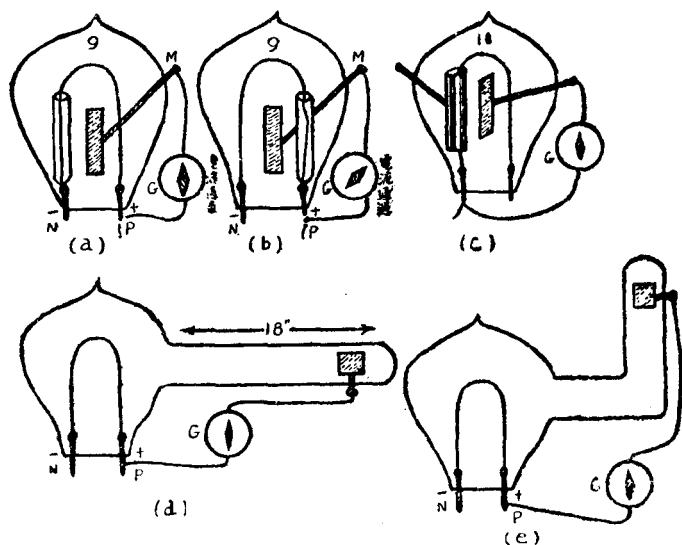
第三章討論三極真空管，第四章介紹多極管和其他熱電子真空管。

附帶作一聲明的，關於「真空管」這一名詞，本來不及「電子管」來得確

切廣大，但避免讀者生疏起見，本書中在無線電上用者，仍稱真空管，其他方面或一般性用者，則與電子管並用。

1.2 真空管的發展史

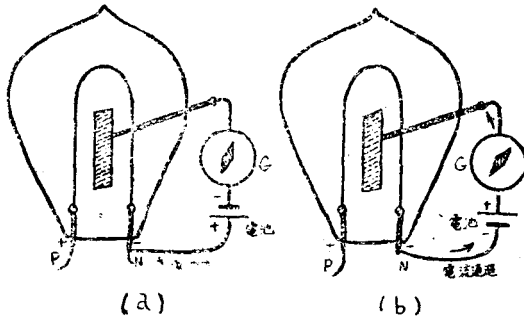
1.2.1 真空管的起源和弗來明 (Fleming) 閥：十九世紀末葉的二十多年間是真空管的萌芽時代。1879年克魯克斯 (Crookes) 對低氣壓放電的研究和1897年湯姆孫 (Thomson) 所作的陰極射線實驗，使得電子的存在不再是一種想像，確實證明它在自然界中的實物。1883年發見愛迪生效應 (Edison effect 現稱熱電子效應)，1882到1889年愛爾斯透蓋脫 (Elster-Geitel) 作關於熱電子發射的研究，1887年赫芝 (Hertz) 發見光電效應，又1895年琴琴 (Röngin) 發見X射線。這一系列的發見都構成爲電子工程基礎的重要現象。在發見的當初只是純物理的問題，成爲物理學者間的研究對象，後來在各方面尤其在工程中



第 1.1 圖：研究熱電子效應的裝置—— N 及 P 各爲熱電極的正負兩端， G 是電流計，長方形導體 (M) 是板電極。(a) 將熱電極的電位較負的半截用絕緣物遮蔽，板電極接熱電極的正端，發見無電流通過，(b) 將較正半截遮蔽，就有電流通過，(c) 陰極無加熱電流時，即無電流通過，(d) 及 (e) 亦無電流通過。

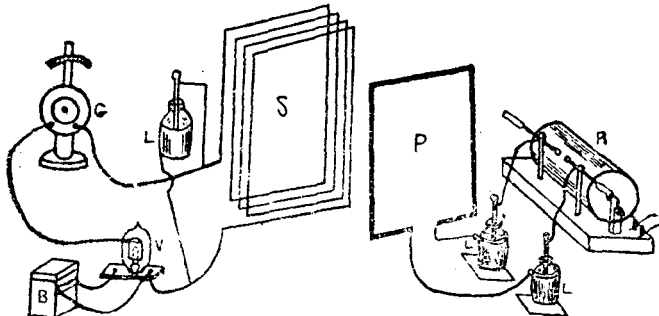
的用途漸漸廣大與重要，於是電工學者和工程師就繼承了真空管的研究事業。

弗來明從熱電子效應出發，製成二極管，稱作弗來明閥。1904年應用於無線通信接收機中，成為熱電子管的鼻祖。1889至1896年間他爲了進一步研究熱電子效應做成各種裝置(第1.1圖)進行實驗。發見在真空中高熱電極和板形電極間的導電性是由於高熱電極發射出負電荷的緣故。並且這種導電現象只有赤熱電極在負電位的時候方才會發生。(第1.2圖)。當時無線電通信接收機



