

电真空器件制造工艺学

第二分册

[苏联] H. A. 布利斯庫諾夫 著
И. Я. 卡美涅茨基

甲 辰 譯

陈克強 校

內 容 簡 介

本分册叙述了現代电子管的栅极、阳极和外壳的制造工艺。介紹了零件的結構，指出了它們的主要加工規範，并且讲述了各种工艺装备。

本书可作为电真空专业的工程技术人员及相应专业高等学校“电真空器件制造工艺学”課程的参考书。

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ I
〔苏联〕 Н. А. Блискунов И. Я. Каменецкий
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1961

电真空器件制造工艺学

第二分册

甲 辰 譯

陈 克 强 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印張 6 $9/16$ 167千字

1965年5月第一版 1965年5月第一次印刷 印数：0,001—2,900册

統一书号：15034·903 定价：(科六) 1.00元

目 录

第一章	电子管栅极的制造工艺	5
§ 1-1	电子管栅极的结构和材料	5
§ 1-2	电子管栅极材料的清洗和退火	13
§ 1-3	电子管栅极的绕制	18
§ 1-4	小功率电子管栅极的各种涂复工艺	38
§ 1-5	振荡管栅极的涂复工艺	48
§ 1-6	栅极在自动机上绕制后的加工	52
§ 1-7	栅极的矫直、撑栅、成形和检验	56
§ 1-8	制造和加工栅极的自动流水线	59
第二章	阳极和其它金属零件的制造工艺	64
§ 2-1	阳极的分类及对阳极制造材料的要求	64
§ 2-2	电子管阳极制造材料的机械加工	67
§ 2-3	制造电子管阳极用的冲床和冲模	77
§ 2-4	电子管内部其它金属零件的制造工艺	86
§ 2-5	电子管零件机械加工用润滑油及其制备和检验	100
§ 2-6	阳极和电子管内部其它金属零件的化学去油和电化学去油	109
§ 2-7	阳极和电子管内部其它金属零件的化学腐蚀 和电化学腐蚀	114
§ 2-8	阳极和电子管内部其它金属零件的机械清洁方法 和综合清洁方法	121
§ 2-9	不采用有机溶剂的新的经济的电子管零件清洗方法	129
§ 2-10	阳极和其它金属零件的表面涂复方法	132
§ 2-11	管内金属零件的退火及检验	143
§ 2-12	钛阳极和石墨阳极的加工工艺过程	149
第三章	电子管外壳的制造	151
§ 3-1	电子管外壳材料的用途、分类和性质	151
§ 3-2	泡壳的制造	157
§ 3-3	泡壳的切割和接排气管	166

§ 3-4 金属管壳和玻璃泡壳的净化与退火	171
§ 3-5 电子管外壳各种涂层的涂复方法	174
§ 3-6 电子管芯柱的特点及其熔封工艺	181
§ 3-7 电子管芯柱引线的制造和加工	183
§ 3-8 梳形芯柱的制造	189
§ 3-9 接收-放大管用平板形芯柱的制造	193
§ 3-10 振荡管用平板形、盘形和同轴形芯柱的制造	198
附录 I 根据金属在机械加工时所用的润滑剂的不同来选择 清洗工艺过程	206
附录 II 各种清洗工艺过程的方案	208
参考文献	210

电真空器件制造工艺学

第二分册

[苏联] H. A. 布利斯庫諾夫 著
И. Я. 卡美涅茨基

甲 辰 譯

陈 克 強 校

內 容 簡 介

本分册叙述了現代电子管的栅极、阳极和外壳的制造工艺。介紹了零件的結構，指出了它們的主要加工規範，并且讲述了各种工艺装备。

本书可作为电真空专业的工程技术人员及相应专业高等学校“电真空器件制造工艺学”課程的参考书。

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ I
〔苏联〕 Н. А. Блискунов И. Я. Жаменский
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1961

