

《国外机械工业基本情况》参考资料

真空检测仪表与装置

上海电动工具研究所 编

第一机械工业部科学技术情报研究所

出版说明

以华主席为首的党中央向全国人民提出了新时期的总任务，全国从上到下一心一意搞四个现代化。机械工业要适应“四化”的要求，必须为国民经济各部门提供现代化的技术装备。为此，需要研究和学习国外机械工业的先进技术和经验。在这种形势下，我们组织有关单位编写一套《国外机械工业基本情况》参考资料。这项工作第一次开始于1973年，1975年基本完成。这次是第二轮，在内容和范围上都比上次有所充实和扩大。

这套参考资料按专业分册出版。本书为真空检测仪表与装置部分，主编单位是上海电动工具研究所，主要执笔人员有张宗侠、秦兆生、施振明、杨耀华同志。

第一机械工业部科学技术情报研究所

目 录

一、综 述

(一) 真空技术的重要性	1
(二) 国外真空科研概况	3
1. 当前真空科研动向	3
2. 表面科学	4
3. 薄膜物理及技术	6
(三) 国外真空工业的现状与发展趋势	9
1. 真空工业的范围	9
2. 真空工业的现状	9
3. 真空工业的发展趋势	13

二、国外真空科研活动简介 (组织机构与会议)

(一) 真空科学技术历史简介	14
(二) 国际真空科学、技术及应用联合会 (IUVSTA) 简介	16
1. 联合会组织基本情况简介	16
2. 历届国际真空会议简况表	17
(三) 美国真空科学技术团体简介	18
1. 美国真空协会 (AVS) 简介	18
2. 美国真空设备制造商协会 (AVEM) 简介	18
3. 美国真空镀膜装置协会 (SVC) 简介	18
(四) 日本真空技术株式会社 (ULVAC) 科研机构简介	18
1. 公司技术开发部简介	18
2. 超材料研究所简介	19
(五) 英国爱德华真空学校简介	21
(六) 国外真空专业杂志及有关杂志表	22

三、国外真空企业情况简介 (主要国家主要公司)

(一) 美国瓦里安 (Varian) 公司简介	24
(二) 美国威科 (Veeco) 公司简介	27
(三) 美国珀金—埃尔默 (Perkin-Elmer Corp) 公司简介	28
(四) 美国真空联合公司 (C·V·C) 简介	29
(五) 美国 G·C·A 公司简介	29
(六) 美国斯隆技术公司 (Sloan Technology Corp.) 简介	30
(七) 日本真空技术株式会社 (ULVAC) 简介	30
(八) 日本日电瓦里安 (NEVA) 公司简介	32

(九) 日本大阪真空机器制作所简介	34
(十) 日本岛津制作所简介	35
(十一) 日本德田制作所简介	35
(十二) 日本真空器械工业株式会社简介	35
(十三) 西德莱博尔德—黑罗依斯 (Leybold-Heraeus) 公司简介	36
(十四) 法国 SOGEV 公司简介	39
(十五) 英国 V.G. 公司简介	40
(十六) 英国爱德华高真空公司 (Edwards) 简介	40
(十七) 瑞士巴尔泽斯 (Balzers) 公司简介	40

四、国外真空产品情况简介 (真空仪器与真空镀膜装置)

(一) 真空检测仪器	41
1. 真空计 (全压强测量)	42
(1) 热导真空计	42
(2) 麦氏真空计和压缩式真空计	44
(3) 机械式真空计	44
(4) 潘宁式真空计	45
(5) 热阴极电离真空计	45
(6) 真空继电器	47
(7) 真空过程控制器	47
(8) 日本日电瓦里安 (ANELVA) 公司产品	49
(9) 日本真空技术株式会社 (ULVAC) 产品	50
2. 真空残余气体分析仪器 (分压强测量)	51
(1) 英国 AEI 公司产品	51
(2) 英国 VG 公司产品	52
(3) 美国 C.V.C. 公司产品	55
(4) 美国瓦里安 (Varian) 公司产品	56
(5) 日本日电瓦里安 (ANELVA) 公司产品	56
(6) 日本真空技术株式会社 (ULVAC) 产品	59
(7) 法国 RIBER 公司产品	60
(8) 西德 VARIAN.MAT 公司产品	61
3. 真空检漏仪器	62
(1) 美国瓦里安公司产品	62
(2) 美国爱柯—台梅斯凯尔 (Airco-Temasal) 公司产品	63
(3) 法国奥尔凯通 (ALCATEL) 公司产品	63
(4) 英国爱德华公司 (Edwards) 产品	66
(5) 英国 Centronic 公司产品	69
(6) 日本真空技术株式会社产品	70
(7) 日本日电瓦里安公司产品	72
(8) 使用探索气体的非质谱型检漏仪	74
(二) 真空表面仪器	76
1. 概述	76

