

# 自序 ▼

各行各业都有自己的“江湖”，有“江湖”就有门派，有门派就有独门不传之秘。笔者从小喜欢武侠里面闯荡“江湖”的英雄人物，曾梦想有一天能仗剑走天涯。成长后发现梦想的实现比较困难，但庆幸的是做了点和“江湖”相关的刀具涂层的工作。

镀膜技术发展源远流长，技术流派较多，各个企业都具有独树一帜的技术特点。如工模具涂层的领头企业欧瑞康巴尔查斯公司以做滚齿刀具涂层技术闻名天下；而 Platit 公司则以柱状旋转电弧放电技术和纳米复合涂层技术独树一帜；纳峰科技以过滤电弧镀覆纳米金刚石涂层一骑绝尘；而 CemeCon 公司则深耕高脉冲磁控溅射技术，镀厚膜刀片所向披靡；Teer 公司以闭合场磁控溅射技术制备类金刚石碳膜 (diamond-like carbon film, DLC 涂层) 和硫化钼 ( $\text{MoS}_2$ ) 涂层著称；豪泽公司则是以辉光放电法制备 DLC 润滑涂层另辟蹊径；“江湖”上的名气是靠真刀真枪杀出来的，没有核心技术的公司注定将是“江湖”的过客。

作为一名教育工作者和镀膜爱好者，笔者长期以来一直关注工模具镀膜领域的科普图书出版情况。镀膜作为一种多学科交叉融合技术，其科普图书的撰写具有一定的难度。太专业则读者无法理解，太浅显则会让读者无法窥探技术的内涵，太偏理论会让工厂的实操人员觉得不接地气，太偏技术读者又会觉

得枯燥。迄今为止，很多优秀的专家学者已经对镀膜技术原理及应用进行了深入的剖析讲解，出版了很多高水平的著作，为真空镀膜技术的发展壮大提供了强有力的支撑，但关于实践经验总结方面的书籍相对较少，这也是笔者撰写本书的原动力。

镀膜行业中有各种不同层次的精英人才，有功力深厚的武林高手，也有初入江湖的新人。笔者在和镀膜工厂的技术人员交流过程中发现，有的技术人员理论和实践能力都很强；但有的技术人员理论相对欠缺，实际经验却很丰富，能帮助企业解决实际问题。对于具有良好理论基础的技术人员，本书可以作为一个有益的补充和参考；而对于理论基础相对较弱的实操人员，本书则可以作为一个比较容易理解的科普书。

专业知识的通俗化是一件比较烦琐的事情，不但需要深入地了解专业知识，而且需要采用生动的方式表达出来。对读者而言，这是一种快速获取新知识的方式，对撰写的人而言，也是一个重新学习然后再深加工的过程。正如科研需要创新，知识的传承方式也需要寻找到更合适有效的传播方式。笔者试图通过自己多年来对镀膜技术的理解，将镀膜知识以一种更通俗的方式呈现在读者眼前。

由于笔者知识水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

杨 兵

2025年5月6日于珞珈山

# 前言 ▼

从航空航天装备到生活用品，经常都会看到镀膜的身影。镀膜技术是一个多学科交叉的高科技，刀具和模具都是镀膜技术应用的重要场合，对制造业技术的提升具有重要的促进作用。涂层是工模具的铠甲，铠甲的好坏很大程度上决定了工模具的使用寿命。很多国内外知名厂家的工模具产品除了基体材料外，其核心竞争力主要体现在涂层材料上。在涂层材料的设计、结构、制备技术等方面，不同的厂家都有自己独到的技术。国内开设镀膜专业的高校很少，很多从业人员都是半路出家，导致镀膜行业人才能力参差不齐，急需培养更多的专业人才。

镀膜在装饰领域的应用时间较长，一般需要满足色泽、防腐蚀和耐磨等性能的要求。随着镀膜技术的进步，目前装饰镀有向工具镀看齐的趋势，不但需要满足色泽等要求，还需要大幅度提升涂层硬度、附着力以及其他力学性能，行业竞争迫使装饰镀厂家的技术水平不断提高，技术水平日新月异。镀膜在半导体行业中的应用相对而言属于比较高端的应用。在半导体中各种电极涂层、绝缘材料均采用 PVD 技术进行处理，对涂层的缺陷、表面粗糙度、电气性能等要求较高，导致其对镀膜环境具有更高的要求。