电真空器件制造工艺学

第二分册

甲 辰 譯

陈 克 强 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印張 6 $9/16$ 167千字

1965年5月第一版 1965年5月第一次印刷 印数：0,001—2,900册

統一书号：15034·903 定价：(科六) 1.00元

目 录

第一章	电子管栅极的制造工艺	5
§ 1-1	电子管栅极的结构和材料	5
§ 1-2	电子管栅极材料的清洗和退火	13
§ 1-3	电子管栅极的绕制	18
§ 1-4	小功率电子管栅极的各种涂复工艺	38
§ 1-5	振荡管栅极的涂复工艺	48
§ 1-6	栅极在自动机上绕制后的加工	52
§ 1-7	栅极的矫直、撑栅、成形和检验	56
§ 1-8	制造和加工栅极的自动流水线	59
第二章	阳极和其它金属零件的制造工艺	64
§ 2-1	阳极的分类及对阳极制造材料的要求	64
§ 2-2	电子管阳极制造材料的机械加工	67
§ 2-3	制造电子管阳极用的冲床和冲模	77
§ 2-4	电子管内部其它金属零件的制造工艺	86
§ 2-5	电子管零件机械加工用润滑油及其制备和检验	100
§ 2-6	阳极和电子管内部其它金属零件的化学去油和电化学去油	109
§ 2-7	阳极和电子管内部其它金属零件的化学腐蚀 和电化学腐蚀	114
§ 2-8	阳极和电子管内部其它金属零件的机械清洁方法 和综合清洁方法	121
§ 2-9	不采用有机溶剂的新的经济的电子管零件清洗方法	129
§ 2-10	阳极和其它金属零件的表面涂复方法	132
§ 2-11	管内金属零件的退火及检验	143
§ 2-12	钛阳极和石墨阳极的加工工艺过程	149
第三章	电子管外壳的制造	151
§ 3-1	电子管外壳材料的用途、分类和性质	151
§ 3-2	泡壳的制造	157
§ 3-3	泡壳的切割和接排气管	166

§ 3-4 金属管壳和玻璃泡壳的净化与退火	171
§ 3-5 电子管外壳各种涂层的涂复方法	174
§ 3-6 电子管芯柱的特点及其熔封工艺	181
§ 3-7 电子管芯柱引线的制造和加工	183
§ 3-8 梳形芯柱的制造	189
§ 3-9 接收-放大管用平板形芯柱的制造	193
§ 3-10 振荡管用平板形、盘形和同轴形芯柱的制造	198
附录 I 根据金属在机械加工时所用的润滑剂的不同来选择 清洗工艺过程	206
附录 II 各种清洗工艺过程的方案	208
参考文献	210

第一章 电子管栅极的制造工艺

§1-1 电子管栅极的结构和材料

电子管中具有网状结构的那个电极叫作栅极。按照主要用途的不同，栅极可分为●《控制栅极》、《信号栅极》、《振荡栅极》、《屏栅极》、《抑制栅极》等。

按照栅极与阴极之间的距离的不同，栅极可分为《第一栅极》、《第二栅极》、《第三栅极》等。

最常用的栅极是：

1) 控制栅极——这个电极的主要用途是对电子流进行静电控制。

2) 屏栅极——这个电极的主要用途是防止任意两个电极之间的相互静电作用。

3) 抑制栅极——这个电极的主要用途是阻止二次电子由某一个电极流向另一个电极[文献1]。

在电子管工作中，栅极（特别是控制栅极）的作用是非常重要的。电子管内一系列复杂的物理现象，例如电子流的控制和其它作用等，都和栅极有密切关系。

这些物理现象有：电流分配、屏蔽效应、栅极热电流、离子流和漏电电流、二次电子现象——小岛效应、栅-阴极间接触电位差等。

在最初的电子管结构中，控制栅极做得好象一个金属网，这个网由细金属丝编织而成。在大多数现代最常用的各种电子管（工作于低频的电子管）结构中，控制栅极都是用较疏或较密的丝

