

电 子 器 件

(上 册)

(内部教材)

中国人民解放军海字四三七部队

1964年1月

乙11.72
15

电子器件(上册) (基准教材)

统一编号 64005

编写单位: 电子管低放教研室

主 编: 杨图珍

校 对: 张学灼、毛育黎

专业代号: 1

1—270 75000字 P 77

目 录

緒論

- §1. 无线电通信的基本原理.....(1 — 2)
- §2. 电子器件分类.....(2 — 3)
- §3. 电子管的基本结构.....(3 — 4)
- §4. 电子管发展简史及我国电子管工业发展概况.....(4 — 5)
- §5. 学习本课程的目的要求与方法.....(5 — 6)

第一章 电子发射与电子管阴极

- §1. 电子发射.....(7 — 10)
- §2. 热阴极.....(10 — 16)

第二章 二 极 管

- §1. 结构与基本电路.....(17 — 18)
- §2. 阳流——阳压特性曲线(简称 i_a —— e_a 曲线).....(18 — 22)
- §3. 二极管参量.....(22 — 23)
- §4. 二极管的运用.....(23 — 24)
- §5. 二极管的类型及编号.....(24 — 25)
- §6. 二极管的极限运用值.....(25 — 27)

第三章 三 极 管

- §1. 三极管结构、符号及电路.....(28 — 29)
- §2. 栅极的控制作用.....(29 — 30)
- §3. $\frac{3}{2}$ 次方定律.....(30 — 31)
- §4. 静特性曲线.....(31 — 36)
- §5. 静参量.....(36 — 44)
- §6. 放大器的基本概念.....(44 — 46)
- §7. 三极管的缺点——跨路电容太大.....(46 — 47)

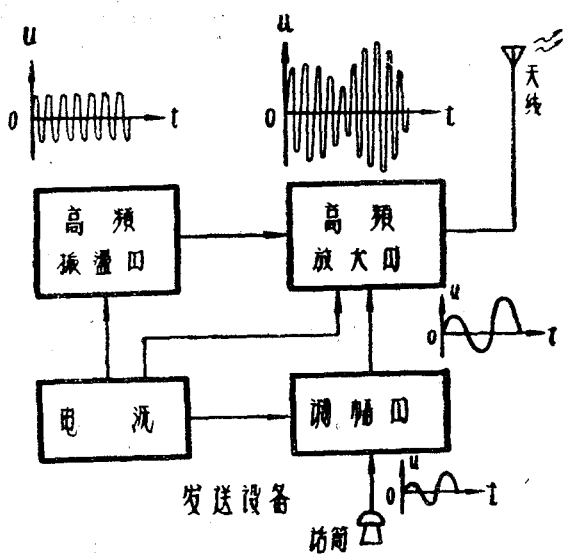
第四章 多 极 管

- §1. 四极管.....(49 — 53)
- §2. 五极管.....(54 — 65)
- §3. 集射管.....(65 — 67)
- §4. 变频管.....(67 — 69)
- §5. 复合管.....(69 — 71)
- §6. 电子管的内部噪声.....(71 — 72)
- §7. 电子管故障及其简易的判别法.....(72 — 73)
- §8. 电子管使用注意事项.....(73 — 74)

緒

論

§ 1 无綫电通信的基本原理



无线电通信是利用电磁波的发射与接收来完成通信任务的。因此，无线电通信装备必须包括两个主要组成部分：发送设备与接收设备。

一、发送设备

发送设备的任务是将发射机所产生的代表一定信号意义的高频电流，通过天线转变成电磁波发射到空中去，再利用电磁波在空中的传播，将信号传递至远方。要完成此项任务，发送设备必须由发射机、话筒或电键、天线三个部分组成。而发射机又包括高频振荡器、高频放大器、调制器与电源四个主要组成部分：

1. 高频振荡器：产生高频等幅电振荡。
2. 高频放大器：放大高频等幅电振荡。
3. 调幅器：发话时，放大由话筒转变成的音频信号，并用它去控制高频振荡，使高频振荡的振幅随音频信号而变化，成为高频调幅信号，如图 2 所示。

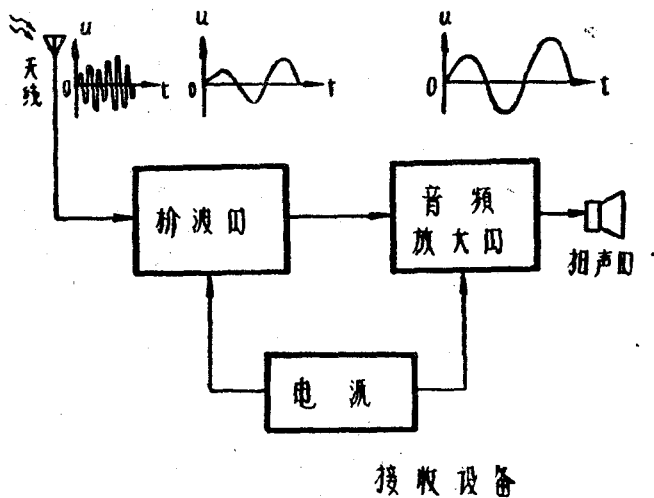


图 1 发射机与接收机的主要组成



图 2 高频调幅信号

4. 话筒、电键：话筒的任务是将发话时的声音信号转变成音频电信号。电键的任务是发报时使放大器电路受电键接点的控制，输出一组组代表电码意义的高频等幅信号，如图3所示。