如果要系统学习膜知识，一般需要涉及材料、机械、电气、

自动化、真空以及其他相关领域的知识，对学习人员的要求较高，需要具备一定的专业基础知识。在不具备全面基础知识的情况下如何学习镀膜技术呢？是否可以注重应用，弱化基础理论呢？这偏离了一般先理论后应用的教育理念。上述问题如何解决，如何以零基础入门并提高，这正是本书撰写的主要目的。

本书的内容编排没有按照传统的图书格式进行，而是将镀膜过程中常见的问题进行分类汇总，提炼了 103 个知识要点，然后对每个知识点进行阐述，按照笔者自己的理解进行排序。全书分为三个部分，分别是镀膜技术入门篇、镀膜技术提高篇和镀膜技术实战篇。比较浅显的问题放在镀膜技术入门篇，比较专业的论述放在镀膜技术提高篇，对于那些更具有挑战性更实用的技术的讨论则放在镀膜技术实战篇里，以便满足不同读者的需要。如果读者有一定的基础，可以忽略前两篇直接进入镀膜技术实战篇。基础一般的读者可以选择从镀膜技术提高篇开始学习。本书不提供具体的针对某个产品的工艺，如果无意中和某些厂家的核心技术雷同，纯属巧合。作为一本科普书，本书的出发点更多的是解惑，也就是回答平时生产中遇到的实际问题，而不是一本工艺指导书。

在本书的撰写过程中，笔者的工作得到了很多企业无私的支持和帮助，同时也得到了很多专业人士的指导和建议，没有他们的支持就没有这么快成书。此外，特别感谢沈阳乐贝真空技术有限公司和常州市迈瑞廷涂层科技有限公司对本书出版的大力支持。

希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用，让更多的镀膜行业专家投入到镀膜知识的科普和传授中来，共同为镀膜行业的技术发展贡献力量。

# 目录

## 自序

## 前言

# 01

## 第一篇

|                 |    |
|-----------------|----|
| 镀膜技术入门篇         | 1  |
| 01. 镀膜的基本概念     | 2  |
| 02. PVD 镀膜技术    | 3  |
| 03. 真空不空        | 5  |
| 04. 镀膜真空的获取     | 9  |
| 05. 真空度的计量      | 14 |
| 06. 镀膜等离子体和闪电   | 18 |
| 07. 真空镀膜过程的气氛   | 21 |
| 08. 辉光放电过程的实现   | 23 |
| 09. 电弧的基本结构     | 26 |
| 10. 离子源及其主要作用   | 29 |
| 11. 气体流量的计量     | 32 |
| 12. 质量流量控制器     | 34 |
| 13. PVD 镀膜中的靶阴极 | 36 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 14. PVD 镀膜中的阳极     | 38 |
| 15. 镀膜阴极的靶电压       | 39 |
| 16. 镀膜阴极的靶电流       | 41 |
| 17. PVD 镀膜中的基体偏压   | 47 |
| 18. PVD 镀膜中的基体偏流   | 51 |
| 19. PVD 镀膜中的离子刻蚀技术 | 53 |
| 20. PVD 镀膜中的离化率    | 56 |
| 21. 蒸发镀膜技术         | 57 |
| 22. EB-PVD 镀膜技术    | 60 |
| 23. 镀膜设备中的磁场类型及特点  | 62 |
| 24. 磁控溅射靶          | 65 |
| 25. 直流磁控溅射技术       | 67 |
| 26. 中频磁控溅射技术       | 68 |
| 27. 射频磁控溅射技术       | 71 |
| 28. 高功率脉冲磁控溅射技术    | 75 |
| 29. 离子束溅射技术        | 78 |
| 30. 阴极电弧离子镀膜技术     | 79 |
| 31. 直流电弧放电技术       | 81 |
| 32. 脉冲电弧放电技术       | 82 |
| 33. 矩形靶电弧放电技术      | 84 |
| 34. 柱状靶电弧放电技术      | 86 |
| 35. 脉冲激光沉积技术       | 88 |
| 36. 激光电弧离子镀膜技术     | 90 |
| 37. 过滤电弧放电镀膜技术     | 92 |
| 38. PS-PVD 镀膜技术    | 94 |
| 39. 原子层沉积技术        | 96 |

|             |     |
|-------------|-----|
| 40. 分子束外延技术 | 98  |
| 41. 阳极层离子源  | 100 |
| 42. 霍尔离子源   | 101 |
| 43. ICP 离子源 | 102 |