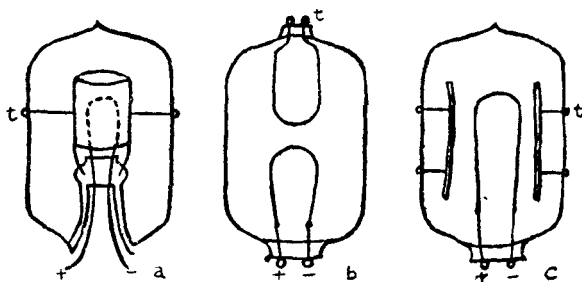
第1.2圖：(a)板電極的電位較熱電極的電位爲負時無電流通過(b)板電極的電位較正時方有電流通過。

置中都採取粉末檢波器及電磁檢波器，靈敏度很低，並且當時的整流裝置亦只有鋁質電液整流器一種。弗來明製成第1.3圖所示那樣的檢波實驗裝置，獲得了很大的成功。繼續研究，發明了無線電通信中檢波用的熱電子閥，即所謂弗來明閥。第1.4圖是弗來明在研究時試製的各式真空管。最初並使用如1.5圖

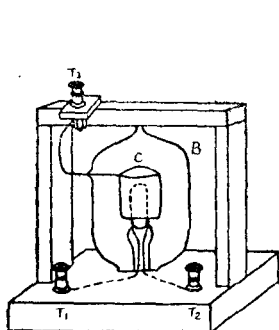


第1.3圖：弗來明研究二極管檢波的實驗裝置——V是二極管，G是反射型磁針電流計，R是高壓感應發生器，L是容電器。

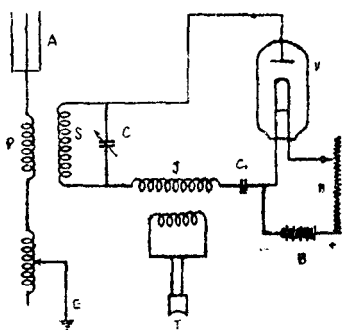
所示那樣的木框來支持真空管。不久這種檢波管就成為商品出售（1.5圖）



第1.4圖：弗來明研究時試製的真空管。

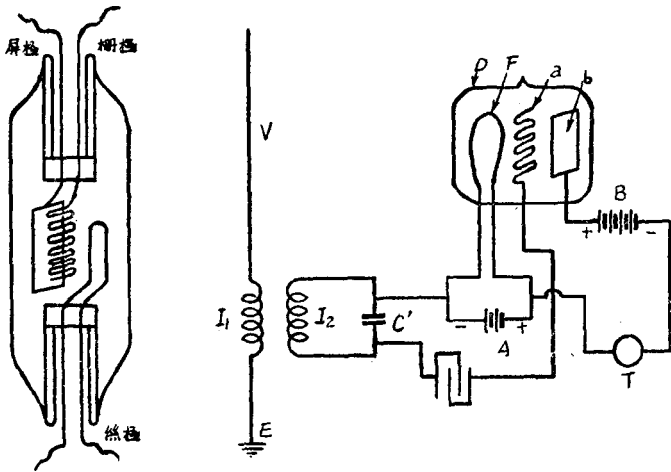


第1.5圖：原始的商品真空管 第1.6圖：最初使用二極管作檢波器的接收機電路圖



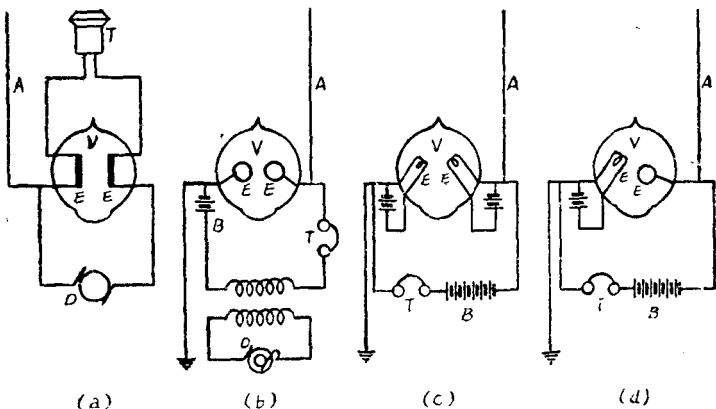
1.2.2 奧田洪 (Audion) 三極管：在電子管發展歷史上，第二個大進步，是1907年福來斯脫 (Lee de Forest) 於二極管中插入第三電極，發明三極管「奧田洪」。它的構造如第1.7圖 (a) 所示有發射熱電子的陰極和收受熱電子的陽極，並在二者之間插入形狀曲折的第三電極柵極。使用在無線電接收機電路中，（同圖 (b) ），使接收信號受到放大以後再進入聽筒 T 中。這種三極管實是一個劃時代的重大發明，使得電子管有了一個革命性的進步。

在電子管的發展中對於熱電子放射性的研究，亦是一個非常重要的環節。關於這些研究，愛爾斯透及蓋脫兩人和理查森 (Richardson) 都有很大的貢獻。

