



仪器仪表工人 技术培训教材

光学零件特种加工工艺学

下 册

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出版社

仪器仪表工人技术培训教材

光学零件特种加工工艺学

下 册

机械工业部仪器仪表工业局 统编



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

本书主要介绍了光学零件制造中的镀膜、分划零件的刻划、照相及光栅制造等特种加工工艺。全书内容包括：所用设备的结构、使用和调整方法，加工工艺分析，零件加工质量的检验和疵病产生原因的分析等。

本书为光学零件特种加工中级工人的培训教材，亦可供从事光学零件特种加工的技术人员参考。

本书由上海光学仪器厂主编，姚予栋、宁文江、毛书正、华定元、陈真良、童永年、胡庆义编写，钟旭、樊子宇、何兆麟、周庆宝审稿。

光学零件特种加工工艺学

下 册

机械工业部仪器仪表工业局 统编

*

责任编辑：荆宏智 责任校对：贾立萍

封面设计：肖 晴 版式设计：胡金瑛

责任印制：卢子祥

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京交通印务实业公司印刷

（原人民交通出版社印刷厂）

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张12¹/₂·字数275千字

1993年9月北京第1版·1993年9月北京第1次印刷

印数 001—800·定价：14.50元

*

ISBN 7-111-00720-4/TH·117

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全国家仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省市仪表局、机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持。

IV

持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八二年十二月

目 录

前 言

第一篇 镀 膜

第一章 薄膜制备技术	1
1-1 真空镀膜设备	1
一、镀膜机	1
二、真空泵	3
1-2 薄膜淀积技术	10
一、电子束蒸发	11
二、反应蒸发	17
三、真空溅射	22
四、离子镀膜	27
1-3 膜厚监控	28
一、波长扫描法	28
二、石英晶体振荡法	32
复习题	35
第二章 膜系及其镀制工艺	36
2-1 膜系知识	36
2-2 常见典型膜系及其镀制工艺	37
一、减反射膜	37
二、高反射膜	44
三、分光膜	51
四、滤光膜	59
2-3 镀膜零件光学特性的测量	71
一、光谱特性的测量	71

二、折射率和几何厚度的测量	77
2-4 常用的薄膜材料	79
一、常用的金属薄膜材料	79
二、常用的介质和半导体薄膜材料	80
复习题	86
第三章 化学镀膜	87
3-1 减反射膜的镀制工艺	87
一、概述	87
二、镀制工艺	88
3-2 透明导电膜的镀制工艺	91
一、二氧化锡透明导电膜的形成原理和性能	91
二、透明导电膜的镀制工艺	92
三、透明导电膜常见疵病及克服方法	97
四、透明导电膜的退修	97
3-3 化学镀膜材料	97
复习题	99

第二篇 刻 划

第四章 刻划设备	101
4-1 刻划机的安装条件	101
一、温度	101
二、安装基础	104
三、防尘	106
四、照明	107
4-2 刻划机的安装和调试	107
一、圆刻划机的安装和调试	107
二、圆刻划机的精度测定	114
三、长刻划机的安装和调试	115
四、长刻划机的精度测定	116

五、机床的维护保养与润滑	116
4-3 光电跟踪	118
一、光电显微镜	118
二、光电跟踪	122
4-4 光刻设备	133
一、光刻原理	133
二、长光栅定位闭环数控装置	134
三、激光定位光刻机	139
复习题	141
第五章 刻划工艺	142
5-1 刻划精度	142
一、机床传动链的误差	142
二、机床轴系的误差	143
三、丝杆、螺母的分度误差	148
四、摩擦力对机床工作精度的影响	148
五、空回对刻划精度的影响	149
六、零件坯料及装夹对刻划精度的影响	150
七、环境对刻划精度的影响	151
5-2 刻划夹具设计	154
一、对夹具的基本要求	154
二、六点定位原则	156
三、定位方法	158
四、工件的夹紧	159
五、夹具设计	159
复习题	162

第三篇 照 相

第六章 照相设备	163
6-1 照相机	163

一、制版照相机	163
二、制版镜头	165
6-2 数字式刻度模版机	176
一、主机	178
二、电气系统	182
三、模版机的使用	182
6-3 光源	186
一、概述	186
二、各种光源的性能、特点及应用	190
复习题	194
第七章 照相工艺	195
7-1 底版放大图的制做	195
一、底图的绘制	195
二、漆膜底图的刻制	198
7-2 底版的初缩	202
一、调整成像尺寸	202
二、调整光源	203
三、校正放大底图和照相机的位置	206
四、调整焦距	207
五、选择光圈与曝光时间	208
7-3 底版的精缩	208
7-4 超微粒干版	212
一、概述	212
二、合成方法	213
三、配方	214
四、乳剂制备	216
五、干版涂布	222
六、照相加工	226
七、工艺分析	230
八、商品超微粒干版	233

九、超微粒干版的主要技术指标	234
复习题	237
第八章 精密分划测量	238
8-1 长刻尺测量	238
一、概述	238
二、激光比长仪	239
8-2 圆度盘测量	250
一、度盘误差的概念	250
二、圆度盘的检定	255
三、度盘的测量	259
复习题	265

