

高等学校教学用书

电子器件及放大器

(上册 电子器件部分)

原编者：北京邮电学院电子器件及放大器教研组

审校者：邮电学院电子器件及放大器教材选编组

电子器件及放大器

(上册 电子器件部分)

原编者: 北京邮电学院电子器件及放大器教研组

审校者: 邮电学院电子器件及放大器教材选编组

出版者: 人民邮电出版社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第048号)

印刷者: 邮电部北京邮票厂

发行者: 新华书店

开本 850×1168 1/32

印张 9 10/32 页 298

印刷字数 248,000 字

1961年7月北京第一版

1961年7月北京第一次印刷

印数 1—8,350 册

统一书号: 15045·总1261—无324

定价: (10) 1.35 元

序 言

本书是为了邮电高等院校教学上的需要而編写的。全书分上下两册，上册讲述电子器件，下册讲述放大器。两册有密切联系，但每册也自成体系。

本书在編写时一方面考虑到教学大綱的要求和教学法方面的安排，使学生能順利地在規定的学时內，达到教学計劃中所指定的要求。另一方面也考虑到与当前科学技术和工业生产方面的实际知識密切联系。

为了使整个教学能更順利地进行，避免一些不必要的重复，本书内容考虑到了課程的分工。例如属于电子器件部分的速調管、磁控管、行波管、析象管、光电管等，将放在其他有关課程中讲述，本书就不再討論了。在教学过程中，課堂讲授只是其中的一部分，作为教学用书除了需要考虑适合課堂讲授外，还需要考虑到和其他教学环节（实验、演示、工业生产和課程設計等）的密切配合。本书一方面对这些环节提供了适当的資料；另一方面，为减少篇幅起見，某些能通过其他方式使学生掌握的内容就适当删减了。例如，电子器件的结构可通过电子器件实物或模型的展覽、放大器的測試調整可通过实验实习或生产劳动来解决，书中就不多介紹。

为了便于学生的学习，同时尽可能地使学生在規定的学时內学到更多的内容，本书在編写时加强了物理概念的讲述，并在不削弱基本理論的前提下减少了一些数学推演。为了同样的目的，本书在系統方面作了一些新的尝试，例如将放大器中音頻放大及脈冲放大的分析討論綜合起来，并統一了电子管中电子发射和晶体管导电的理論等。由于科学技术及生产发展的需要，本书在删减某些陈旧及不很必要的内容的同时，加强了某些新的内容，例如在器件部分增加了高跨导管的介紹，放大部分加强了对脈冲放大及晶体管放大电

路的分析。此外，在放大器部分，除了基本理論外，还适当介紹了一些解决实际問題的內容，使学生能在参加科技活动和生产劳动时，具有初步的独立工作能力。

本书原稿是北京邮电学院电子器件及放大器教研組于1960年教学改革中师生結合編写的讲义，并經教研組結合教学实践于1961年加以修訂。本书是在北京邮电学院負責主持下，經邮电学院电子器件及放大器教材选編組以上述原稿为基础进行审校，作为通信类专业教学用书。

参加原稿編写的北京邮电学院电子器件及放大器教研組教师是：黃念祖、何积炳、謝沅清、黃敦慎、彭道义、王晓濤等同志。

参加审編的教材选編組成員是：北京邮电学院教师黃念祖、謝沅清；武汉邮电学院教师张承志和西安邮电学院教师潘順眉等同志。

参加本书繪图、繕稿等工作的有北京邮电学院工程画教研組教师的一部分同学。参加本书校对工作的还有北京邮电学院的一部分同学。

由于經驗不足，审編時間短促等原因，本书內容难免有不够妥善，甚至錯誤之处。希望讀者，特别是使用本书的教师和同学积极提出批評和改进意見，以便今后修訂提高。

1961年5月

目 录

序 言

上册 (电子器件部分) 緒論

第一篇 电真空器件

第一章 接收放大管..... (1)

§ 1. 电子管结构的简单介绍..... (1)

1—1 电子管的主要组成部分及各部分的材料..... (1)

1—2 电子管的简单介绍..... (2)

§ 2. 二、三、四、五极管..... (7)

2—1 热电子发射 (附二次电子发射)..... (7)

2—2 电子管各电极的作用及管内的物理现象..... (17)

2—3 多极管内的电流..... (28)

2—4 二、三、四、五极管的静态特性..... (37)

2—5 三、四、五极管的动态特性..... (46)