2. 主要制造公司及产品	77
(1) 瑞士巴尔泽斯公司产品	77
(2) 美国物理电子工业公司产品	78
(3) 英国 V·G 公司产品	78
(4) 美国瓦里安公司产品	79
(5) 美国威科公司产品	79
(三) 真空镀膜装置	79
1. 真空蒸发镀膜装置	79
(1) 美国 C.V.C. 公司产品	79
(2) 美国爱柯—台梅斯凯尔公司产品	81
(3) 美国瓦里安公司产品	82
(4) 美国威科公司产品	84
(5) 西德莱博尔德—黑罗依斯公司产品	85
(6) 日本日电瓦里安公司产品	88
(7) 日本真空技术株式会社产品	88
(8) 英国爱德华公司产品	94
(9) 瑞士巴尔泽斯公司产品	94
2. 真空溅射镀膜装置	95
(1) 美国 CVC 公司产品	95
(2) 美国爱柯—台梅斯凯尔公司产品	98
(3) 美国瓦里安公司产品	100
(4) 美国威科公司产品	101
(5) 西德莱博尔德—黑罗依斯公司产品	101
(6) 日本日电瓦里安公司产品	104
(7) 日本真空技术株式会社产品	109
(8) 瑞士巴尔泽斯公司产品	112
3. 真空镀膜自动控制仪器及膜厚测量仪器	113
(1) 美国斯隆公司 (Sloan) 产品	113
(2) 西德莱博尔德—黑罗依斯公司产品	117
(3) 膜厚监控器	119
(4) 光学膜厚监控器	120
(5) 淀积速率计	120

附录：国外真空产品及其生产公司

综 述

真空检测仪表与装置制造工业是真空工业的重要组成部分（一般说来，真空工业包括真空获得设备，真空检测仪表及各种真空应用装置的制造三大部分）。整个真空工业的发展与真空科学的发展又有着密切的联系。

（一）真空技术的重要性

今天的世界，从最尖端的科学研究到最普通的日常生活，可说都与真空密切相关。真空的应用已渗透到各个领域。例如：商业中的真空包装，环境卫生中的真空吸尘，食品、医药中的真空冷冻干燥，起重装卸的真空吊运，化工中的真空精馏，机械工业中的真空热处理，冶金工业中的真空熔炼，……真是举不胜举。但是，最重要的还在于：当代各个最重要的科技领域，例如，航天科学、核能开发、太阳能利用、高能物理研究、激光技术、微电子学、集成光学以及近几年来十分活跃的表面科学，都一刻也离不开真空科学的配合。没有真空的配合，这些尖端科学的发展是不可想象的。真空工业（包括真空检测仪表与装置制造工业）就是这许许多多真空应用的柱石。同样，真空检测仪表与装置也已随着真空应用的发展而渗透到国民经济的各部门。

下面仅就真空检测仪表与装置在某些尖端科技领域中的作用略述一二：

航天科学需要真空技术是不言而喻的。因为宇宙空间就是一个无限大的真空环境（离地面80公里高处的真空度为 10^{-2} 托，800公里高处为 10^{-9} 托，月球表面为 10^{-9} 托（日出） $\sim 10^{-12}$ 托（日落），更远的恒星际空间推测为 $10^{-15} \sim 10^{-20}$ 托。所以，所有的空间飞行器（卫星、导弹、飞船）都必须先在地面上的空间模拟室中进行考验。例如，美国目前已有近百套大型空间模拟装置在使用，其中，有的直径达70米，装置内部的真空度达 10^{-13} 托。这些大型超高真空装置，除要配备庞大的真空抽气机组外还要配备大量的真空检测仪器。航天科学中的真空测量十分复杂（包括宇宙模拟室中，空间飞行器上以及星体表面的真空测量），需要解决诸如分子沉、非稳态流的测量问题。在空间的实际测量中还会遇到高低温、辐射、微流星、振动、冲击等等恶劣的特殊环境条件，从而对真空仪器提出了各种严格要求。

