

电子技术培训教材

真空电子器件制造工艺

真空电子器件专业工人教材编写组



电子工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了真空电子器件制造有关的工艺技术, 包括基础工艺和总成工艺两部分。基础部分包括: 零部件的制造, 零件的净化、热处理、涂覆、连接、封接、阴极热子的制造、吸气剂的制造; 总成工艺包括: 装架、封排、老炼、测试、例行试验、寿命试验和检验。

本书作为真空电子器件专业工人技术培训教材, 也可供从事这方面工作的干部、管理人员以及技工学校师生参考。

真空电子器件制造工艺

真空电子器件专业工人教材编写组

责任编辑: 焦桐顺

*

电子工业出版社出版发行 (北京市万寿路)
山东电子工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.75 字数: 240.4千字

1984年11月第1版 1984年12月第1次印刷

印数: 11200册 定价: 2.00元

统一书号: 15290·48

出版说明

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，提高电子工业真空器件专业工人技术水平，受电子工业部委托，在中国电子器件工业总公司组织领导下，按部颁电子工业真空器件专业工人技术培训教学计划、教学大纲要求，编写了《真空电子器件》、《真空电子器件制造工艺》、《真空电子器件材料》、《真空技术基础》四本教材。

这套教材是电子工业工人技术培训统编教材，作为初级或中级培训教材时，在内容上可适当增减。本教材也可作为具有一定电真空生产知识的工人、干部的自学丛书。

本教材在编写过程中得到了上海电真空器件工业公司、1412所、七七四厂、七四一厂、七七六厂等单位的大力支持和密切配合，在此一并表示感谢。

《真空电子器件制造工艺》由张自仲、贾沛凯、曾绍箕编写，郭振常、李挺高审定。高级工程师陈遥刍、袁磊、徐承浩等同志对本教材作了审阅。

由于真空电子器件的品种繁多，技术复杂，而编写时间紧迫以及编写水平有限，缺点和错误难免，恳切希望广大读者给予批评指正。

电子工业真空电子器件专业工人教材编写组

目 录

第一章 绪论

§ 1.1 真空电子器件生产的特点	1
1.1.1 所用材料的广泛性	1
1.1.2 生产技术的复杂性	2
1.1.3 真空卫生的严格要求	3
1.1.4 工艺纪律的严肃性	3
§ 1.2 真空电子器件生产的技术准备	4
§ 1.3 真空电子器件的生产过程	5

第二章 金属零部件的制造

§ 2.1 金属零件加工的主要方法	7
2.1.1 冲压	7
2.1.2 绕制	14
2.1.3 电火花加工	14
2.1.4 光刻	15
2.1.5 电铸	17
2.1.6 挤压	18
§ 2.2 阳极的制造	20
2.2.1 一般阳极的制造工艺	20
2.2.2 磁控管阳极的制造工艺	24
2.2.3 真空浇铸阳极的制造工艺	26
§ 2.3 慢波部件的制造	26
2.3.1 慢波部件的制造工艺	28
2.3.2 螺旋线慢波部件的夹持方法	29
§ 2.4 栅极制造	31
2.4.1 绕制型栅极的制造工艺	31
2.4.2 框架栅的制造工艺	34
2.4.3 电火花加工栅网的制造工艺	34

2.4.4 光刻栅网的制造工艺	35
2.4.5 热解石墨栅极的制造工艺	37
§ 2.5 荫罩的制造	38
第三章 零件的净化	
§ 3.1 净化的作用和方法	41
§ 3.2 机械净化法	42
§ 3.3 化学及电化学去油	45
3.3.1 有机溶剂去油	45
3.3.2 肥皂和合成洗涤剂去油	47
3.3.3 碱液去油	47
3.3.4 电化学去油	49
§ 3.4 化学及电化学浸蚀	50
3.4.1 化学浸蚀	50
3.4.2 电化学浸蚀	53
§ 3.5 化学及电化学抛光	54
§ 3.6 超声波清洗	55
§ 3.7 清洗质量的检验	57
§ 3.8 零件清洗举例	58
第四章 零件的热处理	
§ 4.1 热处理的目的及工艺	62
4.1.1 热处理的目的	62
4.1.2 热处理工艺	63
§ 4.2 在氢气中的热处理	65
§ 4.3 在真空中的热处理	69
§ 4.4 在空气中的热处理	72
第五章 零件的涂覆	
§ 5.1 机械涂覆法	74
5.1.1 喷涂法	74
5.1.2 浸渍法	74

