



高等学校规划教材
工科电子类

杨邦朝 王文生

薄膜物理与技术

BOMO

WULIYUJISHU

薄膜物理与技术

杨邦朝 王文生

484
12

电子科技大学出版社

电子科技大学出版社

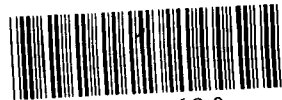
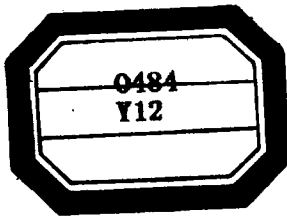
0484
Y12

441360

高等学校教材

薄膜物理与技术

杨邦朝 王文生



00441680

电子科技大学出版社

薄膜物理与技术

杨邦朝 王文生

*

电子科技大学出版社出版

(中国成都建设北路二段四号) 邮编 610054

电子科技大学出版社印刷厂印刷

新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 350 千字
版次 1994 年 1 月第一版 印次 1997 年 4 月第二次印刷

印数 1501—3500 册

ISBN 7-81016-749-9/TB·1

定价(压膜):13.00 元

D1184/32 04

内 容 简 介

本书主要论述薄膜的制造技术与薄膜物理的基础内容。书中系统介绍了各种成膜技术的基本原理与方法,包括蒸发镀膜、溅射镀膜、离子镀、化学气相沉积、溶液制膜技术以及膜厚的测量与监控等。同时介绍了薄膜的形成,薄膜的结构与缺陷,薄膜的电学性质、力学性质、半导体特性、磁学性质以及超导性质等。论述中注重基本概念的阐述,叙述尽量深入浅出,并注意到原理与技术相联系,理论与实践相结合。

本书为电子材料与元器件专业的规划教材,亦可作为物理电子技术、半导体物理与器件、应用物理等专业的教材或教学参考书。同时亦可供从事电子元器件、混合集成电路的工程技术人员参考使用。

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定，我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978~1990年，已编审、出版了三个轮次教材，及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神，“以全面提高教材质量水平为中心，保证重点教材，保持教材相对稳定，适当扩大教材品种，逐步完善教材配套”，作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想，组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会，在总结前三轮教材工作的基础上，根据教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1991~1995年的“八五”（第四轮）教材编审出版规划。列入规划的，以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300余种。这批教材的评选推荐和编审工作，由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿，其一是从通过教学实践、师生反应较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的，其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的，其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会（小组）、教学指导委员会和有关出版社，为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评和建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前 言

本教材系电子工业部的工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由电子材料与固体器件教材编审委员会电子材料与元器件教材编审小组征稿并推荐出版。责任编委为恽正中教授。

本教材由电子科技大学杨邦朝、天津大学王文生合编,上海交通大学陈益新教授担任主审。

本教材的参考学时数为 60~70 学时。本书系按照“电子材料与元器件”教材编审组提出的教学要求编写而成,其内容大体上分为薄膜基本制造技术与薄膜物理基础两大部分。考虑到这两方面的内容既紧密相关,又相对独立,属于不同的范畴。因此,在内容安排上采取以分为主,又注意二者之间的相互渗透与结合。薄膜技术部分重点介绍各种制膜技术与原理,薄膜厚度分布计算,膜厚测试与监控等。薄膜物理部分则重点介绍薄膜的形成过程,薄膜的特殊结构与缺陷,薄膜的电学、磁学、力学及半导体性质等。使这两部分相对独立的学科知识,能有机的结合与统一,以达到教材编审组的基本编写要求。另外,考虑到薄膜技术与真空技术关系密切,在本书中增加了一章真空技术基础知识,各校可根据先修课程的情况,使用本书时作适当增删处理。