## 02

### 第二篇

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>镀膜技术提高篇</b>     | 105 |
| 01. 常用的涂层技术指标及检测技术 | 106 |
| 02. 涂层的内应力问题       | 119 |
| 03. 涂层的高温硬度        | 121 |
| 04. 涂层的高温摩擦系数      | 123 |
| 05. 材料知识快速入门       | 125 |
| 06. 常用的刀具材料        | 127 |
| 07. 常用的模具材料        | 131 |
| 08. 常用的工模具热处理技术    | 133 |
| 09. 涂层是刀具的刚需       | 137 |
| 10. 涂层中需要控制的主要参数   | 139 |
| 11. 刀具入门基础         | 140 |
| 12. 刀具中的钝化处理技术     | 142 |
| 13. 模具入门基本知识       | 144 |
| 14. 模具前处理需要关注的事项   | 148 |
| 15. 工件表面粗糙度对涂层的影响  | 150 |
| 16. 工模具涂层前处理实施过程   | 152 |
| 17. 常见的经典 PVD 涂层   | 154 |

# 03

## 第三篇

### 镀膜技术实战篇 169

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 01. 选择合适靶材供应商需要关注的问题    | 170 |
| 02. 国产靶材和进口靶材的主要区别      | 180 |
| 03. 清洗技术对涂层质量具有决定性影响    | 182 |
| 04. 涂层前的喷砂处理是涂层附着力的保证   | 184 |
| 05. 镀膜等离子体监测技术          | 191 |
| 06. 水温是镀膜过程中需要监测的关键参数   | 193 |
| 07. 冷却水压对涂层质量具有显著影响     | 195 |
| 08. 镀膜过程中靶面“跑弧”的检测      | 197 |
| 09. 每炉次运行前空烧靶材提升涂层质量    | 198 |
| 10. 离子刻蚀对工模具表面形貌的影响     | 200 |
| 11. 镀膜过程中离子轰击的价值        | 202 |
| 12. 纯金属过渡层如何影响涂层性能      | 206 |
| 13. 基体偏压对涂层质量的影响        | 207 |
| 14. 脉冲偏压和直流偏压的选择        | 213 |
| 15. 沉积温度显著影响涂层质量        | 215 |
| 16. 选择合适的工件和靶的距离        | 217 |
| 17. 电弧靶的电流选择策略          | 218 |
| 18. 涂层结晶取向的控制策略         | 220 |
| 19. 靶面液滴大小影响涂层综合性能      | 222 |
| 20. 涂层过程中靶材的表面及截面形态     | 224 |
| 21. 沉积气压是涂层质量的核心影响因素    | 227 |
| 22. 涂层前工模具表面粗糙度对涂层质量的影响 | 229 |
| 23. 后处理工艺对涂层质量的影响       | 231 |
| 24. 构建适用的 PVD 镀膜清洗线     | 233 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 25. PVD 镀膜系统的评价方法        | 234 |
| 26. 工模具涂层发生“掉膜”时的处理方法    | 238 |
| 27. 镀膜过程发生“打火”的处理方法      | 240 |
| 28. 设备本底真空会影响涂层质量        | 242 |
| 29. 无尘车间是高质量工模具涂层的要求吗?   | 244 |
| 30. 镀膜过程中工件架转速控制不容忽视     | 245 |
| 31. 工模具 PVD 涂层的退膜方法      | 246 |
| 32. 厂家核心竞争力涂层的开发策略       | 248 |
| 33. 工模具的 PVD 厚膜制备方法      | 251 |
| 34. 内管镀膜技术               | 253 |
| 35. 不同镀膜技术之间的交叉融合        | 255 |
| 36. 压铸模具涂层是行业关注的焦点       | 260 |
| 37. 工模具涂层的重复性和可靠性提升方法    | 264 |
| 38. 自主设计所需的 PVD 镀膜设备     | 267 |
| 39. PVD 镀膜技术及设备国产化是发展的方向 | 270 |
| 40. 国内外部分代表性涂层厂家         | 272 |
| 41. PVD 镀膜中工艺和设备孰轻孰重     | 285 |
| 42. 工模具镀膜技术人员的发展方向       | 287 |
| 43. 人工智能和工模具涂层技术结合是发展的趋势 | 289 |