2—6 三、四、五极管的静态参量..... (52)

§ 3. 三、四、五极管的应用..... (58)

§ 4. 各电极的类型和维护..... (64)

4—1 热发射阴极..... (64)

4—2 板极、屏栅极的维护..... (67)

4—3 栅极的维护..... (68)

4—4 使用接收放大管和超小型管的注意事项..... (68)

4—5 选用管子的一般知识..... (69)

§ 5. 高跨导管和变跨导管..... (70)

5—1 具有密栅的四、五极管..... (71)

5—2 阴栅电子管..... (72)

5—3 二次发射管..... (74)

5—4 变跨导管..... (78)

§ 6. 变频管和复合管	(80)
6—1 五极管的双重控制原理	(80)
6—2 七极变频管 (6A2N)	(84)
6—3 三极—七极变频管 (6N1N)	(86)
6—4 复合管简单介绍	(86)
6—5 调谐指示管	(88)
§ 7. 静电控制的超高频接收放大管	(90)
7—1 二极管内的电子渡越时间	(91)
7—2 二极管中的全流定律	(91)
7—3 电子管的超高频效应	(96)
7—4 超高频用的特殊电子管	(102)
§ 8. 电子管的噪声	(107)
8—1 概述	(107)
8—2 管内噪声的计算	(109)
8—3 减小噪声的途径	(114)
第二章 大功率电子管	(115)
§ 1. 引言	(115)
§ 2. 大功率管的结构特点	(116)
2—1 阴极	(116)
2—2 栅极	(117)
2—3 板极	(117)
2—4 大功率电子管的总体结构	(118)
§ 3. 降低板极温度的方法	(118)
3—1 水冷管	(118)
3—2 风冷管	(120)
3—3 汽化冷却管 (蒸发冷却)	(121)
§ 4. 右特性管及左特性管	(122)
4—1 右特性管	(122)
4—2 左特性管	(124)
4—3 大功率四极管和五极管	(124)
§ 5. 脉冲振荡管	(125)

§ 6. 大功率电子管的维护	(126)
6—1 貯藏	(127)
6—2 安装	(127)
6—3 灯丝电源供給的两个重要問題	(127)
6—4 各级电源电压的接入步驟	(127)
6—5 正确的冷却	(128)
第三章 阴极射线管	(128)
§ 1. 引言	(128)
§ 2. 静电式电子射线管的聚焦系统与偏转系统	(129)
2—1 静电聚焦系统	(130)
2—2 静电偏转系统	(135)
§ 3. 电磁式电子射线管的聚焦系统与偏转系统	(138)
3—1 磁聚焦的电子枪	(139)
3—2 磁偏转系统	(144)
§ 4. 静电透镜与磁透镜的比較及静电偏转与磁偏转的比較	(146)
4—1 静电透镜与磁透镜的比較	(146)
4—2 静电偏转与磁偏转的比較	(146)
§ 5. 阴极射线示波管的荧光屏	(147)
§ 6. 特殊阴极射线管	(150)
6—1 后加速示波管	(150)
6—2 双射线示波管	(151)
6—3 超高频示波管	(152)
§ 7. 有关电子射线管型号的实际知識	(153)
7—1 电子射线管型号的介绍与选管的基本知識	(153)
7—2 静电控制电子射线管的接线图	(153)
7—3 电子射线管的屏蔽	(156)
7—4 电子射线管的维护知識	(156)
第四章 离子管	(157)
§ 1. 引言	(157)
§ 2. 冷阴极充气放电管	(157)

2—1	概述	(157)
2—2	无声放电	(159)
2—3	自持放电与非自持放电	(159)
2—4	正常辉光放电的特性和应用	(161)
2—5	异常辉光放电的离子管	(165)
2—6	弧光放电的离子管	(166)
§3.	热阴极充气二极管	(168)
3—1	概述	(168)
3—2	热阴极充气二极管的伏安特性和内部物理过程	(170)
3—3	热阴极充气二极管的参量与使用常识	(172)
§4.	闸流管	(176)
4—1	闸流管的工作原理和特性曲线	(177)
4—2	闸流管的起动特性曲线和起动带	(179)
4—3	屏栅闸流管和双栅闸流管	(180)
4—4	几种常用的闸流管	(182)