书中表示压强的国际单位(SI)应为帕(Pa),但为照顾使用习惯、现有仪器面板及引用前人实验数据,采取帕和托(Torr)并用的办法。

薄膜技术在工业上得到广泛应用,特别在电子材料与元器件工业领域中占有极为重要的地位。要获得各种性能的薄膜,必须掌握各种成膜技术和薄膜物理的内容。长期以来本专业缺乏此类教材,因而,本书的出版可满足这一需求。在本教材的编写过程中力求概念清晰,叙述深入浅出,注意原理与技术的联系,理论与技术相结合。学习并掌握了本书所介绍的内容,基本上可适应有关科研与生产工作的需要。

薄膜物理与薄膜技术均是正在发展的学科与技术,有关薄膜的性质,薄膜形成机理的某些内容还处于探讨中,薄膜技术也在不断发展与完善之中。因此,本书只能着重介绍薄膜物理与薄膜技术的基本内容,不可能对这两大部分的广阔而丰富的内容作全面而详尽的论述。

本书为电子材料与元器件专业本科专业基础教材,也可供物理电子技术、半导体物理与器件、应用物理、敏感材料与传感器等专业的本科生和研究生,以及从事薄膜材料、薄膜物理、薄膜技术和电子材料与元器件、混合微电子技术等厂所的工程技术人员使用和参考。

本教材由杨邦朝编写 1~6 章,王文生编写 7~9 章,由杨邦朝对全书统稿。本书在编写过程中曾得到电子科技大学曲喜新教授、恽正中教授、西安电子科技大学徐毓龙教授、上海交通大学刘公强副教授、天津大学李哲副教授等的支持与热情帮助,他们为本书提出

了不少宝贵意见,刘志刚同志协助抄写第七、八、九章书稿,在这里表示诚挚的感谢。并向本书所引用和参考的许多书籍和论文的作者致以深切的谢意。在本书出版过程中得到电子科技大学出版社的大力支持与帮助,特表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

1993年3月于电子科技大学

目 录

第一章 真空技术基础

§ 1-1 真空的基本知识	1
§ 1-2 稀薄气体的基本性质	3
§ 1-3 真空的获得	7
§ 1-4 真空的测量	13

第二章 真空蒸发镀膜法

§ 2-1 真空蒸发原理	17
§ 2-2 蒸发源的蒸发特性及膜厚分布	25
§ 2-3 蒸发源的类型	35
§ 2-4 合金及化合物的蒸发	41
§ 2-5 膜厚和淀积速率的测量与监控	50

第三章 溅射镀膜

§ 3-1 溅射镀膜的特点	60
§ 3-2 溅射的基本原理	61
§ 3-3 溅射镀膜类型	85
§ 3-4 溅射镀膜的厚度均匀性	101

第四章 离子镀膜

§ 4-1 离子镀原理	104
§ 4-2 离子镀的特点	105
§ 4-3 离子轰击的作用	107
§ 4-4 离子镀的类型	110

第五章 化学气相沉积

§ 5-1 化学气相沉积的基本原理	118
§ 5-2 化学气相沉积的特点	124
§ 5-3 CVD 方法简介	126
§ 5-4 低压化学气相沉积	129
§ 5-5 等离子体化学气相沉积	130
§ 5-6 其他化学气相沉积法	132

第六章 溶液镀膜法

§ 6-1 化学反应沉积	136
§ 6-2 阳极氧化法	138
§ 6-3 电镀法	139
§ 6-4 LB 膜的制备	140

第七章 薄膜的形成

§ 7-1 凝结过程	144
§ 7-2 核形成与生长	148
§ 7-3 薄膜形成过程与生长模式	156
§ 7-4 溅射薄膜的形成过程	159
§ 7-5 薄膜的外延生长	160
§ 7-6 薄膜形成过程的计算机模拟	161