|      |     |
|------|-----|
| 参考文献 | 292 |
|------|-----|

|    |     |
|----|-----|
| 后记 | 300 |
|----|-----|

# 01

---

## 第一篇

# 镀膜技术入门篇

# 01

## 镀膜的基本概念

经常听到人们说镀膜、涂层等概念。那具体什么叫镀膜?“镀膜”和“涂层”两个概念经常出现在各类期刊中,镀膜行业中默认两者是同一个概念。那两者到底有没有区别呢?从字面上理解,镀膜这个词里的“镀”是一个动作,“膜”是一种材料,看到膜大家首先想到其比较薄,英文里面一般用 film 来表示,特别是在各种高端的半导体中用的薄膜(thin film)。“涂层”这个词最初在涂料工业里应用较多,厚度一般在几十到几百微米量级,喜欢用厚膜(thick film)或者厚涂层(thick coating)来表示。因此,“镀膜”和“涂层”这两者没有本质的区别,只是厚度上有所不同。本书中镀膜一般指的是真空镀膜,简单理解就是在真空中把一种材料通过某种方式镀到其他工件的表面,这里所说的工件可以是金属,可以是陶瓷,也可以是高分子材料。

那为什么要进行镀膜呢?镀膜的目的一般是要满足某一方面的特殊需要。例如,提高工件的防腐蚀能力、提高工件的耐磨性能,或者提高工件的耐温性能,主要是使工件在高温环境中不被氧化。当然,除了以上方面还可以满足导电、绝缘、隐身等其他功能性的需要。

## 02

## PVD 镀膜技术

PVD 是物理气相沉积 (physical vapor deposition) 的英文首字母缩写。那具体什么是 PVD 镀膜呢？PVD 又是通过什么样的方式实现镀膜过程呢？和化学气相沉积 (chemical vapor deposition, CVD) 的主要区别在哪里？

PVD 的定义是：采用物理方法，将固体或液体材料表面气化成气态原子、分子或离子，在基体表面沉积具有某种特殊功能的薄膜。实际上这就是对 physical vapor deposition 三个词的进一步解读。这里的物理方法简单理解就是没有发生化学反应。PVD 的第二个单词是 vapor，是蒸气的意思，也就是采用物理方法将材料（可以是块体金属材料、液体高分子材料以及甲烷和乙炔之类的气体）变成蒸气（或者等离子体）的过程。变成蒸气后的材料就可以用来进行沉积（PVD 的第三个单词 deposition）。那为什么非要变成蒸气再来进行沉积呢？如果直接把金属粉末撒到墙上很容易掉下来，除非把粉末加速到子弹一样的速度。而水蒸气则容易黏附在墙面上并形成一层均匀的水膜。PVD 中气化过程的好处如下：一是气化过程让材料变成很小的颗粒或者分子原子，这样材料在空间中可以自由移动；二是气化过程中材料可以获得很高的能量，使其可以运动到更远的地方，提高薄膜的均匀性和致密度；三是原子或分子的能量高，可以提高涂层和基体之间的附着力。

PVD 和 CVD 作为镀膜的两大主流技术，各有优缺点。最大的差别在温

度上。PVD 是一种低温镀膜过程，结合力和结晶质量有所欠缺。这里的低温如何定义呢？一般以  $500^{\circ}\text{C}$  为界，低于  $500^{\circ}\text{C}$  可以划到低温镀膜，这也是大部分 PVD 的工作温度范围；高于  $500^{\circ}\text{C}$  属于高温镀膜，这是大部分 CVD 技术比较适合的温度。但这只是一个比较粗略的界定，现在也有超过  $500^{\circ}\text{C}$  的 PVD 和低于  $500^{\circ}\text{C}$  的 CVD。学科交叉，相互渗透，相互促进，这也是科研发展的趋势。