● 这些定义都符合苏联《电子管器件(分类、名称、定义)》国家标准(ГОСТ)的规定。

繞成螺旋管形(图 1-1 *a*)，它們具有各种不同形状的横断面(图 1-1 *б*)。

随着小型和超小型电子管，以及工作于超短波波段內的具有短圆柱形阴极的振荡管的发展，在某些电子管内出现了筒状栅极(图 1-1 *в*)和冲制栅极(图 1-1 *д*)。随着分米波段平板形三极管(灯塔管和金属陶瓷管)的发展，要求在这类电子管中使用细网制成的栅极(图 1-1 *е*)或《蜂窝状栅极》(参看表 1-9)。中等功率和大功率振荡管栅极结构的例子示于图 1-1 *ж*。

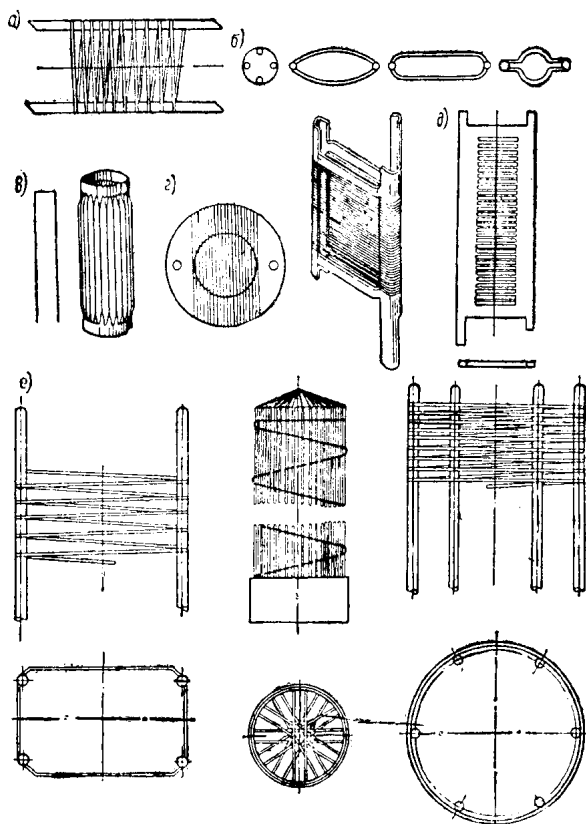


图1-1 电子管的栅极。

a — 絲繞螺旋管形栅极；*б* — 栅极的横断面形状；*в* — 筒状栅极；*г* — 細网制成的栅极；*д* — 冲制栅极；*е* — 中等功率和大功率振荡管的栅极结构。

各种类型电子管所采用的栅极结构是很不相同的。因此，我們不可能把各种制造工艺都讲一遍，下面只叙述最常用的几种栅极的制造工艺。

电子管的栅极主要包括工作部分（它是繞絲或綫网）和边杆部分（栅极的工作部分就固定在它上面）。

在某些情况下，在栅极的边杆上装有附加零件，用来将栅极和芯柱的引綫●连接起来，或者装有屏蔽片，用来屏蔽从伸出栅极以外的阴极部分放射出来的电子流（图 1-2 a）；或者装有散热片（图 1-2 b），用来把那些由栅极絲发出的热量傳导出去，这些热量是由栅极电流和栅极旁边其它电极的辐射能所产生的。为了减小由栅极表面产生的热电子发射，装上散热片是非常必要的。

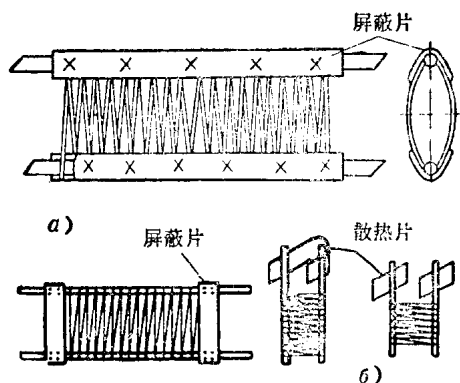


图1-2 装在栅极上的附件：

α —带屏蔽片的栅极； δ —带散热片的栅极。

由于对栅极的机械性能、热性能和电子发射性能等的要求很高，所以对于制造电子管栅极所用的材料，有比较大的限制。在大部分电子管中，栅极的边杆部分和工作部分（繞絲、綫网等）是由不同的材料制成的。