第八章 薄膜的结构与缺陷

§ 8-1 薄膜的结构	166
§ 8-2 薄膜的缺陷	175
§ 8-3 薄膜结构与组分的分析方法	181

第九章 薄膜的性质

§ 9-1 薄膜的力学性质	189
§ 9-2 金属薄膜的电学性质	198
§ 9-3 介质薄膜的电学性质	209
§ 9-4 半导体薄膜的性质	222
§ 9-5 薄膜的其他性质	230
参考文献	237

第一章 真空技术基础

真空蒸发、溅射镀膜和离子镀等常称为物理气相沉积(Physical Vapor Deposition, 简称PVD法)是基本的薄膜制作技术。它们均要求淀积薄膜的空间要有一定的真空度。因此,真空技术是薄膜制作技术的基础,获得并保持所需的真空环境,是镀膜的必要条件。所以,掌握真空的基本知识是必要的。

§ 1-1 真空的基本知识

一、真空及其单位

所谓真空是指低于一个大气压的气体空间。同正常的大气相比,是比较稀薄的气体状态。当气体处于平衡时,可得到描述气体性质的气体状态方程,即

$$P = nkT \quad (1-1)$$

或

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (1-2)$$

式中, P 为压强(Pa); n 是气体分子密度(个/ m^3), V 为体积(m^3); M 为气体分子量(kg/mol); m 是气体质量(kg); T 是绝对温度(K); k 是玻尔兹曼常数($1.38 \times 10^{-23} J/K$); R 为气体普适常数($8.314 J/mol \cdot K$),也可用 $R = N_A \cdot k$ 来表示, N_A 是阿伏伽德罗常数(6.023×10^{23} 个/mol)。于是,由式(1-1)可得

$$n = 7.2 \times 10^{22} \frac{P}{T} \quad (\text{个}/m^3) \quad (1-3)$$

由式(1-3)可知,在标准状态下,任何气体分子的密度约为 3×10^{19} 个/ cm^3 。即使在 $P = 1.3 \times 10^{-11} Pa$ ($1 \times 10^{-13} Torr$)这样很高的真空度时, $T = 293K$,则 $n = 4 \times 10^3$ 个/ cm^3 。因此,所谓真空是相对的,绝对的真空是不存在的。通常所说的真空是一种“相对真空”。

在真空技术中对于真空度的高低,可以用多个参量来度量,最常用的有“真空度”和“压强”。此外,也可用气体分子密度、气体分子的平均自由程、形成一个分子层所需的时间等来表示。“真空度”和“压强”是两个概念,不能混淆,压强越低意味着单位体积中气体分子数愈少,真空度愈高,反之真空度越低则压强就越高。由于真空度与压强有关,所以真空的度量单位是用压强来表示。

在真空技术中,压强所采用的法定计量单位是帕斯卡(Pascal),系千克米秒制单位,简称帕(Pa),是目前国际上推荐使用的国际单位制(SI)。托(Torr)这一单位在最初获得真空时就被采用,是真空技术中的独特单位。两者的关系为 $1Torr = 133.322Pa$ 。目前在实际工程技术中几种旧的单位(Torr, mmHg, bar, atm)仍有采用,另外,完全改变以前的试验数据并不容易,因而压强单位也采用Torr。现将几种旧的单位与Pa之间的转换关系介绍如下:

毫米汞柱(mmHg) $1\text{mmHg}=133.322\text{Pa}$;

托(Torr) $1\text{Torr}=\frac{1}{760}\text{atm}=133.322\text{Pa}$;

atm 表示标准大气压,毫米汞柱与托在本质上是一回事,二者几乎相等($1\text{mmHg}=1.00000014\text{Torr}$),只是采用帕来定义标准大气压省略了尾数的缘故。

巴(bar) $1\text{bar}=10^5\text{Pa}$ 。

二、真空区域的划分

为了研究真空和实际应用方便,常把真空划分为粗真空、低真空、高真空和超高真空四个等级。随着真空度的提高,真空的性质将逐渐变化,并经历由气体分子数的量变到真空质变的过程。

1. 粗真空($1\times 10^5\sim 1\times 10^2\text{Pa}$)