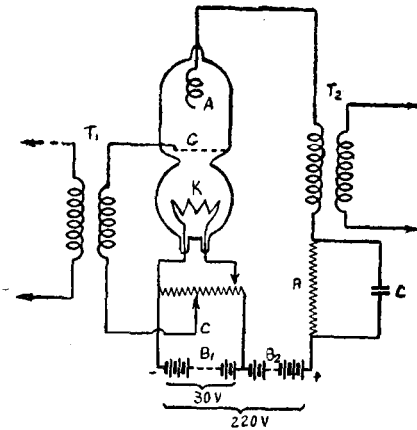


第 1.7 圖：(a)「奧田洪」三極管的構造 (b) 使用此三極管的無線電接收機電路

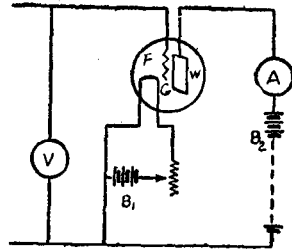
在歐洲大陸上，對於三極管亦有獨立的研究和發明。1911年李本(Lieben)
賴茲(Reisz) 及施屈勞斯(Strauss) 三人發明另一種三極管，稱為李本管或
熱電子替續器。構造好似一葫蘆形的燈泡，下半部裝置塗氧化物的陰極，上半
部裝置螺旋形的陽極，兩半部的中間隔一密佈細孔的柵極板。它的主要用途是



第 1.8 圖：福來斯脫研究電子管時所製成的原始形電子管（圖中以製成先後為序）。



第 1.9 圖：熱電子替續器的使用電路



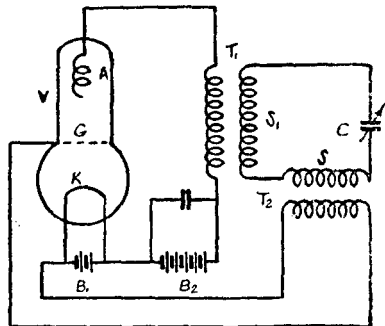
第 1.10 圖：使用三極管的實驗放大電路

替續作用，第 1.9 圖是代表的使用電路。在最初製造時，在管泡的下部尚注入水銀，使有相當的水銀蒸氣存在管內，並且柵極將陰極和陽極空間完全隔開，採用塗氧化物陰極，這幾點和後來的閘流管的構造非常相似。

三極管除了檢波和替續之外，更重要的尚可作放大作用，第 1.10 圖是將三極管用作放大器的實驗電路。

1.2.3 三極管的振盪作用：在電子管發展歷史中，第三時期的發明是買斯納 (Meissner) 的三極管振盪法。並由此開展了真空管在發射方面的實用基礎。

1913 年買斯納應用李本發明的三極管，製作各種電路，試行實驗。研究陽極電路和陰極電路的反耦合方法。首先應用三極管產生穩定不斷的振盪，獲得成功。他的振盪電路如第 1.11 圖。因當時三極管的製造尚未十分完善，採取他的方法在波長 600 公尺時輸出最高只能得到 12W，然而它能够產生振盪已是確定了的。繼買斯納以後又有阿阿姆斯特朗 (Armstrong) 富蘭克林 (C.S. Franklin)