5.1.3	沉淀法	76
5.1.4	热涂法	76
5.1.5	其他机械涂覆方法	77
§ 5.2	物理涂覆法	78
5.2.1	真空蒸涂法	78
5.2.2	阴极溅射法	79
5.2.3	离子镀	81
5.2.4	静电喷涂	82
5.2.5	熔融喷涂法	84
§ 5.3	化学涂覆法	84
5.3.1	钝化与发蓝	84
5.3.2	碳化法	86
5.3.3	氮化	88
5.3.4	磷化	89
5.3.5	气相沉积	91
5.3.6	化学镀	96
§ 5.4	电化学涂覆	98
5.4.1	电镀	98
5.4.2	电泳	102
5.4.3	铝的阳极氧化	103
§ 5.5	荧光屏的涂覆	104
5.5.1	涂屏的一般要求和方法	104
5.5.2	显象管的涂屏	106
5.5.3	影响涂屏质量的主要因素	109
5.5.4	有机膜的涂覆	110

第六章 零件的连接

§ 6.1	电阻焊接	113
6.1.1	点焊	113
6.1.2	滚焊	118

6.1.3 对焊	119
§ 6.2 钎焊	119
6.2.1 基本原理	119
6.2.2 钎焊的优缺点	121
6.2.3 钎焊常用的焊料	122
6.2.4 钎焊工艺	124
6.2.5 钎焊结构	126
6.2.6 钎焊的方法和设备	128
6.2.7 钎焊接头的质量检验及典型缺陷	130
§ 6.3 熔融焊接	131
6.3.1 氩弧焊	131
6.3.2 氢原子焊	134
6.3.3 等离子焊	135
6.3.4 真空电子束焊	137
6.3.5 激光焊	138
§ 6.4 其他连接方法	141

第七章 玻璃与玻璃、玻璃与金属的封接

§ 7.1 玻璃与玻璃的封接	143
7.1.1 焊料封接	143
7.1.2 采用中间玻璃的过渡封接	145
§ 7.2 玻璃与金属封接	147
7.2.1 玻璃与金属封接机理	147
7.2.2 玻璃与金属封接的一般工艺	149
7.2.3 玻璃与金属封接的结构及其工艺	153
7.2.4 玻璃与金属封接的检验	159

第八章 陶瓷与金属的封接

§ 8.1 概述	161
§ 8.2 陶瓷与金属的封接结构	162
§ 8.3 活化钼-锰法	165

8.3.1	活化钼-锰法简介	165
8.3.2	活化钼-锰法的优缺点	166
8.3.3	活化钼-锰法封接的工艺过程	166
§ 8.4	钛-银-铜法	171
8.4.1	钛-银-铜法简介	171
8.4.2	钛-银-铜法的优缺点	172
8.4.3	钛-银-铜法封接工艺	173
8.4.4	主要工艺因素对封接质量的影响	174
§ 8.5	其他封接方法	177
8.5.1	真空蒸涂和离子溅射金属化法	177
8.5.2	压力扩散封接法	178
§ 8.6	封接的性能检验及内容	179