第二篇 半导体器件

第一章	半导体的导电机构	(184)
§1.	半导体的导电特性	(184)
§2.	半导体的结构及能级能带图	(185)
2—1	半导体的结构及共价键的形成	(185)
2—2	孤立原子能级和多原子结合时的能带图	(186)
§3.	本征半导体	(188)
3—1	电子导电原理	(188)
3—2	空穴导电原理	(189)
§4.	半导体中的迁移电流和扩散电流	(190)
4—1	半导体中的迁移电流和电导率	(190)
4—2	半导体中的扩散电流	(192)
§5.	半导体、导体、绝缘体的电导率的比较	(193)
§6.	杂质半导体	(194)
6—1	电子半导体 (N型半导体)	(195)

6-2 空穴半导体 (P型半导体)	(196)
第二章 晶体二极管	(198)
§1 P—N结	(198)
1-1 阻挡层的形成 (无外加电压时)	(198)
1-2 外加电压对P—N结的作用	(201)
1-3 P—N结电流与外加电压关系式	(203)
§2. 晶体二极管的类型和结构	(204)
2-1 点触型二极管	(205)
2-2 面触型(结合型)二极管	(206)
§3. 晶体二极管的伏安特性曲线	(206)
§4. P—N结的电容	(211)
4-1 P—N结的几何电容(本征电容) C_0	(212)
4-2 P—N结的扩散电容 C_D	(212)
§5. 晶体二极管小信号等效电路	(213)
第三章 晶体三极管	(214)
§1. 面触型晶体三极管	(214)
§2. 面触型晶体三极管工作原理	(217)
2-1 面触型三极管在无外加电压时的情况	(217)
2-2 加有直流偏压时管中的电流	(218)
2-3 晶体三极管的放大作用原理	(221)
§3. 点触型晶体三极管的工作原理	(223)
3-1 点触型晶体三极管的物理机构和电流放大作用	(224)
3-2 点触型晶体三极管的几个特点	(225)
§4. 晶体三极管电路的三种基本联结方式	(226)
§5. 共发射极电路的放大作用	(228)
§6. 晶体三极管的静态特性曲线族	(229)
6-1 晶体三极管静态特性曲线的类别	(229)
6-2 共基极联结的静态特性曲线族	(230)
6-3 共发射极联结的静态特性曲线族	(232)
6-4 晶体三极管特性曲线的三种体系	(233)
§7. 晶体三极管的小信号交流等效电路	(234)

7-1	晶体管低频的模拟等效电路	(234)
7-2	从网络理论求得的晶体管等效电路	(237)
7-3	参量的互相换算	(243)
§ 8.	从特性曲线求参量的方法	(244)
§ 9.	晶体三极管 Z 参量共基级 T 型高频等效电路	(247)
9-1	高频工作时, 等效电路中应考虑的因素	(247)
9-2	高频 T 型等效电路	(249)
§ 10.	晶体管噪声	(250)
10-1	晶体管噪声的特点	(250)
10-2	晶体管噪声的种类及来源	(251)
10-3	噪声等效电路及计算方法	(253)
10-4	减小晶体管噪声的几个方法	(254)
§ 11.	温度对晶体三极管的影响	(254)
§ 12.	晶体管的维护	(256)
第四章	其他类型晶体管	(257)
§ 1.	高频管	(258)
1-1	晶体四极管	(258)
1-2	漂移晶体三极管	(259)
1-3	$P-N-I-P$ (或 $N-P-I-N$) 型晶体管	(259)
§ 2.	大功率管	(260)
§ 3.	脉冲、开关管	(261)
3-1	双基极二极管 (单结的晶体三极管)	(261)
3-2	隧道式二极管 (负阻二极管)	(263)
§ 4.	化合物半导体晶体管	(265)
附录1.	晶体管的测量	(267)
§ 1.	三极管特性曲线的描繪	(267)
1-1	描繪晶体三极管单根静态特性曲线的方法	(268)
1-2	描繪晶体三极管静态特性曲线族的方法	(268)
§ 2.	晶体管低频小信号 h 参量的测量	(270)
附录2.	常用电子管特性曲线和特性表	(273)
附录3.	几种晶体管的特性曲线	(~279)

第一篇 电真空器件

第一章 接收放大管

§ 1. 电子管结构的简单介绍

1-1 电子管的主要组成部分及各部分的材料

电子管主要由下面三个部分组成：

1. 管壳—电子管的外壳，它里面抽成真空（一般气压约为 10^{-5} — 10^{-6} 毫米水银柱，电子在器件内运动几乎不与气体原子发生碰撞）。对管壳的要求是膨胀系数小，电介质损耗不大和熔点不太高。根据这种要求，管壳最常用的材料是玻璃、低碳钢和陶瓷。用玻璃的叫玻璃管，用钢的叫金属管，用陶瓷的叫陶瓷管。图 1.1 表示一般花生管（一种小型玻璃管）的外形图。