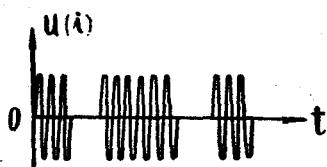


图3 高频等幅信号

5. 天线：发射电磁波。

6. 电源：供给机器中各电子管电路以直流能量。常用者为正流器，它是一个将交流能量转变成直流能量的设备。

二、接收设备：

接收设备的任务是将电磁波接收下来，并将它转变成音频电流，最后利用电声转变器件，将音频电信号转变成声音信号。要完成此项任务，接收设备必须具备有天线、

接收机与终端设备三个部分，而接收机又是由检波器、音频放大器与电源三个主要部分组成：

1. 天线：接收电磁波。
2. 检波器：将高频信号转变成音频信号。
3. 音频放大器：放大音频信号。
4. 终端设备：即扬声器或耳机，用来将音频电信号转变成声音信号。
5. 电源：常用者亦为正流器。

收发设备中的放大器、正流器等电路，都是由电子管、半导体、电阻、电容等元件所组成。其中电子管是一切无线电技术装备的基本元件，也是本课程所要研究的主要内容。

§2 电子器件分类

电子器件是电子管、离子管、光电管与晶体管的统称。电子管是一种在抽成高度真空的玻璃壳或金属壳内，放入一些金属电极而制成的电子器件。工作时，其中的一个电极——阴极因受热而发射电子，同时在其它电极上加有不同的电压来控制管内电子的运动，从而使电子完成各种不同的任务。由于管内保持了高度真空，因此电子管又叫做真空管。

离子管是一种在抽成高度真空的玻璃壳内再充入少量惰性气体(如氩、氦、氖等)的电子器件，故也叫充气管。有的管子充的是水银，工作时水银受热蒸发成气体，这种管子就叫做汞汽管。在离子管中，管内气体受运动电子的撞击而电离，参加导电的有电子，也有正离子，故有离子管一名。

光电管是利用阴极受到光线照射而发射电子的器件。它在工业中与有线通信中应用很广，但无线通信设备与雷达设备中却极少应用。

晶体管是利用半导体材料(如锗、硅等)制成的电子器件。它具有体积小、重量轻、耗电少、坚固、耐震、经久等优点，因此在军用无线电设备(如雷达、导航、导弹、电子计算机)中应用具有很重要的意义。但目前它尚存在有性能不够稳定、噪声大、输出功率小等缺点，以及制造工艺要求很高等困难。因此目前使用范围不如电子管广。但随着科学技术的向前发展，晶体管的发展前途必然是很广阔的。

电子器件的详细分类见下表:

电子器件	电子管 (真空管)	普通电子管(二极管、三极管、四极管、集射管、五极管、七极管等)。 超高频电子管(灯塔管、金属陶瓷管、像实管、速调管、磁控管等)。
	离子管 (充气管)	电子射线管(示波管、摄像管、显象管等)。 冷阴极充气二极管(稳压管、充气放电管等)。 热阴极充气二极管(汞汽管、氙汽管)。 热阴极充气三、四极管(闸流管)。
	光电管	
	晶体管	二极管(点触型、面结型)。 三极管(点触型、面结型)。

§ 3 电子管的基本结构

电子管的类型虽然很多,但常用的普通小型电子管的结构,都是由以下三部分组成:

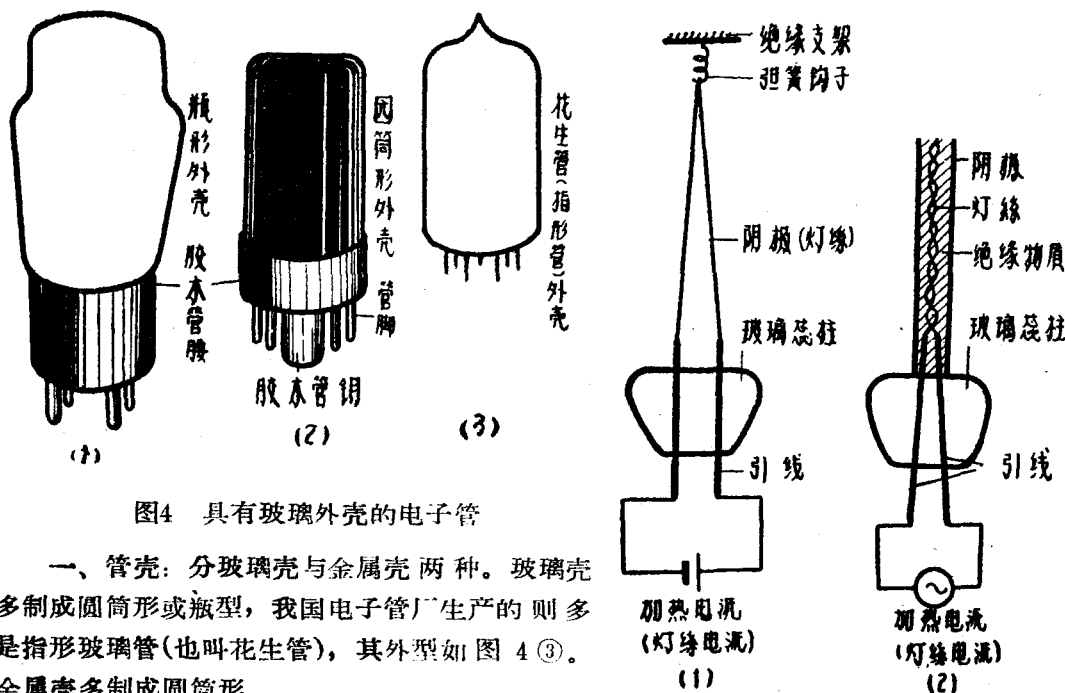


图4 具有玻璃外壳的电子管

一、管壳: 分玻璃壳与金属壳两种。玻璃壳多制成圆筒形或瓶型,我国电子管厂生产的则多是指形玻璃管(也叫花生管),其外型如图4③。金属壳多制成圆筒形。

二、电极: 我们以最简单的电子管——二极管为例来说明。在二极管中,管内仅有阴极与阳极两个电极:

1. 阴极: 用来发射电子。根据结构型式不同,阴极可分成直热式与间热式两种,如图5所示。

直热式阴极——阴极制成丝状,故也叫做灯丝。加热电源直接加在灯丝两端,使灯丝直接受热而发射电子。

间热式阴极——阴极制成扁圆形或圆筒形，里面放有和它绝缘的加热灯丝。工作时，热量从灯丝传给阴极，使阴极间接受热而发射电子。因此在间热式阴极中，加热电极与发射电子的电极是分开的。

阴极为什么必须加热才发射电子？为什么要有直热式、间热式两种型式？常用阴极材料有那些？均见第一章分析。

2. 阳极：用来吸收阴极发射的电子。多制成圆筒形或长方盒形。小型管中，常用的阳极材料为镍；中大型管中，为了散热快，常用钼、钨或石墨等材料制成。

三、管脚：位于管子下方。电极引线穿过管内玻璃蕊柱接到金属管脚上，管脚再插入机器里的管座中，以便与外电路相通。常用的电子管多具有八个脚，中间还有一个带凸出长条的圆柱形胶木管钉，以便使八个脚正确地插入管座相应的插孔中。此外，尚有四脚、五脚、六脚、七脚、九脚等管脚的电子管。目前我国所生产的小型管（即花生管）多为七脚与九脚。各种管脚数法如图6所示。

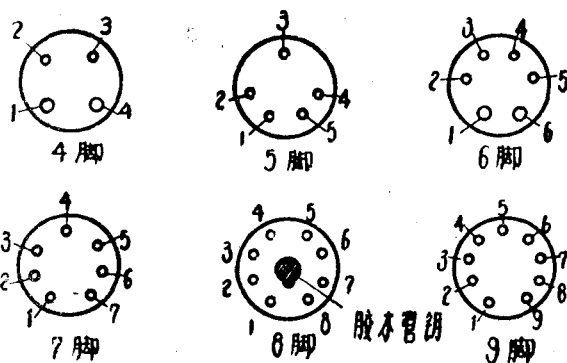


图6 电子管管底

为了进一步保持管内高度真空，电子管在制成前，除了必须经过抽气手续外，在装配电极时，电极引线还附有一块吸气剂。它由钡化物制成。电子管抽气封口后，加热使钡化物还原成钡。钡气扩散到玻璃壳上呈现亮黑色。在扩散过程中，与管内气体起作用，使管内保持更高度的真空。在使用过程中，由烧热的金属电极逸出的气体也会与吸气剂起作用附着在吸气剂上，以保持管内真空度不致下降。

§ 4 电子管发展简史及我国电子管工业发展概况

电子管从发明到现在，虽仅有六十年历史，但其发展却极为迅速，应用极为广泛。在发展初期，完全是为了通信事业的需要，以后才逐渐应用到其它部门，如工农业、军事侦察、导航以及文教卫生事业等方面。

1895年，俄国的波波夫发明了世界上第一部无线电报接收机，用的是粉末检波器，接收火花发射机发出的信号。由于它不具有放大作用，通信距离不远。1904年发明了真空二极管，它仍不具有放大作用。1907年末发明了三极管，它可将微弱的信号加以放大，从而使通信距离大大增加，这时人们才对电子管给予了极大的重视。所以从1913年到1920年这一阶段，在通信设备中广泛地采用了电子管。

1920年以后，广播事业迅速发展，无线电波向着更高的频率发展，这时三极管的缺点就暴露了出来。于是在1924年发明了能在高频运用的四极管。1930年又发明了性能更好的五极管。随着无线电接收机电路性能的改进，1934年以后发明了七极管。为了减少接收机中电子管的数目，又发明了各种类型的复合管，这种管子能担任两种以上的任务。

由于通信技术的不断发展，有必要进一步提高工作频率，人们又想到利用超高频

(即超短波)进行通信。但原有的管子不适合于在此频率范围内工作,因此在1935年以后
的十多年间,发明了很多超高频通信用的管子,如像管、灯塔管、速调管、磁控管
等。这些管子的制成又给雷达、无线电导航、无线电多路通信事业开辟了广阔的前途。
此外,在这时期内发明的摄像管与显象管,又使电视事业得到了迅速的发展。

与电子管发展的同时,充气管与光电管亦相继问世,它们在通信中用得不多,但在
工业上应用颇广。

第二次世界大战以后,用半导体材料制成了晶体二极管与三极管,它具有体积小、
重量轻、省电、耐震、经久等优点,已在部分场合中代替了电子管,其发展前途也是很大的。

自从电子管应用在无无线电事业中后,电子管和无无线电技术的发展就成为不可分割的
有机正体。电子管的日趋完善促进了无无线电技术的向前发展,而无无线电技术的发展又反
过来对电子管提出了更高的要求。到目前为止,已有数以万计各种不全类型的电子管,
大至体积几千立方米、重几万吨的回旋加速器,小至一根火柴大的超小型电子管,而且
使用范围极为广泛。

一、通信方面:现代的通信技术已不仅限于电报、电话和广播事业方面。传真电
视、脉冲通信等通信技术也在迅速地发展。而电子器件在每一项通信设备中都担负着极
为重要的任务。

二、军事科学方面:除了一般的军事通信外,目前已广泛应用无线电导航及定位、
红外线通信、雷达以及导弹控制等。这些军事设备中都少不了电子器件。

三、科学研究方面:象电子显微镜、电子计算机、粒子加速器等科学研究设备中,
都要用到大量的电子器件,例如一架电子计算机所用的电子管(或晶体管)就多至数千个
甚至一万个以上。

四、工农业方面:例如远程控制、自动控制、高频加热、超声波加工等,无不用到
电子器件的。

我国的电子管制造事业开始于1935年。抗日战争时期曾用国外的另件装配过一些电
子管,但得不到国民党反动政府的重视。新中国成立不久,在党和政府领导与关怀下建
成了南京电子管厂,不久后就有了国产的二极管与三极管。到1952年已能制造交流收音
机用的成套电子管。1956年10月,在苏联帮助下建成了具有现代化设备的北京电子管
厂,从此我国的电子管制造工业进入了一个新的阶段。目前我国已能制造大功率发射
管、超高频电子管和超小型电子管、晶体管等。