第九章 阴极的制造

§ 9.1	钨阴极的制造	183
§ 9.2	钍钨阴极的制造	185
§ 9.3	氧化物阴极的制造	188
9.3.1	概述	188
9.3.2	氧化物阴极的特点及结构	190
9.3.3	基金属所用材料和加工工艺	192
9.3.4	涂料的制备	193
9.3.5	氧化物阴极的涂覆工艺	194
9.3.6	氧化物阴极涂层的检验	199
9.3.7	海绵阴极的制造	200
§ 9.4	浸渍钡钨阴极的制造	201
9.4.1	概述	201
9.4.2	浸渍钡钨阴极的制造工艺	201
9.4.3	钨酸钡铯阴极的制造工艺	206
§ 9.5	光电阴极的制造	207
9.5.1	光电阴极制造工艺的一般问题	208

9.5.2	铯-钡阴极的制造工艺	210
9.5.3	银-氧-钡阴极的制造工艺	211
9.5.4	多碱阴极的制造工艺	213
§ 9.6	次级发射体的制造	216
9.6.1	银-镁合金次级发射体的制造工艺	217
9.6.2	铜-钼合金次级发射体的制造工艺	218
§ 9.7	其他阴极的制造	218
9.7.1	硼化物阴极的制造工艺	218
9.7.2	氧化钽阴极的制造工艺	220

第十章 热子的制造

§ 10.1	概述	222
§ 10.2	热丝的成形	224
10.2.1	折叠形热丝的成形	224
10.2.2	螺旋形热丝的成形	224
§ 10.3	热子的涂覆与烧结	228
10.3.1	热子的涂覆	228
10.3.2	热子的烧结	231
§ 10.4	热子的装配	232
§ 10.5	黑化热子	233
§ 10.6	阴极热子组合件的制造	234

第十一章 吸气剂的制造

§ 11.1	概述	236
11.1.1	吸气剂吸气原理	236
11.1.2	吸气剂的分类	237
11.1.3	对吸气剂的一般要求	238
§ 11.2	蒸散型吸气剂的制造工艺	239
11.2.1	钡吸气剂的制造工艺	239
11.2.2	钡钛吸气剂的制造工艺	240
11.2.3	掺氮吸气剂的制造工艺	243

§ 11.3 非蒸散型吸气剂的制造工艺	244
11.3.1 钛和锆的应用	244
11.3.2 铈钍吸气剂的制造工艺	245
11.3.3 锆铝16吸气剂的制造工艺	245
§ 11.4 释汞吸气剂的制造工艺	247
§ 11.5 吸气剂主要参数的测定	248
11.5.1 蒸散特性的测定	248
11.5.2 含气量的测定	249
11.5.3 吸气特性的测定	249
§ 11.6 吸气剂的安装和保存	250

第十二章 装架

§ 12.1 装架的意义和技术要求	252
§ 12.2 静电控制管的装架	254
12.2.1 流水作业的生产形式	254
12.2.2 装架工艺及设备	255
12.2.3 装架的技术要求	255
§ 12.3 微波管的装架	256
12.3.1 装架的特点	256
12.3.2 装架的工艺过程	257
12.3.3 装架的技术要求	258
12.3.4 装架所用设备及工具	260
§ 12.4 电子束管的装架	260
12.4.1 装架的特点	260
12.4.2 装架的工艺过程	261
12.4.3 装架的设备	263
12.4.4 检验	264
§ 12.5 光敏管的装架	255
12.5.1 装架的特点	265
12.5.2 光电倍增管的装架工艺过程	266

第十三章 封口和排气

§ 13.1 封口工艺概述	268
§ 13.2 典型封口加工方法和步骤	269
§ 13.3 封口的工艺装备	271
§ 13.4 封口的检验及废品分析	272
§ 13.5 排气工艺概述	273
§ 13.6 排气的一般工艺过程	274
13.6.1 真空系统的检查与接管	274
13.6.2 去气	275
13.6.3 阴极处理	276
13.6.4 其他工艺处理和电参数测量	280
13.6.5 封离	280
13.6.6 吸气剂处理	282
§ 13.7 排气设备	283
§ 13.8 排气的检验及废品分析	285

第十四章 老炼

§ 14.1 老炼的目的	287
§ 14.2 老炼的一般工艺过程	288
14.2.1 阴极激活	288
14.2.2 电极除气	290
14.2.3 降低阴极与灯丝间的漏电	290
14.2.4 高压老炼	291
§ 14.3 老炼规范举例	293
§ 14.4 老炼所用的设备	296