第 1.11 圖：買斯納振盪電路

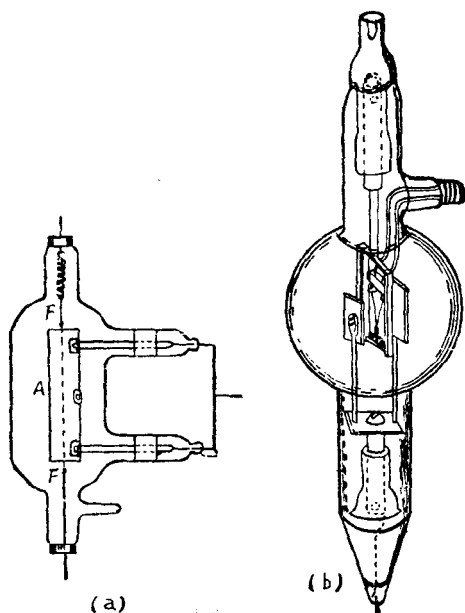
及郎特 (Round) 等人發明其他的各種振盪電路。

1914年首次大戰爆發，由於無線電通信在軍事上的重要性，引起對於電子管應用上的熱烈研究。使它在實用和製造方面得到迅速的發展。例如俄國的巴巴列克西亦在這一年製成了真空管，那時對於電子管的整流，檢波，放大和振盪等作用亦開始能够充分掌握。在賈斯納之前，電子管還只具有一個雛形，以後，電子管方開始在實用上活躍起來。

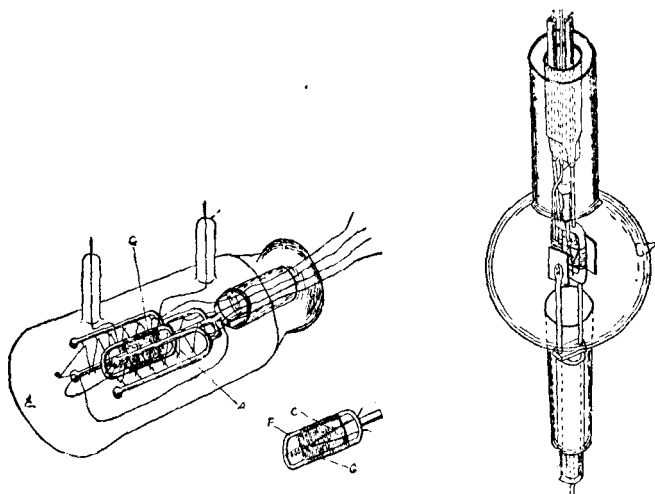
1.2.4 高度真空電子管的完成：在過去改善電子管的時期中，首先遇到的就是關於電子放射體即陰極的問題。亦就是到底熱電子放射現象是由於放射體本身的性質呢，還是由於和周圍氣體的相互作用的問題。這個問題的提出在現在看來亦許覺得非常奇怪，但在當時真空技術尚未很進步的時期中，弗來明「閥」和福來斯脫的「奧田洪」都未有充分的真空度，甚至李本管中尚封入少許水銀粒，而它們的真空度總是在 10^{-3} mm 汞柱以上，所以當時提出這樣的問題是很自然的事。要解決這個問題只有在不受周圍氣體干涉的情況下研究純高熱體的電子發射特性。

而且，真空度太低的電子管的特性很難均勻安定。於是製造出品的特性都不一樣。大大的減低了它的實用價值。很幸運的由於蘭格繆 (Langmuir) 的研究和實驗解決了這些問題。它將真空管內的剩餘氣體極力排除後，從實驗上明確了熱電子放射能够很好的從高熱陰極出來。並且發現在無氣體游子的純電子導電情況中產生空間電荷效應，陰陽兩極間的電子流和其間電位差的 $\frac{3}{2}$ 次方成正比。利用他自己的研究結果，製成高壓用整流管開諾屈朗 (Kenotron) (第1.12圖a及b) 和發信用三極管普利奧屈朗 (Pliotron) (第1.13圖a及b) (1915年)。此外又有重要研究的副產物，為現在所廣泛使用的，即塗鈦鎢絲陰極 (1913年)，和汞氣抽氣機 (1916年)。

同時將三極管的放大作用應用於有線通信用的增音裝置中亦在研究。此種增音裝置中的三極管需要非常良好及安定的特性，因此要求高度的真空和優秀的電子發射體。1920年阿諾爾特 (Arnold) 將這個願望實現。他將1904年衛耐耳特 (Wehnelt) 發明的塗氧化物陰極，繼續深入研究，使它適合工業的製造條件。