2. 管底—现在所用的玻璃管大多采用坚硬的引线露于管壳的下部作为管脚（如图 1.1 所示），这种直接用玻璃外壳作为管底的装置叫做玻璃管底。图 1.2 画出了安装这种管子的七孔和九孔插座，它的间隔是不均匀的，例如七孔插座，从 1 到 7 的相邻孔距均

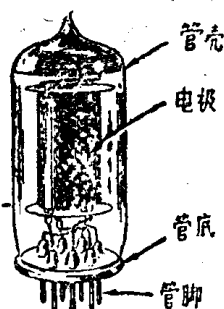


图 1.1 小型玻璃管外形图

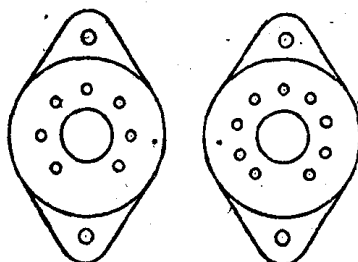


图 1.2 七孔和九孔插座图

匀，但首尾两端的间隔则较大。因此，可使管子正确插入管座而接入电路。管脚的号码是这样规定的：将管底朝上，管脚间距离较大的左方那个管脚定为1号管脚，然后顺时针依次确定其他管脚号码。图1.3表示五极管6K4П的管脚接线图。九孔的插座与七孔的在形状上完全一样。

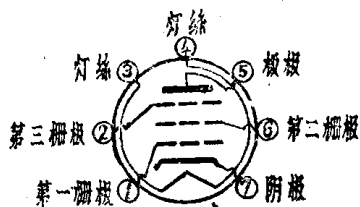


图 1.3 6K4П 管脚接线图

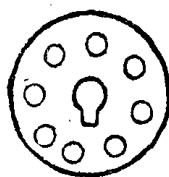


图 1.4 八孔插座图

部分玻璃接收管和金属管脚用另外的八脚管底，这种管底上八个管脚在圆周上等距排列，为了使管子正确地插入管座而与管外线路相连接，管底的中央有一个插键，插键左方那个管脚定为1号管脚，然后按顺时针方向依次确定其他管脚。在管座上有相应的孔，以防插入时发生错误。八孔的管座如图1.4所示。当管脚不到八个时，可保留空脚或不将管脚装上。

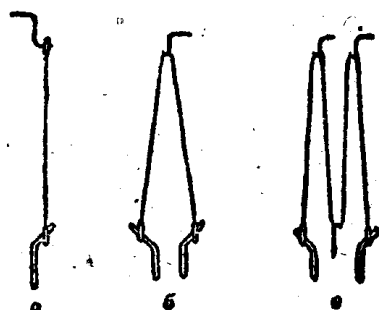
3. 电极—它借助于特别的支柱装在管子的心柱上或底座上。电极包括板极、栅极和阴极。板极采用镍、钨、铜和石墨等。栅极一般采用钨或钨镍合金。阴极必须满足逸出功小和熔点高的要求（原因后详），它可采用纯净金属的单质阴极（如钨），也可以采用加膜阴极（阴极表面有一层特殊物质，又称复合阴极，如氧化物阴极）。

1—2 电子管的简单介绍

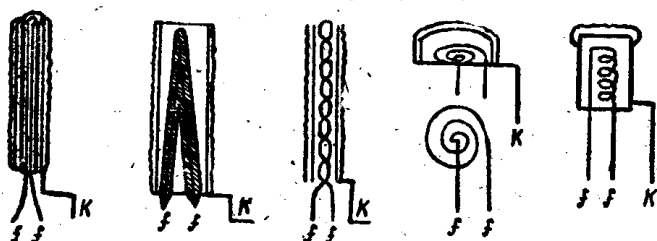
1. 二极管

电子管中的第一个电极就是阴极，它的任务是发射电子。为了使阴极能发射电子，应给阴极加热，使电子具有等于或大于逸出功的能量。按照加热方式的不同，阴极可分为两类：

第一种是直热式阴极，它的加热电流直接通过阴极，使电能变成热能，以直接升高阴极的温度。其结构如图 1.5a 所示。一般这种阴极材料的热容量小，因而需要的加热功率也小，宜用直流供电的电源。



a. 直热式阴极



b. 傍热式阴极

图 1.5 直热式阴极和傍热式阴极

第二种是傍热式阴极 K ，它的加热电流不直接通过阴极，而是通过另外的金属灯丝 ff ，由灯丝的热传导和辐射间接使阴极温度升高。其结构如图 1.5b 所示。这种阴极有较大的热容量，宜用交流供电的电源，这种阴极在电真空技术中应用最广，如一般接收管均采用这种阴极。