在粗真空状态下,气态空间的特性和大气差异不大,气体分子数目多,仍以热运动为主,分子之间碰撞十分频繁,气体分子的平均自由程很短。通常,在此真空区域,使用真空技术的主要目的是为了获得压力差,而不要求改变空间的性质。电容器生产中所采用的真空浸渍工艺所需的真空度就在此区域。

2. 低真空($1\times 10^2\sim 1\times 10^{-1}\text{Pa}$)

此时每立方厘米内的气体分子数为 $10^{16}\sim 10^{13}$ 个。气体分子密度与大气时有很大差别,气体中的带电粒子在电场作用下,会产生气体导电现象。这时,气体的流动也逐渐从粘稠滞流状态过渡到分子状态,这时气体分子的动力学性质明显,气体的对流现象完全消失。因此,如果在这种情况下加热金属,可基本上避免与气体的化合作用,真空热处理一般都在低真空区域进行。此外,随着容器中压强的降低,液体的沸点也大为降低,由此而引起剧烈的蒸发,而实现所谓“真空冷冻脱水”。在此真空区域,由于气体分子数减少,分子的平均自由程可以与容器尺寸相比拟。并且分子之间的碰撞次数减少,而分子与容器壁的碰撞次数大大增加。

3. 高真空($1\times 10^{-1}\sim 1\times 10^{-6}\text{Pa}$)

此时气体分子密度更加降低,容器中分子数很少。因此,分子在运动过程中相互间的碰撞很少,气体分子的平均自由程已大于一般真空容器的线度,绝大多数的分子与器壁相碰撞。因而在高真空状态蒸发的材料,其分子(或微粒)将按直线方向飞行。另外,由于容器中的真空度很高,容器空间的任何物体与残余气体分子的化学作用也十分微弱。在这种状态下,气体的热传导和内摩擦已变得与压强无关。

4. 超高真空($<1\times 10^{-6}\text{Pa}$)

此时每立方厘米的气体分子数在 10^{10} 个以下。分子间的碰撞极少,分子主要与容器壁相碰撞。超高真空的用途之一是得到纯净的气体,其二,是可获得纯净的固体表面。此时气体分子在固体表面上是以吸附停留为主。

利用真空技术可获得与大气情况不同的真空状态。由于真空状态的特性,真空技术已广泛用于工业生产、科学实验和高新技术的研究等领域。电子材料、电子元器件和半导体集成电路的研制与生产与真空技术有着密切的关系。

三、气体与蒸气

在实际工程中,常会碰到各种气态物质。对于每种气体都有一个特定的温度,高于此温度时,气体无论如何压缩都不会液化,这个温度称为该气体的临界温度。利用临界温度来区分气体与蒸气。温度高于临界温度的气态物质称气体,低于临界温度的气态物质称为蒸气。但通常以室温为标准来区分气体和蒸气。

表 1-1 列出了各种物质的临界温度。从该表看出,氮、氢、氦、氧和空气等物质的临界温度远低于室温,所以在常温下它们是“气体”。二氧化碳的临界温度与室温接近,极易液化。而水蒸气、有机物质和气态金属均为蒸气。

表 1-1 各种物质的临界温度

物 质	临界温度(°C)	物 质	临界温度(°C)
氮(N ₂)	-267.8	氩(Ar)	-122.4(150.71K)
氢(H ₂)	-241.0(33.23K)	氧(O ₂)	-118.0(154.77K)
氖(Ne)	-228.0(44.43K)	氪(Kr)	-62.5(209.38K)
氦(He)	-147.0(126.25K)	氙(Xe)	+14.7(289.74K)
空气	-140.0	二氧化碳(CO ₂)	+31.0
乙醚	+194.0	铁(Fe)	+3700.0
氨(NH ₃)	+132.4	甲烷(CH ₄)	-82.5
酒精	+243.0	氯(Cl ₂)	+144.0
水(H ₂ O)	+374.2	一氧化碳(CO)	-140.2
汞(Hg)	+1450.0		