PVD 低温沉积的特点决定了其可以应用于耐温性低于  $500^{\circ}\text{C}$  的基体材料，这是大部分合金材料能耐受的温度极限。平时常见的各种刀具材料、模具材料以及机械零部件材料的耐温性一般都低于  $500^{\circ}\text{C}$ 。硬质合金（也叫钨钢，就是一种以碳化钨为主要成分的刀具）刀具可以耐温到  $800^{\circ}\text{C}$  以上，这也是 CVD 技术在钨钢刀具上获得广泛应用的原因。

## 03

## 真 空 不 空

PVD 镀膜过程有一个不可或缺的条件，那就是需要真空 (vacuum)。而在自然环境中，只有外太空是堪称最接近真空的空间。那真空是什么？从字面意思理解就是虚空，也即一无所有的空间；另一种说法是凡压强比大气压低得容器里的空间都可称作真空。那什么叫大气压呢？现在已经清楚认识到大气压的产生是地球引力对其表面上各种气体作用的结果。靠近地面处大气压最大。物理学家把  $0^{\circ}\text{C}$  时纬度为  $45^{\circ}$  海平面 (即海拔为零) 上的常年平均大气压规定为 1 个标准大气压。标准大气压为一定值，1 标准大气压  $=760\text{mmHg}=101325\text{Pa}$ 。

760mmHg 和一位意大利科学家托里拆利的关系非常密切。托里拆利是 17 世纪西方一位颇负盛名的科学家。在他短短的一生中，在很多方面取得了杰出的成就，托里拆利实验就是其中之一。托里拆利在一根 1m 长的细玻璃管中注满水银并倒置在盛有水银的水槽中，发现玻璃管中的水银大约下降了 24cm 后就不再下降了，这 24cm 的空间无空气进入，是真空状态，托里拆利据此推断大气的压强就等于水银柱产生的压强，这就是著名的托里拆利实验。因此，目前标准大气压用的就是 760mmHg。压强里面还有一个概念就是帕斯卡 (Pa)，这是一个以人名命名的国际单位。 $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ ，这个式子的意思就是 1N 的力作用在  $1\text{m}^2$  的面积上产生的压强就相当于

1Pa。1Pa 的压强是非常小的，小到什么程度呢？有人估算相当于 3 粒芝麻压成粉铺在  $1\text{cm}^2$  的表面产生的压强，所以一个标准大气压就可达到十万多帕斯卡。

评价一个真空镀膜设备，听到最多的表述就是设备的真空度如何？那什么是真空度呢？这里面涉及两个概念，一个是真空，另一个是度，两者叠加也就是：真空 + 度 = 真空度。真空表示一种状态，而度表示的是度量和数值，因此真空度可以用来表征真空状态下的气体稀薄程度。稀薄是一个状态词，它是一个可以表征一定范围内状态变化的概念。如果压力比一个标准大气压低，一般都认为是稀薄的，当然稀薄是一个范围很广的参数，并不是一个很确定的值。如果压力比标准大气压高，那就是相对比较浓稠的气体。因此，这里就涉及两个比较专业的关于压强的概念：正压和负压。容器中气体压强是空间中气体和限制它的容器之间相互撞击导致的后果。