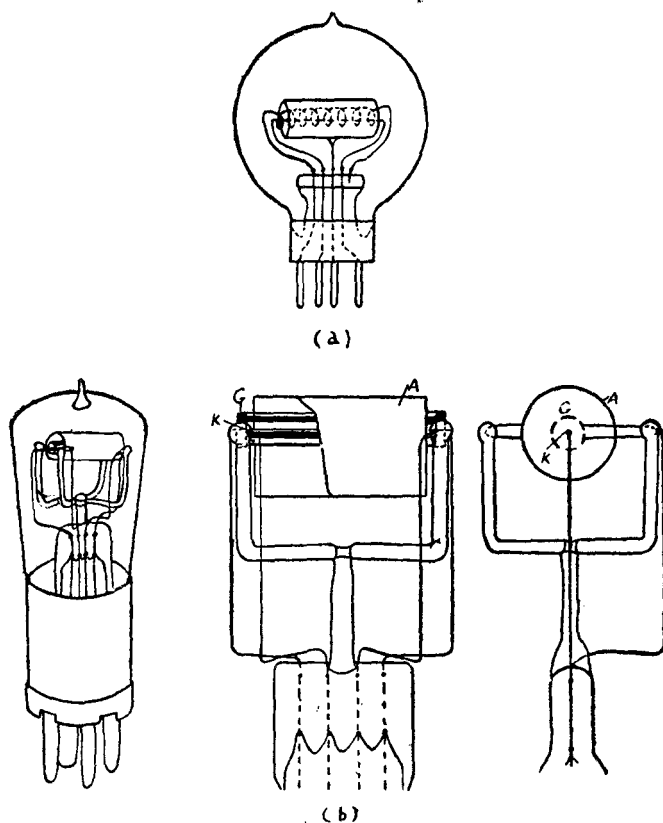
第1.12圖：高壓用二極整流管「開諾屈朗」



第1.13圖：發信用三極管「普列奧風朗」

所謂「法國式」三極管（第1.14圖）。在美國則有平行板形或類似的陽極和平

其他，在電極構造方面，此時在歐洲盛行圓筒形陽極及圓筒螺旋形柵極的行線列或相似的柵極的三極管比較發達（第1.15圖及前第1.13圖）。1922年水冷式銅陽極的大型發信管製造成功。1915年蕭脫基（Schottky）發明空間電荷柵及飾柵四極管創現在多極管的先聲。



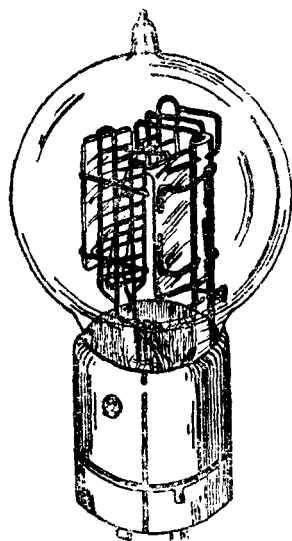
第1.14圖：圓筒形電極的三極管，（歐洲式）

在廿世紀的最初二十年間，各種研究如真空技術，電子發射體，電極構造及電子管特性和製造熱電子管的各種必要的技術，都發展到了相當完整的階段。等到首次世界大戰結束以後，轉入和平的建設時期。無線電廣播事業在各處都漸漸發達起來。如此使得電子管工業進入一新的階段。

同時真空技術的進步便利了其他電子管的發明和發展，如X--射線管，放

電管，霓虹燈，日光燈，陰極射線管和三極放電管（開流管）等。

1.2.5 現代的電子管：1920年以後無線電廣播事業大形發達，無線電收音機漸漸成為現代人的文娛必需品之一，使得真空管的需要頓時激劇的增加。於是真空管就開始大量生產起來，最初使用的接收機電子管是UV 200 及 UV201



第1.15圖：平板形電極的三極管，（美式）

型收音管。採用純鎢絲陰極，加熱電壓和電流是5V及1A，因為電源需用小形乾電池，希望加熱電流愈小愈好，於是在1922年起改用將郎格繆發明之塗鈹鎢絲作陰極的199型及201A型（加熱電流自60mA到250mA）。