§ 1-2 稀薄气体的基本性质

在真空技术中所遇到的是稀薄气体,这种稀薄气体在性质上与理想气体差异很小。因此,在研究稀薄气体的性质时,可不加修正地直接应用理想气体的状态方程。由式(1-1)所描述的气体状态方程反映了气体的 P 、 V 、 T 、 m 四个量之间的关系。该方程在特殊情况下,即可推导出有名的理想气体定律。

(1)波义尔定律 一定质量的气体,在恒定温度下,气体的压强与体积的乘积为常数。
即

$$PV = C \quad (1-4)$$

或

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (1-5)$$

(2)盖·吕萨克定律 一定质量的气体,在压强一定时,气体的体积与绝对温度成正比。

$$V = CT \quad (1-6)$$

或

$$V = \frac{V_0}{T_0} \cdot T \quad (1-7)$$

(3)查理定律 一定质量的气体,如果保持体积不变,则气体的压强与绝对温度成正比。

$$P = CT \quad (1-8)$$

或

$$P = \frac{P_0}{T_0} \cdot T \quad (1-9)$$

一、气体分子的速度分布

在一定容器中的气体分子处于不断的运动状态,它们相互间及和器壁之间无休止地频繁碰撞。各个分子的速度(大小和方向)是不相同的,在稳态时可满足一定的统计分布规律,通常称为麦克斯韦-玻尔兹曼分布。即在平衡状态下,当气体分子间的相互作用可以忽略时,分布在任一速度区间 $v \sim v+dv$ 内分子的几率为

$$\frac{dN}{N} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp(-mv^2/2kT)v^2 dv \quad (1-10)$$

式中, N ——容器中气体分子总数; m ——气体分子质量;

T ——气体温度(K); k ——玻尔兹曼常数。

显然,在不同的速度 v 附近取相等的间隔,比率 dN/N 的数值一般是不同的。比率 dN/N 与速度 v 有关,与 v 的函数关系成正比,即

$$\frac{dN}{N} = f(v)dv \quad (1-11)$$

即速度分布函数为

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp(-mv^2/2kT)v^2 \quad (1-12)$$

该函数表示分布在速度 v 附近单位速度间隔内的分子数占总分子数的比率,也叫做麦克斯韦速率分布定律。麦克斯韦速率分布曲线如图 1-1 所示,该曲线也反映了气体分子速度随温度的变化情况。

根据这种规律可从理论上推得分子速率在 v_m 处有极大值,于是 v_m 被称为最可几速度,其值为

$$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = 1.41 \sqrt{\frac{RT}{M}} \text{ (cm/s)} \quad (1-13)$$

气体分子的平均速度为

$$v_a = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 1.59 \sqrt{\frac{RT}{M}} \text{ (cm/s)} \quad (1-14)$$

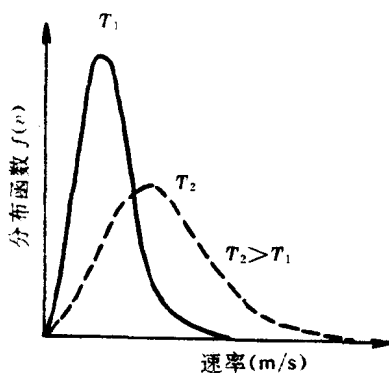


图 1-1 麦克斯韦速率分布曲线

气体分子的均方根速度为

$$v_r = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M}} \text{ (cm/s)} \quad (1-15)$$

由此可见,三种速度中,均方根速度 v_r 最大,平均速度 v_a 次之,最可几速度 v_m 最小。这三种速度在不同的场合有各自的应用。在讨论速度分布时,要用到最可几速度;在计算分子运动的平均距离时,要用到平均速度;在计算分子的平均动能时,则要采用均方根速度。