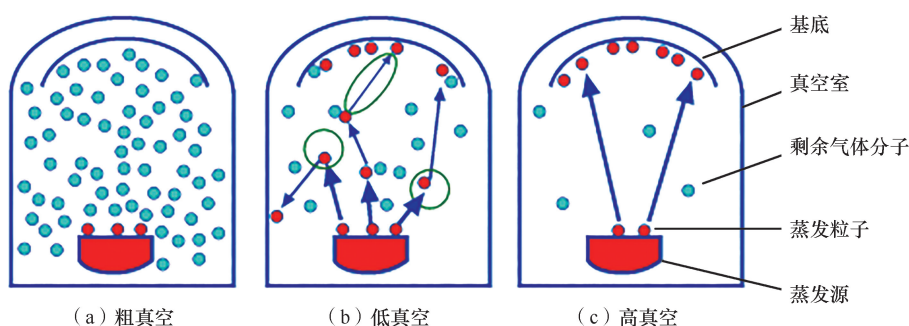
对于一个密闭的容器，如果内部的气体比外界的大气稀薄，那么这个容器内部是负压；如果容器内部的压强比外界的压强大，那么容器内部就处于正压状态。常见的空气压缩机就属于正压，煤气罐如果充满气体也属于正压，如果是空的就是常压。实操过程中，真空镀膜厂师傅经常会告诉你水压是几公斤，气压是几公斤。压力表上写的明明是兆帕 (MPa)，那为什么说的是公斤呢？其实这就是比较有中国特色的表达方法。我国一般把气体的压力用“公斤”描述，单位是“ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ”。一公斤压力就是一公斤质量产生的力作用在一平方厘米上。一公斤压力作用在  $1\text{cm}^2$  上相当于一个标准大气压，也相当于 0.1MPa。当然，对于气体和液体该表述都是一样的。欧美企业一般喜欢用巴 (bar) 或者毫巴 (mbar) 来表示压强，1bar 相当于 1 公斤压强，两者基本上是等价的。

在真空镀膜领域中，上述这些单位经常混用，如果操作的是国产设备，经常会用到公斤的概念。如果操作进口设备，则巴或者毫巴用得比较多。进口设备价格贵，拆设备的机会也少，厂家一般不让拆。国产设备价格相对低些，但可以拆设备维修，对员工的锻炼价值比较大。很多科研人员都不喜欢拆设备，但不拆设备永远无法了解设备的内在。因此，很多设备的革新都是

从拆设备开始的。笔者多年前读博士期间设备经常坏，经常拆设备修设备，虽然很苦，但也很锻炼人。

可能有的读者还不能理解气体撞击会产生压力这种现象，但如果大家看过高空跳伞就会有直观的感受了，从高空往下高速运动的过程中大量的气体分子和人的脸部产生撞击会导致脸部发生严重变形，或者是在大风中逆风行走会感受到巨大的阻力，也是大量气体分子和人体相互作用的结果。这里有一个量词需要关注，也就是“大量”这个词，这说明单一的气体分子撞击人体是感觉不到的，大量的气体撞击才会使人体感受到压力。

真空度可以分为很多类别，有超高真空、高真空、低真空、粗真空等不同级别的真空。和常规表示方法不同，真空度里的高低和日常生活里高低的概念刚好相反。所谓真空度高，指的是系统压强低。但不同的真空度下密闭空间中也并不是真的一无所有，由计算可知， $0^{\circ}\text{C}$ 时，一个标准大气压下22.4L空间中所包含的气体分子数量大概为  $6.02 \times 10^{23}$  个，即 1mol，也就是每立方米的空气中大约含有  $6.02 \times 10^{26}$  个气体分子。即使在  $1.33 \times 10^{-6}\text{Pa}$  的超高真空下，每立方米内仍有约  $3 \times 10^8$  个气体分子，对单位面积的碰撞次数为  $3.84 \times 10^{12}$  次/s，但比常压下的气体稀薄多了。不同真空度腔体中的分子原子数量存在一定的差别，真空度越高，腔体中分子原子数量越少；真空度越低，分子原子数量越多（图 1-1）。