§ 5 学习本课程的目的、要求与方法

本课程包括电子管、离子管与晶体管三部分。电子管是无无线电通信设备、雷达设备
与一切电子设备中的基本元件,是学习无无线电专业与雷达专业课程的重要基础,也是本
课程的重要内容。离子管在军用机中用途不广,且其理论较深,故对其管内物理现象及
伏安曲线,只做一般介绍。晶体管目前在军用设备中应用不多,本课程中只介绍其导电
特性、静曲线、静参量以及正流、放大原理,使学者对晶体管具有一定的理论基
础。

学习本课程的方法与学习电工、无无线电理论基础有些不全。电工及无无线电理论基

所讲述的导电过程多是在金属导体与电阻、电容等直线性元件中进行的，电流与电压一般都呈线性关系，故多用方程式来表达它们之间的关系，学习过程中有较多的推导与计算。而电子器件中的导电过程是在真空中、稀薄的气体中或半导体中进行的，电流与电压一般都不成线性关系，往往需要借助于特性曲线或参量来描述电压、电流之间的关系，因此要求对特性曲线与参量的概念搞得很清楚，全时要注意分析、比较、归纳，找出各类管子性能的共全点与不全点。

学完本课程后，应达到以下几点要求：

- 一、了解各种电子器件的基本结构、类型与应用；了解各电极作用。
- 二、通过管内物理现象的分析，了解各种电子器件(电子管、离子管、晶体管)中各极电压对各极电流的影响，掌握表达电子器件特性的静曲线与静参量(会画曲线并会解释其形状，知道曲线上各点代表的意义；理解参量的物理意义、熟记其定义式，会从曲线上求)。
- 三、理解电子管与晶体管的正流原理、放大原理以及电子射线管的聚焦、偏转、示波原理。
- 四、知道使用各种电子器件的实际知识：知道管子型号的代表意义及各极限值代表的意义；掌握测试曲线的方法；知道使用电子器件的注意事项以及鉴别电子管好坏的简易方法。

第一章 电子发射与电子管阴极

无论那一种电子管，都是依靠管内电子的运动来完成各种作用的。因此，在研究各种电子管的作用与特性之前，管内电子是怎样从阴极发射出来的就成为我们最关心的问题。在通信设备与雷达设备中，绝大多数的电子管是利用阴极加热来发射电子的。本章任务就在于研究低温下金属为什么不发射电子，金属发射电子的几种形式。然后介绍几种常用阴极的结构、特性与应用场合。重点放在金属的热电发射与常用阴极的特性两个问题上。

§1 电子发射

金属中的原子是按照一定的规律排列起来的，它们彼此间靠得很近。原子中最外层的电子与原子核结合很弱，它并不固定附着于某一个原子，而是在金属体内做不规则的热运动，这些电子统称为自由电子。既然电子不固定附着于某一个原子，因此金属体内的原子以正离子的形态存在着，每个正离子带一个单位的正电荷。由于正离子均匀地分布在自由电子周围，电子在各个方向所受到的正电荷的吸力大致相等，总的说来电子不受力，因此它可以在金属体中自由运动。

实验证明，自由电子在绝对温度另度时(即摄氏-273度)，已具有一定的动能，能在金属中自由运动，但即使在室温下(摄氏20度左右)，电子也不能离开金属发射出来。下面就来分析其原因。

一、低温下金属不发射电子的原因

1. 金属表面偶电层对电子的阻挡

处于杂乱运动状态的电子，总可能有一部分动能较大者跑出金属，这时金属带上了正电，而电子在正电荷吸引下又重新返回了金属。这个过程不断重复下去，在金属表面附近就形成了一层密度很大的带负电荷的电子层，它与带正电的金属表面形成了一个“偶电层”。偶电层中的电场方向是从金属指向电子层。当电子从金属内经过偶电层向外逸出时，将受到此电场的减速。电子必须克服此减速场的拒斥力而做功，而其本身的能量必将减小。如果电子所具有的能量不足以克服此电场的拒斥作用，在能量耗尽后，必又返回至金属。

偶电层间的距离很小，仅 10^{-8} 厘米左右，通常都是把电子层就看做是金属的表面，电子层中的电子都不能认为是已脱离了金属的电子。因此总的看来，金属仍是中性的不带电体。

2. 金属内部正电荷对电子的吸引

当电子跑到偶电层外面时，金属少了电子，带上了正电，它将吸引电子。因此电子即使冲出偶电层后，也不是在自由空间做等速运动，而是在正电荷吸引下做减速运动。不过此吸引力随着距离的增大而迅速减小，在距离偶电层 10^{-4} 厘米处，就可以认为吸力为另了。欲克服此吸引力，电子在冲出偶电层后，还必须具有一定的能量。

设电子逸出金属表面时，克服偶电层的阻力而消耗的能量为 W_i ，克服金属内部正电荷的吸力而消耗的能量为 W_0 ，那么电子逸出金属表面所必须具有的最小能量 W_a 应为两者之和，即

$$W_a = W_i + W_0$$

而在绝对另度时，能量最大的电子所具有的能量为 W_i （室温时与绝对另度时差不多）。由于 W_i 小于 W_a ，所以电子不能逸出金属表面。这就是低温时金属不发射电子的原因。

二、逸出功

欲使金属发射电子，必须外界供给电子以能量。我们把在绝对另度时，能量最大的电子逸出金属时所需外加的最小能量，叫做该金属的逸出功，用 $e\varphi$ 表示：

$$e\varphi = W_a - W_i$$

实验证明，逸出功在数值上就等于电子克服金属内部正电荷的吸力所消耗的能量 W_0 。 e 是电子的电量， φ 是偶电层外层至外部空间的电位差（即为金属内部正电荷在外部空间形成的电场所产生的电位差）。