二、平均自由程

气体分子处于不规则的热运动状态,它除与容器壁发生碰撞外,气体分子间还经常发生碰撞。每个分子在连续两次碰撞之间的路程称为“自由程”。这是一个描述气体性质的微观参量。其统计平均值

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n} \quad (1-16)$$

称为“平均自由程”。由此可知,平均自由程与分子密度 n 和分子直径 σ 的平方是反比关系。

根据式(1-1),上式可改写为

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 P} \quad (1-17)$$

此式表明,气体分子的平均自由程与压强成反比,与温度成正比。

显然,在气体种类和温度一定的情况下

$$\lambda \cdot P = \text{常数} \quad (1-18)$$

在 25°C 的空气情况下

$$\lambda \cdot P \approx 0.667 \text{ (cm} \cdot \text{Pa)}$$

或

$$\lambda \approx \frac{0.667}{P} \text{ (cm)} \quad (1-19)$$

三、碰撞次数与余弦散射律

单位时间内,在单位面积的器壁上发生碰撞的气体分子数称为入射频率,用 ν 表示。其数值与器壁前的气体分子密度 n 成正比,而且分子的平均速度 v_a 越大 ν 也越大,则有

$$\nu = \frac{1}{4} n v_a \quad (1-20)$$

式(1-20)称为赫兹-克努曾(Hertz-Knudsen)公式,它是描述气体分子热运动的重要公式。根据式(1-1)和式(1-14),则可得到单位时间碰撞单位固体表面分子数的另一表达式

$$\nu = \frac{P}{\sqrt{2\pi m k T}} \quad (1-21)$$

例如,对于 20°C 的空气,则有

$$v_{20} = 2.86 \times 10^{15} P \quad (\text{个}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}) \quad (1-22)$$

式中 P 的单位为帕(Pa)。

对于 25℃ 的空气,根据式(1-3)、(1-19)、(1-21)对上述参数之间关系的计算结果如图 1-2 所示。表 1-2 列出了与镀膜有关的一些重要气体的性质。从该表可知,在 1.33×10^{-4} Pa 的压力下镀膜时,若以 50~100 Å/min 的速度进行气体分子的入射,只要经过 1~2 秒钟即可淀积成单层分子层。