第二个电极是板极（或称阳极、屏极），它的功用是收集从阴极发射的电子，因此，板极上应加正的电压（即板极电位高于阴极电位），但应注意不能使板极的温度过高，否则会使板极材料放出

残余的气体而影响管内的真空度，甚至因过热而将板极烧坏。在正常工作时，板极的温度必须远低于阴极的温度，因而要求板极具有足够的辐射能力，故常采取具有碳化物黑色薄膜的板极表面，因为黑色板极的辐射功率比白色板极大2~3倍。



图 1.6 5U4c 的板极结构

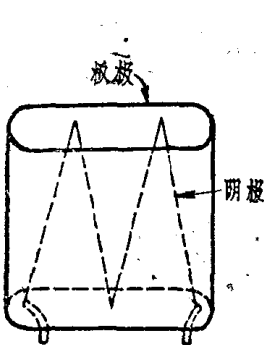
板极的结构一般做成圆筒形（圆柱式）或是两端开口的扁平筒形（平板式），但为了增大辐射面积，可在板极的本体上附加几个竖的侧面或将板极做成密网状。

图1.6表示5U4c的板极结构。

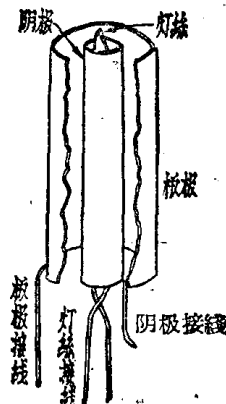
有了阴极和板极，便构成了一个简单的二极管，其结构图及在电路中的符号如图 1.7 所示。板极用字母 A 表示，阴极用字母 K 表示。

当给阴极加热后，便有电子从阴极发射出来，它们分佈在板极和阴极的空间而称为空间电荷。假如板极加正电压，这些空间电荷就会在正电场的作用下跑向板极而构成板极回路的电流，简称为板流；假如板极加负电压，则这些空间电荷在负电场的作用下不能跑向板极，这说明二极管具有单向的导电性。

2. 三极管



(a) 平板式二极管结构



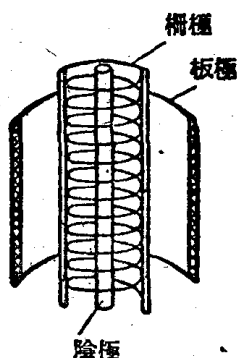
(b) 圆筒形二极管结构



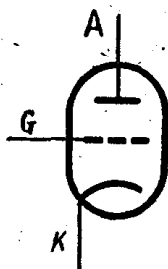
(c) 二极管符号

图 1.7 二极管

三极管的结构如图 1.8a，它在板极和阴极之间安放一个栅状电极，称为控制栅极。



a. 三极管的结构图



b. 三极管代表符号

图 1.8 三极管结构及符号图

由实验证明：栅极电位的改变就引起板流的变化，当栅极电位较阴极电位低时，栅极与阴极间的电场为拒斥场，将使运动的电子减速，于是板极电流减少；倘使栅极电位较阴极电位高时，运动的电子得到加速，于是引起板流的增长。

为了控制板流，控制栅极结构应该是：（一）必须允许板流通过，并避免吸取较多的电子。因此，一般的栅极都是将金属丝绕成螺旋状，如图 1.8a，使电子能够自由地穿过栅丝之间的空隙而达到板极。（二）它的位置靠近阴极，这样才能更有效地控制阴极发出的电子。并且在一般情况下，栅极多运用在负电位，因而它本身很少吸取电子。控制栅符号以字母 G_1 表示，三极管的符号如图 1.8b。