第四篇 光 栅

第九章 计量光栅的制造	266
9-1 长光栅的投影光刻制造法	266
一、概述	266
二、投影光刻设备的原理	266
三、光刻胶工艺	268
9-2 圆光栅的制造	273
一、机械刻划法	273
二、光刻法	287
9-3 计量光栅的复制	292
一、长光栅的复制	292
二、圆光栅的复制	305
复习题	313
第十章 物理光栅的制造	315
10-1 物理光栅的基本知识	315
一、光栅常数	315
二、光栅方程式	316

三、光栅的分光原理	317
四、光栅级次及自由光谱范围	318
五、光栅的能量分布	320
六、反射光栅的闪耀及闪耀波长	323
七、衍射光栅的角色散	325
八、光栅的分辨本领	327
九、鬼线	328
十、伴线	330
十一、杂散光	330
十二、不规则能量分布	331
10-2 物理光栅的刻划工艺	333
一、刻划机	334
二、刻刀	356
三、坯料与镀膜	367
四、工艺流程与实例	370
五、质量初步分析	375
10-3 物理光栅的复制	379
一、“一次法”平面光栅复制	379
二、“一次法”凹面光栅复制	386
三、“二次法”平面光栅复制	386
四、“二次法”与“一次法”平面光栅复制的比较	387
五、“一次法”光栅复制工艺实例	388
复习题	389

第一篇 镀 膜

第一章 薄膜制备技术

1-1 真空镀膜设备

上册已介绍了真空镀膜机的分类、基本结构及操作方法；下册将继续介绍一些特殊镀膜设备的结构及其主要组件的工作原理。

一、镀膜机

1. 溅射镀膜机

溅射镀膜机有高真空等离子溅射镀膜机、多极溅射镀膜机、射频（高频）溅射镀膜机和平面磁控溅射镀膜机等。这类镀膜机除了抽气系统外，其结构及工作原理均与蒸发镀膜设备不同。溅射镀膜与蒸发镀膜工作原理的主要区别是：溅射镀膜时，膜料不是通过电热效应使膜料溶解、蒸发，淀积在基底上；而是使离子（如氩离子）在高压电场加速下带有较大动能去撞击由膜料制成的靶，导致靶料的原子或分子被溅射出来，淀积于基底上成膜。由于溅射膜的结构和致密度均比蒸发膜好，因此，随着磁控溅射与离子枪溅射技术的发展，溅射镀膜技术越来越受到重视。

2. 离子镀膜机

离子镀膜是真空蒸发与溅射技术相结合的新的镀膜技术，由离子镀膜机来完成。其镀膜原理是：由蒸发源汽化蒸发的膜料分子或原子，受到高压电场的作用变成离子后，随着电场加速被吸引到基底表面淀积成膜。离子镀膜的特点是粘着性好，镀层不易脱落；膜料与基底结合范围广，可以在用电镀方法不能镀膜的基底上镀膜；而且，它绕射性好，被镀物各向均能获得均匀膜层，膜层针孔少，结构细密。目前离子镀膜技术多用于镀制加强工具表面耐磨性的膜与装饰性薄膜。在光学薄膜中也有应用离子镀膜技术的，但还不成熟，仍有待于进一步研究。

3. 箱式镀膜机

真空镀膜机是真空镀膜的主要设备，其性能的改进与提高，始终是薄膜技术界研究的课题之一。随着薄膜淀积技术的发展，不仅出现了各种设备，而且镀膜机在性能、结构形式上也发生了重要变化。由于现代的真空镀膜技术需要控制几十个参数，因此必须在镀膜机上装置各种控制仪器；而且在镀制复杂多层膜系时，各种控制仪器的探测装置在镀膜室内必须有确定的位置，为此钟罩式镀膜机不能满足此要求。从70年代开始，镀膜机已从钟罩式发展为箱式。箱式镀膜机不仅是形式上的改变，更主要的是一些性能上的变化。主要有：

1) 使用大抽速泵，如对 $\phi 700\text{mm}$ 的真空室使用 12000l/s 的大抽速泵，泵本身 5min 可达 10^{-3}Pa ， 10min 可达 10^{-6}Pa 等；真空室的高真空可达到 10^{-6}Pa 。

2) 普遍采用大功率的磁偏转电子枪和充氧技术。

3) 采用各种精密膜厚控制仪，精确控制膜层厚度。

4) 镀膜机装有能够分析真空室残余气体成分的四极质谱

仪，用以保证薄膜的成分和性能。

5) 镀膜机装有过程控制仪，以尽可能地保证成膜条件的一致性。

6) 真空系统部分与监控仪表可以分隔开，这样不仅可减小杂声、便于维修，而且能保证工作室整洁美观。

4. 自动镀膜机

随着薄膜技术的广泛应用，光学薄膜的种类与产品不仅越来越多，而且对镀膜技术的要求也越来越高，促使镀膜技术向自动化方向发展。近几年已出现了自动镀膜机。

自动镀膜机的特点是：采用微处理机控制镀膜工艺参数（真空度、蒸发速率、基底温度、膜层厚度等），具有自动开机、停机以及分析气体成分等功能，能按照编排好的程序自动进行镀膜。