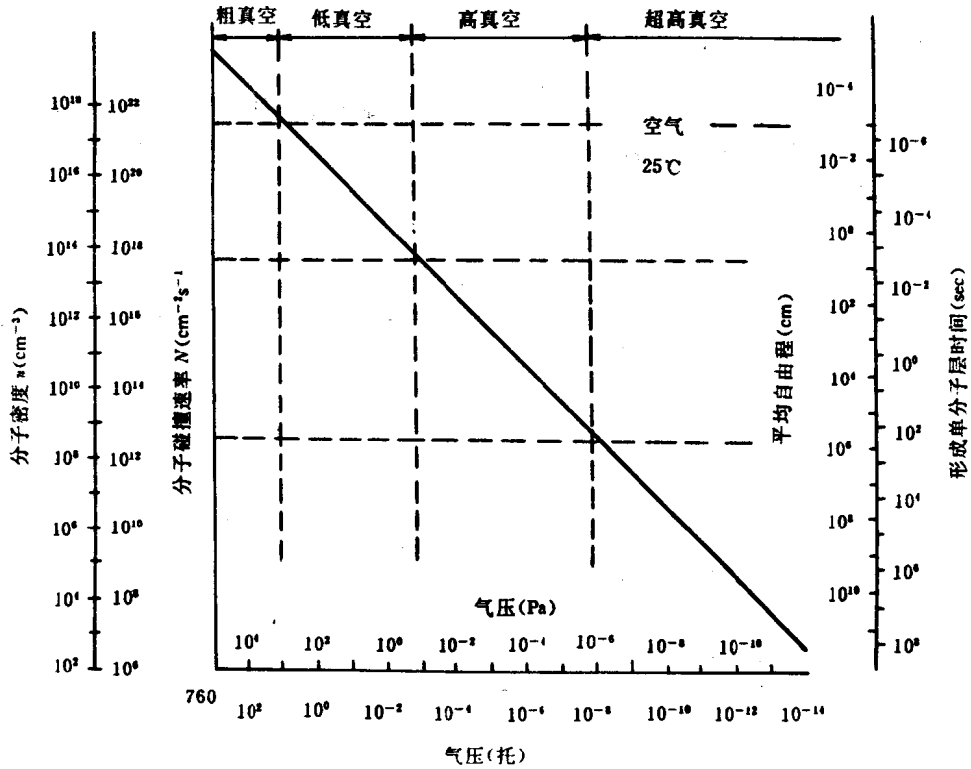


图 1-2 几个真空概念之间关系(25℃,空气)

表 1-2 气体的性质

气体	数值	化学符号	分子量 M	质量 m ($\times 10^{-23}$ g)	平均速度 v_a ($\times 10^4$) cm/s, 0℃	分子直径 σ ($\times 10^{-8}$ cm, 0℃)	平均自由程 λ (cm · Pa, 25℃)	在 1.33×10^{-4} Pa 时			
								碰撞次数 ($\times 10^{14}$ 个/cm ²)	形成单分子层的时间(s)	单分子层分子数 ($\times 10^{14}$ 个/cm ²)	厚度 (nm/min)
氢		H ₂	2.0	0.3	16.9	2.8	1.2	15.1	1.0	15.3	16.3
氧		O ₂	32	5.3	4.3	3.6	0.72	3.8	2.3	8.7	9.5
氩		Ar	40	6.6	3.8	3.7	0.71	3.4	2.5	8.6	8.7
氮		N ₂	28	4.7	4.5	3.8	0.67	4.0	2.0	8.1	11.3
空气			29	4.8	4.5	3.7	0.68	4.0	2.1	8.3	10.8
水蒸气		H ₂ O	18	3.0	5.7	4.9	0.45	5.0	1.1	5.3	26.8
一氧化碳		CO	28	4.7	4.5	3.8	0.67	4.0	2.0	8.0	11.5
二氧化碳		CO ₂	44	7.3	3.6	4.7	0.45	3.2	1.7	5.3	16.8

上面介绍了气体分子向固体表面的入射碰撞,下面介绍气体分子从表面的反射问题。根据克努曾对低气压气体流动的研究,以及对分子束反射的研究都证明了下述的余弦定律成立。即碰撞于固体表面的分子,它们飞离表面的方向与原入射方向无关,并按与表面法线方向所成角度 θ 的余弦进行分布。则一个分子在离开其表面时,处于立体角 $d\omega$ (与表面法线成 θ 角) 中的几率为

$$dp = \frac{d\omega}{\pi} \cdot \cos\theta \quad (1-23)$$

式中 $1/\pi$ 是由于归一化条件,即位于 2π 立体角中的几率为 1 而出现的。

分子从表面反射与飞来方向无关这一点非常重要。它意味着可将飞来的分子看成一个分子束从一个方向飞来,亦可看成按任意方向飞来,其结果都是相同的。余弦定律(又称“克努曾定律”)的重要意义在于:

(1) 它揭示了固体表面对气体分子作用的另一个方面,即将分子原有的方向性彻底“消除”,均按余弦定律散射;

(2) 分子在固体表面要停留一定的时间,这是气体分子能够与固体进行能量交换和动量交换的先决条件,这一点有重要的实际意义。

§ 1-3 真空的获得

真空系统的种类繁多,典型的真空系统应包括:待抽空的容器(真空室)、获得真空的设备(真空泵)、测量真空的器具(真空计)以及必要的管道、阀门和其他附属设备。能使压力从一个大气压力开始变小,进行排气的泵常称为“前级泵”,另一些却只能从较低压力抽到更低压力,这些真空泵常称为“次级泵”。