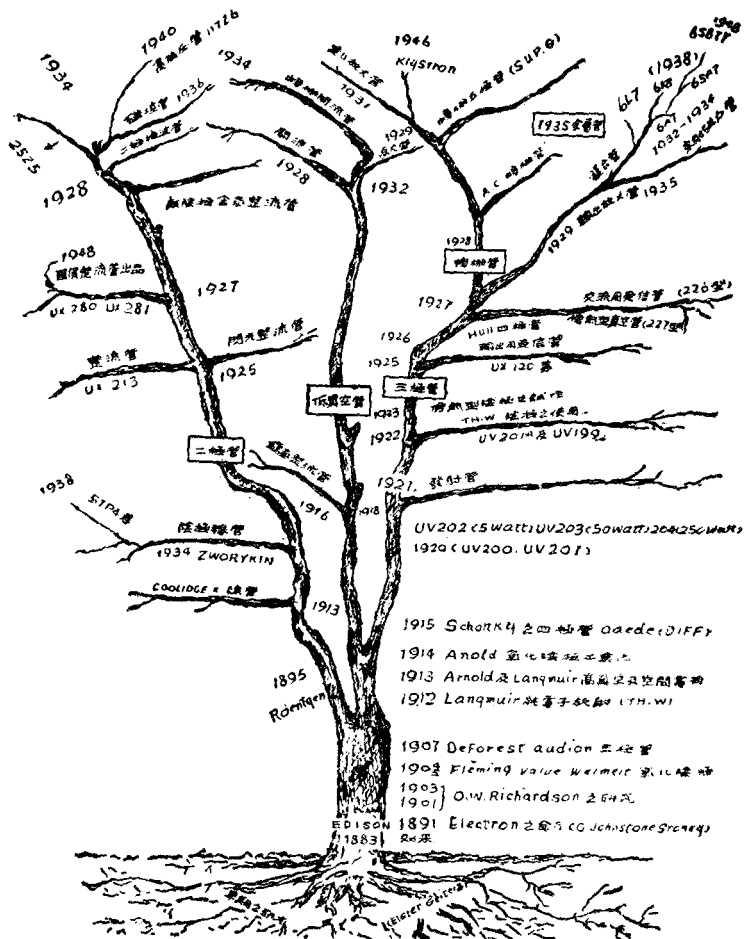
其後，代乙電器發達，接收機的形式亦隨之一變。因可以直接將交流電燈線作為電源，使得陰極加熱電流的限制稍為緩和。但為了減低電源產生的低頻率交流聲，必須減低加熱電壓。其解決法之一就是採用塗氧化物陰極。於是1927年在市場上開始出現了塗氧化物陰極的226型及傍熱型接收管227型。那時期蘇聯科學院院士契爾內旭夫對於這方面有了重大的貢獻。隨着接收電路的改善，霍爾（Hull）於

1928年完成了篩柵四極管，1929年開始出品末級電力放大用的五極管，1930年出現自動調整輸出音量用的可變放大因數管。各種複式真空管類亦在市場上繼續發售，以使接收機的體積減小。後來全金屬真空管，及1935年6L6電子集流功率管等亦相繼製造成功。即收音真空管的種類幾多至千百種，在1940年有些廠家將它精簡到三十一種。

隨着廣播事業的發展，發送的電力亦急速的增加着。開始廣播的時候，只限於局部的地方，數百或數千瓦特的輸出亦已經足夠。現在則可以得到數百「千瓦特」以上的極大電力輸出。100或200 KW以上的大型發送管亦可在技術上很勝任地製造。同時其他的各種電子管如前述之光電管，放電管，布朗管和陰極射線管等，亦發展到在工業上普遍實用的階段。

二次世界大戰開始，由於無線電在軍事上的應用如雷達，聲納，伺服機件，自動控制等，使得電子管在超短波領域上獲得了巨大的進展，發明或改善了各種超短波電子管如磁控管 (Magnetron) 空筒諧振管 (Klystron)，行波管等。

第二次世界大戰結束以後，電視的研究受到很大的重視，各種電視用的電子管如1931聯蘇學科家卡達耶夫發明了陰極光線管，後來 Zworykin 等又發明



第1.16圖：電子管發展史略圖

了攝像管 (Iconoscope) 和光電收像管 (Kinescope) 以及電子倍增管等亦相繼產生出來。

第 1.16 圖表示整個電子管的發展史略圖。至於將來的電子管之發展更是未可限量。

1.3 電 子 管 的 種 類

(甲) 電子管的基本原理——電子管基本上是利用游離電子特性的裝置，這些特性可以略述如下：

(I) 一般物質當熱到高溫度時在表面上就會發射電子出來。尤其像鎢那樣能耐高溫的物質在白熱狀態時更能發射豐富的電子。又發射程度的高低亦隨物質的種類而異。如塗鉍鎢絲和塗鹼土金屬氧化物物質的線在赤熱狀況時即可發射電子到實用上所需要的程度。