3. 四极管

上述的三极管在应用中有一些缺点，其中主要的是板极和栅极之间极间电容太大，因而不宜在高频情况下工作（原因以后讨论）。为了克服这个缺点，在控制栅极和板极之间又加进了屏栅极（ G_2 ）来减小上述电容的影响。这种电子管叫做屏栅四极管，其结构及符号如图 1.9 所示。

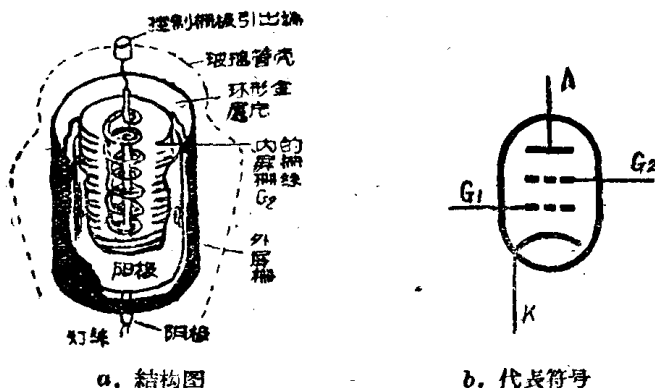


图 1.9 四极管的结构和符号

屏栅极与控制栅极的形状相似，但为了能起较好的屏蔽作用，应做成密栅状。由于上述的屏蔽作用减弱了板极电位对阴极附近空间电荷的影响，所以屏栅上应加正电压来代替板极对空间电荷的作用，使电子向板极方向流动形成板流。屏栅极用符号 G_2 表示，如图 1.9b 所示。

4. 五极管

四极管虽然克服了极间电容大的缺点，但它本身也有严重的缺点；在板极电压足够高的情况下，电子流的速度相当大，有可能在

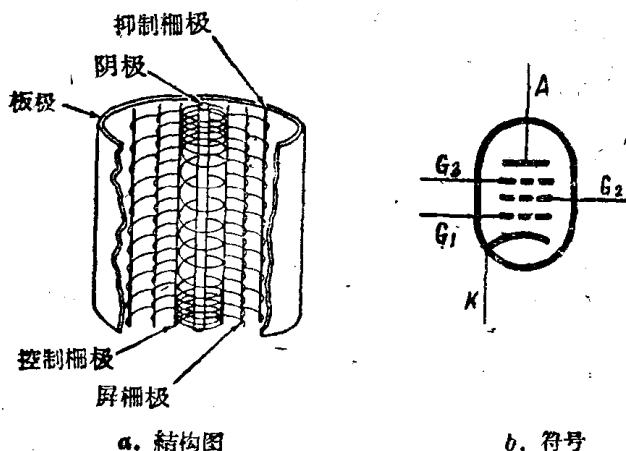


图 1.10 五极管的结构和符号

屏栅极和板极上打出新的电子来(叫二次电子),由前面知道屏栅压为正(通常为 $\frac{1}{2} \sim 1$ 倍的板压),因此板极发射的二次电子有可能跑到屏栅极去,这对四极管的正常工作很不利。因此,在屏栅极和板极之间加入第三个栅极来抑制这种效应,这个栅极称为抑制栅极。抑制栅极做成稀栅状,电位一般为零。由于又多了一个电极,便构成了五极管,其结构和符号如图 1.10 所示。

§ 2. 二、三、四、五极电子管

以上已讨论了二、三、四和五极电子管的基本结构,下面应首先研究这些器件的电的特性,因为必须正确了解它们的电的性质,才有可能在电路中正确地应用这些器件。由于这些器件具有个别的特殊性,同时它们之间又存在很多重要的共同性,因此在这节中,为了通过对个性的了解进而掌握它们的共性,所以把这些器件的电的特性综合在本节中进行讨论。

在电子管的特性中,最主要和最基本的都是板极电流的情况,但这个电流的来源是阴极的电子发射,因此我们首先应研究阴极怎样会发射电子。

2-1 热电子发射(附二次电子发射)

前已提到,电子管的阴极依靠加热而发射电子,因此我们首先研究金属的热发射现象。下面先从孤立原子的简单情况开始讨论:

1. 孤立原子的位阱和电子能级

一个电子在一个孤立的原子核的电场中,将受到原子核的吸引力。

$$F = \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (1.1)$$

式中, F 为吸引力, e 为电子电荷, z 为原子的原子序数(例如氢则 $z = 1$) r 为电子与原子核的距离, ϵ_0 为真空的介电系数。

电子在此自由空间任何一点上的位能,应等于电子从无限远移