对于任何一个真空系统而言,都不可能得到绝对真空($P=0$),而是具有一定的压强 P_s ,称为极限压强(或极限真空),这是该系统所能达到的最低压强,是真空系统能否满足镀膜需要的重要指标之一。第二个主要指标是抽气速率,指在规定压强下单位时间所抽出气体的体积,它决定抽真空所需要的时间。

从理论上讲,任何一个真空系统所能达到的真空度可由下列方程确定

$$P = P_s + \frac{Q}{S} - \frac{V}{S} \cdot \frac{dP_i}{dt} \quad (1-24)$$

式中, P_s 是真空泵的极限压强(Pa), S 是泵的抽气速率(L/s), P_i 是被抽空间气体的分压强(Pa), Q 是真空室内的各种气源(Pa·L/s), V 是真空室的体积(L), t 是时间(s)。

真空泵是一个真空系统获得真空的关键。表 1-3 列出了常用真空泵的排气原理、工作压力范围和通常所能获得的最低压强。图 1-3 示出了几种常用真空泵的抽速范围。可以看出,至今还没有一种泵能直接从大气一直工作到超高真空。因此,通常是将几种真空泵组合使用,如机械泵+扩散泵系统和吸附泵+溅射离子泵+钛升华泵系统,前者为有油系统,后者为无油系统。

表 1-3 主要真空泵的排气原理与工作范围

种类	原理	工作压强范围	
		10^2 1 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-10} 10^{-12} (Torr)	10^4 10^2 1 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-10} (Pa)
机械泵	油封机械泵(单级)	利用机械力压缩和排除气体	-----
	油封机械泵(双级)		-----
	分子泵		-----
	罗茨泵		-----
蒸气喷射泵	水银扩散泵	靠蒸气喷射的动量把气体带走	-----
	油扩散泵		-----
	油喷射泵		-----
干式泵	溅射离子泵	利用溅射或升华形成吸气、吸附排除气体	-----
	钛升华泵		-----
	吸附泵	利用低温表面对气体进行物理吸附排除气体	-----
	冷凝泵 冷凝吸附泵		-----

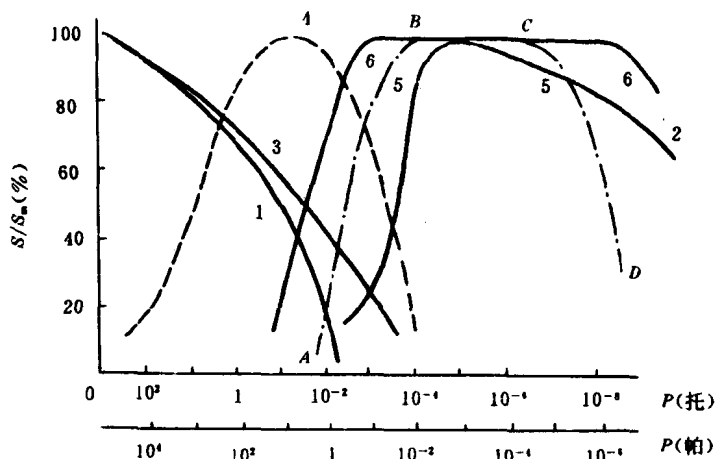


图 1-3 几种真空泵的抽速比较

- 1—单级旋片泵 2—溅射离子泵 3—双极旋片泵
4—罗茨泵 5—扩散泵 6—分子泵

一、机械泵

常用机械泵有旋片式、定片式和滑阀式等。其中旋片式机械泵噪声较小，运行速度高，应用最为广泛。其结构主要由定子、旋片和转子组成，这些部件全部浸在机械泵油中，转子偏心地置于定子泵内，如图 1-4 所示。其工作原理建立在玻-马洛特定律基础上，如图 1-5