(II) 光線投射至物質上時，物質的表面能產生光電子。光電子發射的難易依照投射光線的波長及被射物質的構成及材料而不同。如鹼金屬中之鉀等受到一般可見光線的照射即能發射電子。

(III) 游離電子可以被電場加速，運動的電子能受磁場的影響。如在真空中有豐富的電子存在時，由於電子相互間的作用，呈空間電荷效應。

(IV) 高速度的電子流束即所謂陰極線投射到物質上時，則此物質的表面亦發射出電子（統稱「二次放射」或副放射，區別於陰極的「初次放射」或原放射），同時放射程度極強產生 X-射線。如果是螢光性的物質，陰極線投射後即產生螢光。如果是感光性物質即產生照相的感光作用。

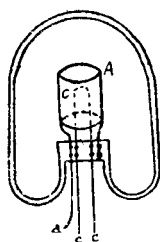
(V) 將運動電子通過氣體中，和氣體分子撞擊，激發氣體分子及使它游離。就能夠增加氣體的導電性能。

(VI) 電離作用產生的陽游子亦被電場加速。向物質投射，再使物質發射電子。如在氣體中放置對峙的陰陽兩電極，其間加以充分的電位差，即能產生火花，輝光或弧光放電。

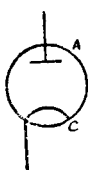
各種電子管不過將上述各基本性質，加以適當的運用和配合，（如收音真空管，主要運用第一種特性而製成的）於是產生種種的特性。不過要利用純游

離電子的作用，就需充分高的真空度使電子能够活躍動作。又在利用電子和游子間相互作用的裝置中，必須有適當壓力與適當的氣體存在其間。

(乙) 電子管的種類——A. 二極熱電子真空管 在高真空容器中放置二相對的電極即熱陰極和陽極 (第1.17圖)。由於熱陰極發射的電子而產生導

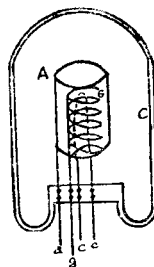


(a)

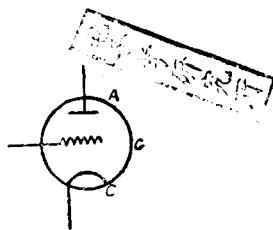


(b)

第1.17圖：二極管 (a) 構造 (b) 符號。A 陽極，C 熱陰極。



(a)

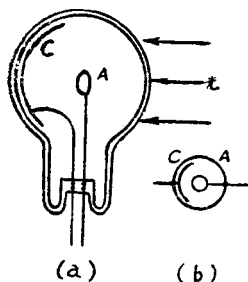


(b)

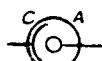
第1.18圖：三極管 (a) 構造 (b) 符號。A 陽極 G 柵極 C 熱陰極

電作用。並且它的特性受熱陰極的電子發射性和存在於陰陽兩極空間中的「空間電荷」的影響。

B. 補助極控制熱電子真空管 於前述二極管中在陰陽兩電極之外再插入補助電極，控制空間電荷，增減陰陽兩極間流通的電子流。補助極的電位較陰極為負之時，無電子流入補助極，可以利用靜電的作用來控制主電流的大小。又補助極的電位較陰極高之時，如構造適當可使流入補助電極的電流遠比陽極電流來得小。

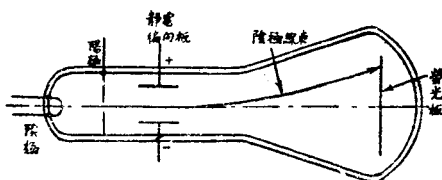


(a)



(b)

第1.19圖：光電管 (a) 構造 (b) 符號

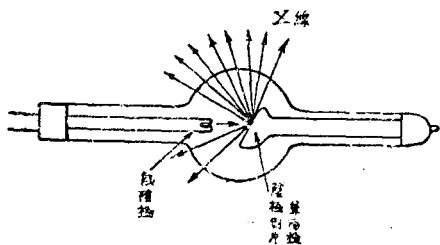


第1.20圖：陰極射線管

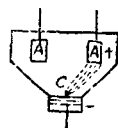
它的基本型式是有一個補助極的三極管（第1.18圖）。又爲了改善它的特性及調整的目的可多添補助電極，成爲四極五極管等多極管。