蓝色颗粒：空气中的水蒸气、氧气、氮气、二氧化碳  
红色颗粒：薄膜材料

图 1-1 不同真空度示意图<sup>[1]</sup>

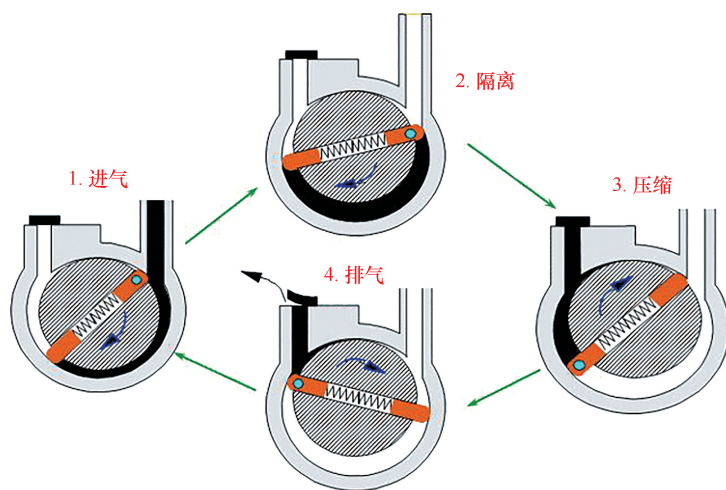
按照习惯将真空度分为如下类别。

- (1) 粗真空:  $1.013 \times 10^5 \sim 1.33 \times 10^2 \text{Pa}$ 。
- (2) 低真空:  $1.33 \times 10^2 \sim 1.33 \times 10^{-1} \text{Pa}$ 。
- (3) 高真空:  $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 。
- (4) 超高真空:  $1.33 \times 10^{-6} \sim 1.33 \times 10^{-9} \text{Pa}$ 。
- (5) 极高真空:  $< 1.33 \times 10^{-9} \text{Pa}$ 。

## 04

## 镀膜真空的获取

真空镀膜中所说的高真空一般指  $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-6} \text{Pa}$  的气压。真空不会自行出现，一般需要一定的设备把真空容器中的气体抽走才能在容器中获得一定的真空度。不同的抽气设备获得的真空度是不一样的。对于粗真空和低真空，一般可以采用简单的机械泵获得(图 1-2)。机械泵又称旋片泵，旋片泵主要由泵体(静子)和转子组成。在转子槽中装有两块以上的旋片，有些旋片间还装有弹簧。转子偏心安装在泵腔内，其外缘与泵腔顶部表

图 1-2 机械泵原理图<sup>[2]</sup>

面的间隙为 0.6~1mm。转子旋转时，在离心力等作用下，旋片沿槽做往复滑动并与泵腔内壁始终保持接触，将泵腔分成两个或几个可变容积的工作室。转子顺时针方向旋转时，与吸气口相通的吸气腔容积由零逐渐增大，腔内气体压力降低，被抽气体便从吸气口源源不断地吸入。同时，与排气口相通的排气腔容积由大变小，吸入腔内的气体被压缩，待气体压力高于大气压力时，推开排气阀排出大气。转子连续转动，泵便不断抽气。

各种类型的旋片泵结构大同小异，但做工和材料有差别。多年来见过很多漏油、密封圈损坏等问题，问题都不大，但找出问题需要花费很长的时间。如果有足够的资金采购设备，可以找个比较知名的品牌；如果资金不足，那就要依靠经验挑选性价比比较高的厂家，有一些运气的成分。泵的好坏可以从极限真空、抽气速率、长期的稳定性和可靠性来判断。具体哪个厂家设备好，需要多咨询不同厂家，多买多用去自己体验。

镀膜厂中经常会听到 30 泵、70 泵等不同的旋片泵型号，那 30 泵是什么意思呢？一般 30 泵指的就是抽速为 30L/s 的旋片泵。在泵上一般会写上 2X-30A 之类的型号。前面的 2X 是两级旋片泵的意思，后面的 30 就表示抽速。

旋片泵一般用来抽粗真空，主要用作前级泵。对于低真空 ( $1.33 \times 10^2 \sim 1.33 \times 10^{-1}$  Pa)，设备厂家比较喜欢采用罗茨真空泵，其抽速比较大，如型号 ZJ-250，250 就是其抽速，即 250L/s。而常规旋片泵的抽速在 100L/s 以下，所以很多设备上都配一个罗茨泵以便提高抽速，抽速越高，抽气时间越短。和旋片泵一样，罗茨泵生产厂家众多，如何挑到满意的罗茨泵，这就要看是自己去组装设备还是购买组装好的设备，每个设备厂家一般都会有固定的供应商，因此如果自己无法挑选就听取设备厂家的建议。

罗茨泵的原理如图 1-3 所示，泵内装有两个相反方向同步旋转的叶形转子，转子间、转子与泵壳内壁间有细小间隙而互不接触。靠泵腔内一对叶形转子同步、反向旋转的推压作用来移动气体而实现抽气。罗茨泵不可以单独抽气，前级需配油封、水环等可直排大气。罗茨泵的极限真空度除取决于泵本身的结构和制造精度外，还取决于前级泵的极限真空度。