逸出功的大小可以用尔格量度。不过尔格的单位太大，通常都采用电子伏特 (ev) 做单位。一个电子伏特的能量就是指一个电子通过一伏特电位差时所失去或所获得的能量。用电子伏特作为逸出功的单位非常方便，因为一个电子所做的功在数值上就等于该电子所经过的电位差。例如电子从钨金属中发射出来，必须供给它 4.52 电子伏特的能量。这就是说，由钨金属的偶电层外层到外界空间的电位差是 4.52 伏。

$$1 \text{ 电子伏特} = 1 \text{ 个电子的电量} \times 1 \text{ 伏特} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ 库仑} \times 1 \text{ 伏特}$$

$$\text{而} \quad 1 \text{ 尔格} = 1 \text{ 库仑} \times 1 \text{ 伏特} \times 10^{-7}$$

$$\therefore \quad 1 \text{ 电子伏特} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ 尔格。}$$

一般金属的逸出功为 1—10 电子伏特，其具体数值见下表所示。

金属名称	逸出功(电子伏特)	金属名称	逸出功(电子伏特)	金属名称	逸出功(电子伏特)
铂	6.0	钼	4.1	钨	2.52
钨	4.52	铜	4.1	钠	1.9
汞	4.5	钽	3.4	钾	1.8
钨	4.3	钙	3.2	铯	1.8

三、电子发射的几种形式

按照外界供给能量方式的不同，电子管阴极的电子发射有以下几种形式：

1. 热电发射

将金属加热至足够高的温度，使电子动能增加到足以克服金属表面减速场的阻挡而发射出来的现象叫做热电发射。热电发射是电子管中最常用的一种电子发射形式。

(一) 无外加加速电场时的热电发射：当无外加加速电场存在时，金属的热电发射与温度之间的关系可用里查孙——道舒曼公式来表示：

$$J = AT^2 e^{-W_0/KT} \quad (\text{毫安/厘米}^2)$$

J ：金属每平方厘米面积上的发射电流，叫发射电流密度或发射率。单位毫安/厘米²。

A: 常数, 视金属材料的不同而有不同的数值。

T: 金属的加热温度, 用绝对温度表示。它与摄氏的关系为:

$$K = 273^{\circ} + C$$

W_0 : 金属的逸出功, 单位: 电子伏特(eV)

K: 波尔兹曼常数。

$$K = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/}^{\circ}\text{K}$$

由式可见, 发射电流密度决定于A、 W_0 (即决定于金属材料) 和运用温度T, 而其中又主要决定于T与 W_0 , 因它们出现于指数项中。因此, 欲获得大的发射电流密度, 必须选用逸出功小的金属, 同时运用在高温下。

(二) 有外加加速电场时的热电发射: 如果将加热金属置于加速电场中, 可以发现这时的发射量比无外加加速场时要大, 而且电场越强, 发射量也越大。这是由于加速电场部分抵消了金属表面的减速场, 减小了电子逸出时的逸出功, 在同样加热温度下, 就有比较多的电子能从金属中发射出来。加速场越强, 减速场抵消得就越多, 逸出功越小, 发射量就越大。我们把电子发射量随着外加场强的增加而增加的现象叫做肖特基效应。必须指出, 这种情况下电子发射的主要形式仍是热电发射, 即主要的能源是外加加热电源, 加速电场对电子发射仅起辅助作用。当外加加热源去掉后, 虽有外加加速场存在, 金属也不能发射电子。

2. 二次发射

金属受高速电子(或离子)撞击时, 金属体内受到撞击的自由电子, 接受了这些高速电子(离子)的动能而沿着受力方向运动。在与其它自由电子相碰撞的过程中, 改变了运动方向。而那些运动方向朝着金属表面, 并且动能足够大的电子就可能逸出金属表面。金属的这种在高速电子(离子)撞击下而发射电子的现象叫做二次发射。被打出来的电子叫做二次电子或次电子, 轰击金属的电子叫一次电子或原电子。我们把二次电子和一次电子的比值, 称作二次发射系数 δ , 用它来衡量二次发射的强弱:

$$\delta = \frac{n_2}{n_1} = \frac{I_2}{I_1}$$

n_2 、 n_1 是次电子、原电子的数目, I_2 、 I_1 是次电流、原电流的大小。

二次发射有下面几个特点:

(一) 低能量的带电质点, 例如能量低于10—15电子伏特的电子, 是不能从金属中打出二次电子来的。

(二) 二次发射系数 δ 与金属表面性质有关。在纯金属中, 自由电子密度很大, 受一次电子撞击而获得能量的那些自由电子, 在金属中与其它自由电子产生很多次的碰撞, 能量消耗很大。因此, 在到达金属表面时还能克服金属表面减速场的阻力而发射出来的电子为数很少。所以纯金属的 δ 很低, 仅为1—2。对含有气体的金属表面来说, 其自由电子密度将随着含气量的增加而减小, 因而自由电子相互碰撞的机会减少, δ 就较大, 为3—4。又如涂有金属氧化物的表面, 它具有半导体性质, 而半导体的特点之一是在常温下自由电子密度较金属少得多, 因此其 δ 也较大, 为8—10。

在电子管中, 是不希望金属电极出现二次发射的, 因此, 凡具有高电位吸引阴极所发射电子的电极表面, 要求非常洁净。但在有的充气管中, 则是靠阴极的二次发射来维持电路中的电流的。

(三)次电子的动能很小,通常不大于5—10电子伏特。

3. 光电发射

金属被光线照射后,金属中的电子接受了光子的能量而发射出来的现象,叫做光电发射。光电发射的特点在物理学中已学过,而且在无线电通信设备与雷达设备所用的管子中,尚无利用光电效应发射电子的。因此此处不作讨论。