● 对接收-放大管來說，不必装这个零件，因为这类电子管的栅极通常用它的—一个边杆与芯柱引綫直接相連。

栅极的直径、节距、栅极结构和栅极与电子管其它各电极之间的位置，可以决定电子管的特性和许多电气参量。

因此，对栅极绕丝所用的材料提出了一系列的要求：

1) 热稳定性好，当电子管工作时，在栅极发热的情況下，也能保持不变形；

2) 电子发射能力最小；

3) 导热性好；

4) 易于去气；

5) 阴极溅射小；

6) 蒸汽压低。

为了制造高质量的栅极，保证丝料满足这些要求是很重要的。

当采用的丝料截面不是严格的圆形时，栅极各圈之间的间隙将是不均匀的，对于节距很小的栅极以及束射管中的栅极，这是不允许的。

钼和钨^①能够很好地满足上述各项要求。还应当指出，在800~900°C时，它们的机械强度很高，并且导热性很好。应用金刚石模具制造的钼丝和在拉丝时进行相应的检验，可以保证栅丝直径有严格的公差，并且能保证规定的截面形状。

在大量生产接收-放大管和小功率振荡管时，最常用的栅丝材料是钼。如上所述，钼具有良好的机械性能。这些性能使我们能够用直径为25微米或者更粗一些的钼丝来制造栅极，同时还能保证栅极与阴极间的距离在100微米左右。

钼的缺点是易于氧化，并且价格昂贵。因此常用一些合金来代替钼，这些合金主要分为两类：

1) 具有不同成分比例的镍钼铁合金。这类合金具有很高的机械强度，但是导热性差。

① 近来常常用钨作为栅丝材料，因为用钨丝作好了的栅极就不需要再进行一系列的加工了（撑栅、矯正）。

2) 含 4.2%~5.5% 錳的鎳錳合金 (例如, HMII-5 就是含有上述錳量的鎳錳合金)。这种合金比鉬便宜, 但是导热性差, 并且在較高的栅极工作溫度下, 它的强度也不高。

这种合金能减低栅极热电子发射, 因为它能和鉬形成逸出功很大的物质。另外, 从表 1-1 中可以看出, 鉬具有很多优点。

表1-1 各种栅絲材料的特性、价格和鉬比較 (百分数)

特 性	鉬	合 金	
		22% 鎳、20% 鉄、58% 鉬	95% 鎳、5% 錳
最大拉伸强度			
在 20°C 时	100	50	60
在 800°C 时	100	60	30
导热性	100	11	26
价格	100	35	10

应该指出, 对于栅絲材料的一般要求, 随着栅极截面形状的不同, 而稍有不同。

对于具有氧化物阴极的电子管来说, 在选择繞制栅极的材料时, 通常不仅要根据对栅极所提出的机械性能的要求, 并且要考虑到能保证一定的栅极表面性能, 例如没有热电子发射, 或者有一定的接触电位差 (控制栅极与阴极之間), 这个电位差是为了获得給定的阳极电流和栅流值所必需的。

必須指出, 因为控制栅极与阴极之間的接触电位 U_{gk} 可按下式求出:

$$U_{gk} = \varphi_k - \varphi_g,$$

式中 φ_k ——阴极表面的逸出功;

φ_g ——栅极表面的逸出功,

所以, 为了减小栅极的电子流, 必須使 U_{gk} 尽可能地小。因此, 为了减小栅极热电子发射和减小栅极电流, 栅极表面的逸出功 φ_g 应尽可能地大。

为了减小栅极的热电子发射,通常把钼丝镀一薄层金,或者银钼合金,或者金钼合金等,或者不用钼丝而用其它材料:镍锰合金(HIMU-5)、镍铬合金、镍钼合金(HHMO-25)①、镍钨合金(HHBO-25)②。最广泛应用的是钼丝镀金,因为从氧化物阴极表面蒸发出来的钼,容易与金形成固溶体,此时,在很长的一段时间(有时达1000小时)内,镀金栅极表面的氧化物层,比由钼、钨、镍等制造的栅极表面的氧化物层,具有更大的逸出功[文献3]。