第十五章 测试

§ 15.1 概述	298
§ 15.2 测试的分类	299
§ 15.3 主要测试内容及方法	301
§ 15.4 测试设备	306

15.4.1 测试装置的几种类型	306
15.4.2 测试设备的检查及使用	309
§ 15.5 测试误差及分析	311
§ 15.6 测试中的安全事项	313

第十六章 例行试验和寿命试验

§ 16.1 例行试验	314
16.1.1 例行试验及其目的	314
16.1.2 例行试验项目	315
16.1.3 气候试验	316
16.1.4 机械强度试验	317
16.1.5 例行试验的要求	318
§ 16.2 寿命试验	319
16.2.1 寿命试验的目的	319
16.2.2 寿命试验的内容	320
16.2.3 加速寿命试验的目的	321

第十七章 检验

§ 17.1 检验的意义和作用	323
§ 17.2 检验的分类	324
17.2.1 根据检查数量分类	324
17.2.2 其他分类方法	325
§ 17.3 检验标准的制订	327
17.3.1 检验标准种类	327
17.3.2 检验标准的制订	328
§ 17.4 检验项目和方法	329
17.4.1 原材料检验	329
17.4.2 过程检验	330
17.4.3 成品检验	331

第一章 绪 论

随着真空电子器件的发展，真空电子器件制造工艺日趋复杂和多样。在阴极、热子、吸气剂、零部件制造以及封接、连接、涂覆等方面，人们进行了新的开拓；各领域的先进技术对器件制造技术的渗透也屡见不鲜。真空电子器件以不断更新的制造技术而被注入新的生命。

§ 1.1 真空电子器件生产的特点

真空电子器件制造工艺的复杂性和多样性表现在以下几个方面。

1.1.1 所用材料的广泛性

真空电子器件所用材料，包含了自然界中70%以上的元素。所用材料大致有：

1. 金属材料 如钨、钼、铜、镍、汞、锆钛、金、银，铂以及镍钛、镍铁、镍铬、铁镍钴、银铜等各种黑色、有色金属及合金；
2. 化学材料 如硫酸、硝酸、盐酸、苛性钠、钾、丙酮、酒精、醋酸、戊酸等各种酸、碱、盐和大量有机溶剂；
3. 绝缘材料 如云母、陶瓷、胶木、石英、玻璃等；
4. 气体材料 如氢气、氧气、氮气、煤气、水蒸汽、压缩空气，以及氩、氦、氖等。

5. 特殊材料 如发射材料、发光材料、吸气材料、衰减材料等。

器件对这些材料还有一些特殊的要求，如材料的真空性能，即吸气和放气性能、材料在真空中的蒸发性能、耐热性能和电子发射性能等。做为加热性的材料要求熔点高、蒸发率低、高温强度好；器件内部结构材料或受热零件的材料，要求焊接性能及真空密封性能好，或辐射系数大，逸出功大等；作为管外零件的材料则要求有良好的机械性能和一定的抗蚀能力。除此之外，器件对材料的纯度也有一定要求，如阴极基金属材料，纯度要求在99.99%以上，充汞管中所用的汞，其纯度要求在99.999%以上。

1.1.2 生产技术的复杂性

真空电子器件的生产是多种技术的综合，其中包括：

1. 真空技术 真空的获得和测量，真空系统和器件的检漏、使用和维护等。

2. 玻璃和封接技术 玻璃及其零件的制造，玻璃与玻璃的封接、玻璃与金属的封接、以及金属与陶瓷的封接等。

3. 机械技术 工、模、夹具的制造，各种零件的机械加工等。

4. 化学技术 特殊材料的制备，零件的清洗、表面涂覆以及各种化学分析、检验等。

5. 焊接技术 电阻焊接、钎焊、熔融焊接等。

6. 净化技术 物理、化学及电化学净化技术。

7. 无线电和微波技术 器件的测试及应用。

8. 冶炼技术 金属及合金的冶炼、制造及其分析等。

1.1.3 真空卫生的严格要求

真空电子器件的性能和成品率与管内气氛和零部件的洁净程度有十分密切的关系，因此要求工艺环境十分洁净。在空气中，每升空气里含有颗粒在0.5微米以上的灰尘，多达40万到60万。这么多的灰尘落在管内，特别是落在阴极表面，必然会影响管子的性能。