方箱式全自动镀膜机的优点是：便于流水作业、大批量稳定生产，而且能在镀膜过程中显示被镀零件的光谱特性，并能保证镀膜工作室整洁。但目前全自动镀膜机还不能对在镀膜过程中由于各种因素引起的误差进行自动修正。随着计算机技术的迅速发展，光学薄膜完全按我们的指令进行全自动、高质量地生产已为期不远。

二、真空泵

在真空镀膜领域中常用的真空泵类型及其压力范围如表1-1所示。各种结构型式的真空泵，按其机理可分为压缩型真空泵和吸附型真空泵两大类：

压缩型真空泵的原理是将气体由一方压缩到另一方。如利用膨胀-压缩作用的旋片式机械泵；利用气体粘滞牵引作用的油扩散泵；利用分子牵引作用的涡轮分子泵等。

吸附型真空泵的原理是利用各种吸气作用将气体吸掉。

表1-1 真空泵的种类及压力范围

真空泵的种类	压力范围 (Pa)
	10^4 10^3 10^2 10^1 10^0 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-10} 10^{-11} 10^{-12}
旋片式机械泵	_____
旋片式机械泵 (气镇)	_____
机械增压泵	_____
油增压泵	_____
油扩散泵	_____
涡轮分子泵	_____
钛泵	_____
低温泵	_____

如利用物理或化学吸附作用的钛泵和低温泵。

不论根据何种原理制成的真空泵，在其工作时，除了抽气因素外，总是同时存在着与抽气相对立的因素。例如，气体经压缩后的反扩散；气体分子从表面的脱附等。从原则上讲，各种泵的结构与运转都是以保证使泵内抽气因素远大于相反因素为目的的，所以每种真空泵由于各自的作用原理不同而有它自己的特点和应用范围。本书上册已详细地介绍了机械泵和油扩散泵的结构与工作原理，但应该注意到，机械泵及油扩散泵在压力为 $0.1 \sim 1 \text{ Pa}$ 范围时，抽速显著下降，影响系统的抽气速率，通常称之为该两泵的工作断裂区。所以非常有必要借助一种特殊结构的辅助泵，以补其不足，这类辅助泵就是表1-1中所列的机械增压泵及油增压泵。这两种辅助泵的结构与工作原理这里不再介绍，下面将主要介绍涡轮分子泵、钛泵和低温泵。

1. 涡轮分子泵

油扩散泵是依靠高速喷射的蒸气流，给气体分子以定向的动能完成抽气作用的泵。涡轮分子泵则是利用高速旋转的涡轮叶子片，不断对被抽气体分子施以定向的动量和压缩作用，将气体排走，其实质是一种高速旋转的、纯机械作用的真空泵。

涡轮分子泵由四个基本部分构成，即带有进气口法兰的泵壳、动叶轮组和静叶轮组合成的涡轮排、三相屏蔽中频电动机和润滑油循环系统构成的驱动装置及安置着泵内所有元件的底座，其结构原理如图 1-1 所示。静叶轮在泵工作时是静止的，它的几何形状和尺寸，除了叶面角的方向与动叶轮的方向相反外，其余都相同。

自进气口开始，第一个是动叶轮，第二个是静叶轮，第

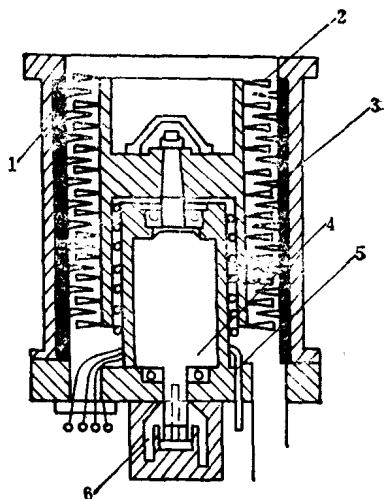


图1-1 涡轮分子泵结构原理

1—静叶轮 2—动叶轮 3—泵壳 4—中频电动机 5—电动机冷却水管 6—润滑油池

三个又是动叶轮，以此间隔。一般在涡轮排上装有31个叶轮，叶轮间的最小距离只有2mm。在撞至静叶轮两侧的气体分子中，一小部分是未经与动叶轮碰撞直接射来的，其余都是与动叶轮碰撞后由动叶轮发出的。这些分子具有接近于动叶轮的切向速率，于是对静叶轮而言，其两侧也出现了有相对运动的定向气流。就气体分子和轮间的相对运动而言，静止的气流和高速旋转的动叶轮间的关系，与运动气流和静叶轮间的关系情况是相同的。因此，夹于动叶轮间的静叶轮，具有同样的抽气效果。

涡轮分子泵所能获得的极限真空与它本身的压缩比和前级泵的极限真空有关，其抽速在某一额定范围内将随转速的增加而增加，并与被抽气体的分子量有关。分子量轻的气体，抽速就大。