将钼镀以各种金属③和合金,还可以防止栅丝表面产生氧化钼。氧化钼在蒸发时对氧化物阴极的发射有不良影响。

对电子管栅极的边杆材料,和对栅丝材料一样,也有一系列的要求,其中主要的是机械强度和相当良好的导热性能。

现在常用紫铜来制造接收-放大管和小功率振荡管的控制(通常是第一)栅极的边杆,因为紫铜具有良好的导热性能,所以减小了栅丝表面的热电子发射。这类电子管的屏栅极边杆和抑制栅极边杆是用牌号为H-1的一般工业用的纯镍制造的。当对管芯的机械强度和热稳定性要求高时,则用含有0.4%到1%铬的紫铜④来制造接收-放大管和小功率振荡管的栅极边杆,这种材料的弹性较好;或者用牌号为HMLI-5含有4.2%到5.5%锰的镍锰合金来制造。在镍里加入锰以后,可以改善边杆的机械性能——提高硬度和抗拉强度,但是其导电性能和导热性能均有所降低。

对于第一(控制)栅极来说,通常要求能把大量的热传导出去,所以,在上述这类电子管中,也有用银铜合金(含Ag 2%)来作边杆材料的。

① 合金HIMMO-25含Ni75%和Mo25%。

② 合金HHBO-25含Ni75%和W25%。

③ 在大量生产电子管时,广泛使用钼丝镀镍。

④ 紫铜的导电性能和导热性能都很好,但是机械强度小,尤其是在高温条件下。有时将紫铜作的边杆镀镍,以防止氧化铜落到氧化物阴极的表面上,这样才不致对阴极发射能力产生不良的影响。

用鍍有一層紫銅或者銀的鉄絲來作柵極邊杆，效果也並不壞〔文獻 5〕。

含鉻的銅合金具有良好的導熱性能，並且，如上所述，具有比紫銅高的機械強度，但是，由於在這種合金絲的每一段里所含鉻的成分很不均勻，所以在利用鉻銅合金來製造柵極邊杆時，在工藝上是有一些困難的。在紫銅里加入銀，可以提高它的機械性能，但是會降低它的導電性能，同時也會使它的導熱性能降低。這樣，我們就不得不選用其它沒有上述缺點的材枅。目前製造柵極邊杆多採用含銀 8% 的銅合金和雙金屬絲 КУНИ-1 及 КУНИ-10，雙金屬絲是將 НИМО-10 牌號的合金條壓入紫銅管內，然後再進行機械的壓力加工而製成的。

КУНИ-1 及 КУНИ-10 牌號的金屬絲，其成分（大致的）如下：

- | | |
|------------|----------------------------|
| 1. КУНИ-1 | Cu 60%~64% 和 Ni 36%~40% ●。 |
| 2. КУНИ-10 | Cu 73.5% 和 Ni 26.5%。 |

這些材枅的試驗結果證明，其強度極限，特別是在高溫條件下，遠遠超過鉻銅合金的強度極限。這些材枅的導電性能和導熱性能比紫銅小 $\frac{1}{3}$ ，但是比鎳和鎳合金則大 3 倍。如能正確選擇雙金屬綫的退火規範，則製造柵極的過程並不是很困難的。

在中等功率振蕩管中，通常都採用鉬制的柵極絲和邊杆。此時，鉬常常鍍以鎳，有時還塗一層金屬或者某種氧化物，以提高其輻射系數和增大逸出功。對於大功率振蕩管，因為它們的工作溫度非常高，所以要用鉬來製造柵絲和邊杆，有時還要用鉬來製造。為了減少柵極熱電子發射，鉬還可以進行碳化，就是把柵極放在二氧化碳氣或一氧化碳氣中加熱進行碳化〔文獻 4〕。