工艺环境的净化，是由空气通过过滤器实现的。过滤器分为低效、中效、高效三种，以高效过滤器纯净度最好。但其前须串接中效和低效过滤器，以免高效过滤器的负荷过大，造成损坏。

我国的净化级别，目前分10万级、1万级、1千级和100级。以100级的净化程度为最高，它要求在每升的空气样品中，颗粒直径在0.5微米以上的尘埃不超过3个。

操作人员是洁净室最大的灰尘源，因此操作人员进入洁净室必须更换工作服、工作帽和工作鞋，即使真空卫生要求比较低的工作间，也需如此。

另外，有的工序，如装架，要防止操作人员的手汗及呼出的气体对管内零件的污染，操作时必须戴上橡皮指套和口罩。

1.1.4 工艺纪律的严肃性

在真空电子器件的生产中，每一工序都有一定的工艺规范，使其达到预期的目的。工艺规范是通过大量试验后得出的，因此，没有充分的试验依据并经一定的批准手续，不能任意更改变动，只能严格执行。

§ 1.2 真空电子器件生产的技术准备

为了把真空电子器件生产的各个环节合理地组织起来，就必须有生产的技术准备。生产的技术准备分设计准备和工艺准备两部分。

一、设计准备

设计准备是指产品的设计和试制。一个新产品的设计和试制过程是：根据用户提出的要求，提出设计任务书。任务书包括该产品的用途、使用范围、结构特点、主要参数和特性等。根据设计任务书进行产品的结构设计，并进行初样试制。初样试制成功后，即进行少量试生产。在试生产过程中应根据实际情况和理论推算的偏差程度，对产品进行必要的修正。试生产成功后，就可制定出正式的设计文件，这些文件包括：图纸、说明书、产品标准、参数规范表等。以上各步完成之后，经生产定型鉴定方可转入正式生产。

二、工艺准备

工艺就是产品的加工技术和加工方法。工艺准备的任务是根据产品的设计图纸，制定产品的制造工艺。其内容有：

根据最新的科学技术成就和工厂实际拟定零件、组件以及整个管子的制造工艺；

设计和制造诸如材料加工、零件制造及管子装配等所需要的工、模、夹具及装备等；

拟定工艺过程中的各种定额，如机时定额、工时定额、材料消耗定额等；

规定生产的工艺流程和组织形式；

编制各种工艺文件。这是用文字、图表和数据所表达的具体工艺，它包括：工艺过程卡、工艺卡、工艺检验卡等。

工艺过程卡是按每一零件或每一管型来编制的。它是用来指出零件或管子在制造过程中各工序进行的顺序，并指出工序所在的车间。工艺过程卡还包括材料名称和规格、材料从何处领来等。

工艺卡是按每一零件、部件或管子来编制的。它包括下列内容：

详细说明每一工序的操作；

进行这一工序所用的工具、装置和设备；

加工规范；

所需时间定额；

真空卫生等级。

工艺检验卡是指出每一零件、部件、管子的检验内容和方法的一种文件。它包括：

检验的内容及标准；

用什么工具和装备进行检验；

指出哪些是可修废品，哪些是不可修废品。

§ 1.3 真空电子器件的生产过程

真空电子器件的生产过程，可以分为很多单独的工序。如由材料制成零件，由零件装配成部件，由零、部件装配成管芯等。尽管器件的种类繁多，各类器件的生产过程不完全一样，但基本生产顺序还是一样的。表1.1列出了器件生产过程的一般顺序。