C. 光電管 在真空容器中封入感光陰極（第1.19圖c）及陽極（A），當適度的光量投射至陰極面上時陰極即放出光電子。它是光電轉換作用中的主要機構。除了真空光電管外又有充氣光電管。在管內封入極微量的氣體，可以利用電子產生的電離作用，增加陰陽兩極間的電流。

D. 陰極線管 利用陰極線特性的電子管可以分成二類——（i）布朗管或陰極射線管及陰極射線示波器：在陰極射線的直角方向，加上振動的電場或磁場，能使射線的方向與之成比例的發生振動和偏向，利用熒光作用及照相感光作用。即可在熒光板或照相底片上觀察電場或磁場的振動情況。在管內通常有放射出電子的陰極，加速電子的陽極，和靜電偏向板（第1.20）熒光板可以永



第1.21圖：柯立支式X線管



第1.22圖：汞弧整流器

久封入管內或將熒光物質塗在玻璃管泡的內壁以代替熒光板。通常如用照相底片，在插入和取出照相底片之時，每有外氣進入管內，因此必須每次將管內抽至適當的真空度方始能應用。

(ii) X 線管 高速度的陰極線束撞擊金屬電極（陰極對片）則產生 X 射線。X 線管的主要構成部分有放射電子的陰極，供給加速電子用的電場的陽極和接受陰極線束的陰極對片。通常採取熱陰極作電子放射體的管中陰極對片常兼作陽極（柯立支 Coolidge 管）（第1.21圖）。

E. 輝光放電管 應用低壓氣體中輝光放電的發光現象可供燈用，如氖管等，又應用它的放電特性，可作種種的輝光放電管。例如有構造不同的陰陽兩電極的整流輝光管，及利用輝光放電火花電壓一定的性質的電壓標準器，和應

用管內電壓降不受電流大小影響的性質的穩定電壓裝置等。

F.電弧放電管 主要利用電弧的特性，裝置水銀陰極及鐵或石墨的陽極，由於兩電極的放電條件的不同，產生整流作用，製成水銀整流器（第1.22圖）。低氣壓中裝置鎢質電極，在其間產生電弧，以供晒圖等燈用，製成鎢電弧燈。利用低壓放電管有一定的火花電壓的特性，當高電壓襲來之際，立即產生電弧，迅速放電，可製成真空避雷器。

G.熱陰極放電管 利用熱陰極的低電壓電弧的特性可製成各種整流管及照明的各種放電燈。

H.三極放電管（閘流管） 在低壓氣體及金屬蒸氣的放電路中插入第三電極，可以控制放電電流。這個放電路中第三電極的控制效果和真空管中不同，它有控制放電是否開始的能力，但一旦放電開始以後，它卻沒有控制停止放電的能力。三極放電管可分三類：(i) 點弧極放電管，(ii) 三極輝光放電管及 (iii) 三極電弧放電管。三極電弧放電管中又可分成熱陰極和汞陰極二種。

（丙）電子管的特徵— 除了各種放電燈管和X線管等利用電子的特殊作用以外，普通電子管類的特徵就是靈敏度非常高，慣性極小。電子的質量極微，因此它的動作亦極輕快迅速。例如在距離1 cm的陰陽兩極間加上1 V的電位差，加速從陰極放出的電子；初速為零的電子從陰極到達陽極所需時間只 0.034×10^{-6} 秒。到達時的速度達 5.7×10^2 km/秒。普通鎗彈的速度只1 km/秒，這裏的電子要比它快上幾百倍。因此它能够在無線電通信上應用至數千萬周的高頻率。

（丁）電子管的作用— 普通熱電子真空管及放電管等有三個基本的作用，即整流，放大和替續作用。

(i) 整流作用 電子真空管有非常優良的整流特性。最初在弗來明的試驗中即已很明顯的表現出來。因為電子的質量極輕，它的整流作用可不大受交流頻率的限制。又逆電流比較不能通過，並且無論耐熱電壓多高都可以隨着需要而製造。實在是最理想的整流裝置。但是高真空中間電荷效應使得管內電壓降稍高，不免美中不足，然而充氣二極放電管可以將這個缺點克服。

(ii) 放大作用 這是三極管及其他補助電極真空管的獨特性能。在補助