製造柵極所用的各種金屬和合金的主要性能列於表 1-2 和表 1-3。

● 如果含銅量少，則導電性能和導熱性能均變差。

表1-2 栅絲材料的主要物理机械性能

材 料 名 称	成 分	比重 (克/ 厘米 ³)	导热率 (卡/厘米 ·秒·度)	弹 性 系 数 (公斤/ 厘米 ²)	极限拉伸强度 (公斤/毫米 ²)		热膨胀 系 数 (β ·10 ⁷)	电阻率 (微欧 ·厘米)
					原 材 料	退 火 后 的 材 料		
镍锰合金	94.5~95.8%Ni 4.2~5.5%Mn	8.8	—	—	100	60	—	20.0
镍铬合金	80%Ni 20%Cr	8.36	0.034	22000	90	—	125	110.0
НИМО-25	75%Ni 25%Mo	8.8	0.04	—	150	85	107	110.0
钼	Mo	10.3	0.35	32000	150	80	53.0	4.8
钨	W	19.3	0.48	35000	200	100	44.4	5.5
钽	Ta	16.6	0.13	19000	120	35	65	15.5

表1-3 栅极边杆材料的主要物理性能与温度的关系

材 料 名 称	温 度 °C	电 阻 率	电 导 率	导 热 率
		(微欧·厘米)	(米/欧·毫米 ²)	(卡/厘米·秒·度)
銀 銅 合 金	400	5.7	17.6	0.70
	300	4.5	22.3	0.74
	200	3.9	25.6	0.70
	100	3.1	31.8	0.69
	20	2.4	41.0	0.70
КУНИ-1	400	10.1	9.92	0.37
	300	8.0	12.5	0.41
	200	6.4	15.8	0.43
	100	5.4	18.6	0.40
	20	2.8	35.3	0.60
紫 銅	400	4.3	23.5	0.93
	300	3.6	28.0	0.93
	200	3.0	33.4	0.92
	100	2.7	45.0	0.96
	20	1.7	57.5	0.98
鍍 鎳 銅	400	4.4	22.8	0.90
	300	3.3	29.0	0.99
	200	2.8	25.4	0.97
	100	2.2	45.8	0.99
	20	1.7	56.3	0.95

材 料 名 称	溫 度 °C	电 阻 率 (微欧·厘米)	电 导 率 (米/欧·毫米 ²)	导 热 率 (卡/厘米·秒·度)
КУНИ-10	300	5.0	15.6	0.60
	200	4.1	20.0	0.62
	100	3.2	24.5	0.67
	20	2.6	31.2	0.65
鉻 青 銅	400	5.2	19.1	0.76
	300	4.9	20.4	0.68
	200	4.0	24.6	0.68
	100	3.5	29.0	0.62
	20	2.9	35.0	0.59
鎳H-1	400	27.8	3.60	0.14
	300	21.6	4.61	0.15
	200	16.6	6.01	0.16
	100	10.4	9.60	0.16
	20	8.5	11.8	—
杜 美 絲	400	50.0	2.00	0.079
	300	45.3	2.20	0.075
	200	41.2	2.42	0.066
	100	32.6	3.07	0.066
	20	26.2	3.80	0.065

§1-2 电子管栅极材料的清洗和退火

在生产中，当制造栅极所用的絲料或带料运来之后首先要仔细地清洗，除掉材料上可能附着的一切髒物，例如石墨潤滑剂或任何潤滑油，这些是机械加工（拉絲）后经常会附着在絲料表面上的髒物。

通常是用电化学法和加热法来清洗絲料。在讲述直热式阴极基金屬的加工方法时，已經談过了一些在碱溶液中进行絲料电化学腐蝕的方法〔文献 9〕。除清洗以外，对于制造栅絲和边杆用的一切絲料，都要进行退火。在还原气体（氢气或成形气体）中退火，既可以清除表面的防护塗层（如在难熔金屬絲表面的石墨潤滑剂）、氧化物和髒物，又可以获得所需要的机械性能——极限拉伸强度和延伸率。

在还原气氛中进行表面净化，通常是没有什么困难的，可以