4. 场致发射

当金属表面存在有非常强的电场(强达 10^5 — 10^6 伏/厘米)时,即使阴极不加热,也有电子发射出来。这种现象就叫做场致发射或强场发射。

场致发射的粗略解释是:冷金属表面的极强电场硬将电子给拉了出来。由于这种发射形式极少见,故不作讨论。

§ 2 热阴极

利用通电加热而发射电子的阴极叫做热阴极,简称阴极。

一、对阴极的要求

1. 发射电流密度 J 要大

发射电流密度即阴极表面每平方厘米面积上的发射电流,也叫做发射率,记作 J 。上节曾提到:

$$J = AT^2 e^{-W_0/KT}$$

可见,阴极材料的逸出功越小或工作温度越高,发射电流密度就越大。因此,在不考虑其它条件时,为了获得大的发射电流密度,必须选用逸出功小的金属做阴极,而且工作温度要高。但工作温度受到了熔点的限制。例如铯的逸出功很低,仅1.8电子伏特。但它的熔点很低,仅有 26°C ,相当于 299°K 。因此,它的工作温度必须低于 299°K 。这样一来,铯的发射电流密度就很小,不适于用来做热阴极。再以钨、钽、钼三种金属来说,钨的逸出功虽略高于钽、钼,但它的熔点却远高于钽、钼,达 3655°K 。故可以工作在高温下而获得大电流。而且钨还有其它的一些优点,所以它是纯金属中最适合于用来做为热阴极的材料。

2. 发射效率 H 要高

发射效率是阴极发射电流 I_e (发射电流密度 $\times$ 发射面积)和阴极加热功率 P_f 之比:

$$H = \frac{I_e}{P_f} \quad \text{单位:毫安/瓦}$$

由式可见,发射效率也就是指每消耗一瓦的加热功率,可以从阴极获得的发射电流,它是用来说明阴极耗电程度的一个物理量。阴极加热电源所供给的功率中,只有一小部分(约2—7%)用来供给电子提高动能,其余的绝大部分都变成辐射热损耗掉了。因此单位面积的加热功率就近似等于单位面积的辐射功率。根据斯梯芬—波耳兹曼定律,热体单位面积的辐射功率 P 与绝对温度的四次方成正比,即 $P = \sigma T^4$ 。 σ 是决定于物体表面对热的辐射能力的比例常数。因此:

$$H = \frac{1e}{P_f} \approx \frac{J}{P} = \frac{AT^2 e^{-w_0/KT}}{6T^4} = \frac{A}{6} T^{-2} e^{-w_0/KT}$$

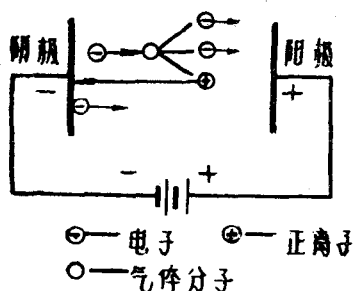
上式说明了两个问题:

(一)工作温度相同时,逸出功越小的金属发射效率越高。

(二)同一种阴极,工作温度越高,发射效率就越高。因效率与温度的关系主要决定于指数项。但工作温度也不能太高,否则阴极表面发射物质蒸发得很厉害,会影响阴极的寿命。

3. 寿命要长

寿命指的是阴极有效的使用期限,即从开始使用一直到发射电流降低到规定值的80%这一段工作时间。对直热式纯金属阴极而言,经过一定时间的使用后,阴极由于蒸发变细,发射面积减小,使发射电流下降,或者由于变细,而被支撑的弹簧钩子所拉断。因此其寿命决定于阴极变细的程度。对表面敷有一层其它物质的激活面阴极而言,寿命决定于表面有效发射物质的蒸发程度和表面层受管内残余气体所形成的正离子的轰击程度。



在电子管中,阳极接的是正电压。残余气体受到阴极发射的电子的撞击后,产生了正离子。正离子在外加电压所形成的电场的作用下,向阴极作加速运动,以较大的能量撞击阴极,就会使阴极,特别是激活面阴极受到损坏。

阴极寿命一般均在数百小时以上。但如果使用不当,例如阴极加热电压超过规定值,使阴极工作温度很高,则表面物质迅速蒸发,寿命将大大缩短。

除了以上三个条件外,阴极材料还必须具有化学

图1.1 正离子运动示意图

性能不活泼、坚韧、易拉成细丝等条件。

二、常用的阴极材料

1. 钨阴极

钨阴极是一种纯金属阴极,它具有如下一些特点:

(一)熔点高,达3655°K。而铁、镍等一般金属熔点只有一千多度。因此钨可工作于2400°—2600°K的高温下而获得比较大的发射电流。

(二)具有制成细丝所必须的延展性和抗张性,可拉成直径小达0.01毫米的坚硬细丝。

(三)发射性能稳定。不论抽气设备多完善,电子管内总不可能抽到绝对的真空,总有些残余气体存在。这些残余气体容易吸附在阴极表面,其中的氧还会与阴极表面起化学作用,形成氧化钨。这样都会使阴极的逸出功加大,发射电流减小。但钨阴极由于工作温度很高,气体或氧化钨即使附着在阴极表面上,也很容易被蒸发掉。这样就能维持钨表面的纯洁性,而使发射性能稳定。此外,被蒸发的钨原子还能与管内残余气体起化学作用,一起附着于管壁上,使管内保持高度真空,进一步保证了发射性能的稳定。

(四)与激活面阴极比较,机械性能坚固、能耐高速正离子的轰击,因此可工作在高压下。

由于钨具有以上一些优点,因此它被用在阳压高于8千伏输出功率大于10千瓦的

大功率管以及发射性能要求非常稳定的测量用的电子管中。

(五) 鎢阴极的最大缺点是逸出功大(4.52eV)，因此发射效率很低，只有2—10毫安/瓦。中小型管子都不用它来做阴极。

鎢阴极都是制成直热式。因制成间热式后，发射效率更低。它的寿命为1000—3000小时。

2. 钍鎢阴极

钍鎢阴极就是在鎢絲表面复盖有一层钍原子的阴极，这层钍原子层叫做激活层或激活面。

(一) 激活面的形成与作用：将含有(0.5—2)%氧化钍的鎢絲在真空中进行激活(即加热并抽去气体)，使氧化钍还原成钍。钍原子向外扩散，在鎢表面就形成了一个单原子层的钍原子层。由于钍的逸出功比鎢小，于是钍原子将部分价电子给予鎢原子，而自己成为正离子吸附在鎢表面上。于是在鎢的表面就形成了一个正电荷在外负电荷在内的偶电层。电场集中在此层内，它使由鎢向外发射的电子加速。于是减小了电子逸出时所需的逸出功，在阴极加热温度较低的情况下，就有较多的电子发射出来。

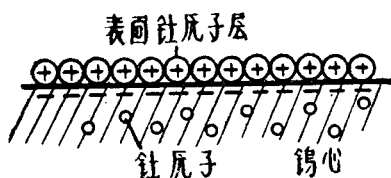


图 1.2 钍鎢阴极的结构

(二) 钍鎢阴极的优缺点：钍鎢阴极的优点是逸出功比鎢小，只有2.63eV，在较低的温度下(1800—1900°K)就能供给足够大的发射电流，而且发射效率也较鎢为高，为25—40毫安/瓦。但其缺点是激活面附着力较小，不耐正离子的轰击，因此不能工作在很高的阳压下。目前的中型管都是用下面一种改进后的钍鎢阴极，即碳化钍鎢阴极。

3. 碳化钍鎢阴极

将尚未激活的钍鎢阴极放在碳氢化合物的蒸汽中(如氩气中)加热，使在鎢表面形成一层碳化鎢，而钍则附着在碳化鎢上。实验证明，钍吸附在碳化鎢上比吸附在鎢上要牢得多，既不易蒸发，又能耐较高速度正离子的轰击。因此它既可工作在较高温度下(1900—2000°K)以获得大的发射电流密度，又可工作在高阳压下。目前阳压为1—20千伏的中型管与大型脉冲发射管中，广泛采用了碳化钍鎢阴极。它的唯一缺点是寿命较短，仅500—1000小时。因碳化鎢与鎢膨胀系数不全，在加热与冷却时表面易生裂纹，削弱了阴极的机械强度，在受到剧烈震动时，就很容易被震断。因此碳化程度不可过甚。

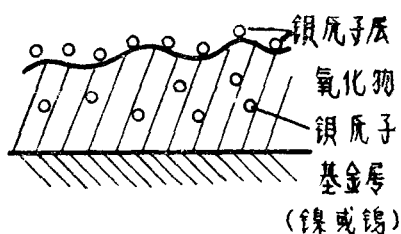
碳化钍鎢阴极的寿命不是决定于因蒸发而变细的程度，因它的工作温度较鎢阴极为低，而是决定于激活面的完好情况。工作在正常温度时，表面钍原子即使蒸发掉，内部钍还会不断扩散至表面来补充。但当钍的储存量快完时，发射量逐渐降低，寿命即告終了。如果阴极是短时间的偶然过热，这时发射量虽因表面钍大量蒸发，内部钍又来不及扩散至表面来补充而有所下降，但我们仍可使阴极复活。复活的方法是不加阳压，适当提高灯丝电压(但时间不可过长)，使阴极温度在短时间内升高，内部钍迅速扩散至表面，阴极就又能恢复正常工作了。

钍鎢阴极与碳化钍鎢阴极发射效率也不很高，因此都制成直热式。

4. 氧化物阴极

氧化物阴极是现今各种电子管中应用最为广泛的一种阴极。它是在以镍或鎢制

成的基金属上，涂上一层碱土金属的氧化物（氧化钡、氧化锶等）而制成的。氧化物是介质，不具有发射电子的能力。因此在制作过程中，还必须经过激活手续。它的激活包



括两个步骤：先把阴极通电加热，然后在其它电极与阴极之间加上对阴极为正的电压，使有电流通过氧化层。由于电解作用，氧化层中就会还原出很多钡原子，全时还有一部分钡原子扩散至表面，形成一钡原子薄层，如图1.3所示。当阴极加热时，这些钡原子中的价电子就脱离了钡而发射出来。

图 1.3 氧化物阴极结构

氧化物阴极中的物理过程很复杂，有些问题目前尚无结论，因此对它的性能特点只能做一般的介绍，不过仍要求大家记住所介绍的几个性能特点。

氧化物阴极具有以下几个特点：

（一）逸出功小，只有 1.1eV 。因此在较低的温度（ $950-1150^\circ\text{K}$ ）下就能供给足够大的电流，发射效率较高。这是它被广泛采用的主要原因。

氧化物阴极的逸出功所以较低，是因为被激活后的氧化层由介质变成了半导体。根据实验，半导体的逸出功比金属小。其理由因牵涉到半导体的有关理论，故不作讨论。

（二）肖特基效应显著，即阴极发射电流会随着阴极表面加速场的增强而加大。这是因为氧化层表面很粗糙，在表面突出部分，外加电压所形成的加速场很强，以至使此处逸出功降低很多。而且外加速场越强，逸出功下降就越多。此外，还由于氧化物阴极具有半导体性质。这两种原因都使得氧化物阴极的逸出功随着外加速场的增强而有较显著的降低，从而使得阴极发射电流随着外加速场的增强而有较显著的增加。

（三）具有脉冲发射特性。钨阴极与碳化钨钨阴极的发射与阳极到阴极之间的电压（叫做阳压）加上的时间基本无关，也就是说，在阳压加上后一段相当长的时间里（数百小时），阴极发射电流基本保持不变。但氧化物阴极则不太一样。如果阳极到阴极之间所加的电压在几百伏特以下，则发射电流与电压所加时间基本无关。但如果电压加得很高，则发射电流的大小与电压所加的时间就有关系了。

当氧化物阴极的电子管阳阴间加上一个持续时间很短（数微秒）的脉冲高电压（1千伏以上）时，氧化物阴极能在电压加上的瞬间，在每一平方厘米的面积上供给出大达30—50安培的电流，这电流密度比电子管连续使用时的电流密度大好多倍。但如果这强电压持续时间很长，则阴极只在开始时发射很大的电流，然后随着时间的增长，电流显著下降，最后稳定在某一个数值 I_s 上，而开始的电流比稳定时的电流要大10—15倍。我们把氧化物阴极这种能在极短时间内供给大电流的特性叫做脉冲发射特性。这个特性的简要解释如下：由于氧化物阴极的肖特基效应较显著，因此当很高的阳压加上时，阴极表面很强的加速场使得阴极的逸出功显著下降，发射电流很大。但发射电流一流通，钡就失去电子变成了正离子。在氧化层内电场（由阳阴间加上的电压所形成）的作用下，移向基金属，夺取电子而还原成钡原子，再向外扩散。由于扩散需要一段时间，因此在加上电压后，氧化层的钡原子密度大大减小，发射能力迅速下降，形成了氧化物阴极的疲劳现象。如果将阳压去掉数千微秒，由于还原与向外扩散作用，钡原子数目又恢

复如前。这时再加上脉冲电压，脉冲发射现象又重复出现。图1.4(3)中 T 是脉冲电压和电流的重复周期， τ 是脉冲电压和电流的持续时间。为了保证阴极不间断地进行脉冲发射， T 必须远大于 τ 。

(四) 易中毒。氧化物阴极所以具有较大的发射能力，是因为它具有大量的自由钡原子。而任何原因使钡原子密度减小，逸出功增加，发射能力降低的现象都叫做中毒。氧化物阴极中毒的原因是由于残余气体分子或离子和氧化层作用的结果。例如氧与钡结合后，使钡原子数目减少，发射性能就会降低。不过由氧所引起的中毒可以用提高阴极温度的方法使阴极发射性能还原，因高温下氧将被吸气剂中扩散出来的钡气所吸收。而由于水汽或硫、氯等所引起的中毒则比氧引起的中毒来得稳定，甚至用强热的方法也不能恢复阴极的发射能力。

氧化物阴极的运用温度越低，越易引起中毒，因低温下残余气体容易附着在阴极表面上。因此规定灯丝电压一般不得低于规定值的5%。

(五) 有局部过热现象。局部过热现象指的是在阴极某一部分温度特别高的现象，这现象在阴极温度过低和管内通过大电流（即灯丝电压很低和各极电压很高）时比较严重。因氧化层具有半导体性质，即低温时其阻值加大。而且还由于涂层表面很粗糙，各处厚薄不一致，其阻值差别亦较大。则大电流通过阻值较大之处就会

发热过甚，其温度较阻值较小处为高。而温度高后，发射的电流加大，温度就更高。这个过程循环下去，就会使阴极各部分温度很不均匀。其结果是使过热处的氧化层剧烈蒸发或烧成小坑，严重的甚至烧蚀基金属。因此具有氧化物阴极的电子管在使用时，必须注意灯丝电压不可过低，通过管子的电流不可过大。其具体数值在电子管手册中均有规定。

(六) 不耐高速正离子轰击。氧化层结构很不牢固，涂层中的氧化物疏松地粘合在一起，与基金属的附着力也不大，受高速正离子轰击后，涂层易崩裂脱落。

(七) 工作过程中，钡和氧化钡不断蒸发，这些活性物质落在其它电极上，会降低

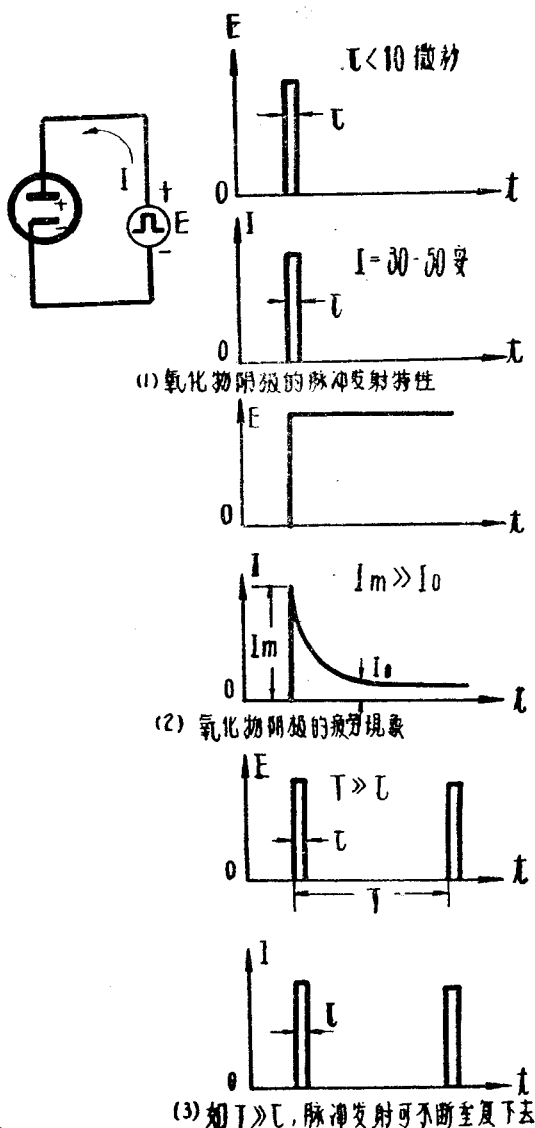


图 1.4 氧化物阴极的脉冲发射特性