高能物理研究的主要设备——高能粒子加速器就是一个要求严格的超高真空系统。它不仅要求配备高效率的真空抽气机组，而且要配备性能十分良好的真空检测仪器、真空控制仪器和真空表面分析仪器。

为了保证加速粒子有足够大的流强，在加速管道中必须保持无碳氢化合物污染的清洁的高真空。例如，目前正在运行的日内瓦欧洲原子核研究中心（CERN）的高能加速器——质子交叉储存环装置（ISR）在直径300米、长度2公里的真空室中，平均压力已降到 7×10^{-12} 托。该加速器配备了500台以上的超高真空计和几十台真空残余气体分析仪。为了分析研究内部表面的放气问题（维持超高真空所必须）还配备了各种真空表面分析仪器，如俄歇谱

仪、二次离子质谱仪、扫描电子显微镜等。另外，由于真空室是在 10^{-12} 托的真空度下工作，因此对于检漏要求严格。该原子核研究中心的做法是将整个真空室置于检漏室中，充氦气并烘烤至 300°C 检漏。使用的是法国 Alcatel 公司的 ASm₄ 型氦质谱检漏仪（灵敏度 5×10^{-11} 托·升/秒，稳定度达2%/小时以下）。

在太阳能利用方面，无论是太阳能硅电池薄膜蒸镀，还是太阳能聚焦反射膜的蒸镀，均要靠真空镀膜装置来完成。在这方面，新的镀膜工艺与装置是降低太阳能电池成本、大规模工业化地生产太阳能电池从而使它能广泛推广应用的决定因素。目前，这个问题已成为各国真空镀膜专家们研究的重点。

计算机工业与原子能和宇航技术一样被称为现代科技的三大标志之一。在计算机的制造中，真空镀膜技术和真空离子干式刻蚀技术都做出了重要贡献。因为，作为现代高性能电子计算机关键的大规模集成电路就是靠这两个技术制造的。另外，对这种复杂工艺制造的微电子器件的分析、检验，则需要真空表面分析仪器。在这种仪器中，可以在超高真空条件下对半导体表面的物化过程、原子晶格、电子结构进行研究，从而对集成电路、MOS 器件的性能改进提供理论根据。这方面的研究也是国际上真空科研的重点之一。

从以上的简单叙述，我们已不难看出真空科学技术在今天的重要性以及真空检测仪表与装置制造工业在其中的地位。

表 1 历届国际真空会议论文分类统计表

项 目		一		二		三		四		五		六		七	
		1958		1961		1965		1968		1971		1974		1977	
		篇	%	篇	%	篇	%	篇	%	篇	%	篇	%	篇	%
一般真空技术（总计）		107	66%	110	55%	83	67%	80	56%	61	30%	63	35%	107	15%
一般真空技术分类	真空获得，排气系统及元件	38	24%	37	19%	45	36%	51	36%	22	13%	27	12%	35	4.8%
	真空测量（全压）	49	30%	21	11%	14	11%	16	11%	11	6.3%	12	5.6%	28	3.9%
	分压计，质谱仪及检漏			12	6%	8	6.5%	10	7%	14	8%	8	3.7%		
	空间模拟，加速器、核聚变、真空冶金及其它真空工程	40	25%	40	20%	16	13%	18	12.5%	14	8%	16	7.4%	15	2%
薄膜物理及技术（总计）		13	8%	37	19%	27	22%	23	16%	93	54%	113	52.5%	179	25%
								其中淀积技术为12篇。	其中淀积技术为17篇。	其中淀积技术为25篇。	其中淀积技术为23篇。				
表面科学（总计）		/		/		14	11%	22	15%	20	11.5%	30	14%	434	60%
						全部是吸附与解吸。	其中19篇是吸附解吸。								
共 计		162	100%	198	100%	124	100%	143	100%	174	100%	215	100%	* 720	100%

* 七届总数720中包括未出版的会上口头宣读论文223篇。

(二) 国外真空科研概况

1. 当前真空科研动向

本世纪50年代和60年代, 真空科学在电子工业、原子能开发、宇航科学这三大动力推动之下有了很大的发展。在这期间, 无论是真空获得还是真空检测的手段都日趋完善, 并不断得到更新。70年代以来, 获得和测量的手段已能基本满足需要, 目前处于相对稳定和巩固的阶段。国外真空界具有代表性的看法是“有关超高真空的获得和检测的研究已随着阿波罗计划的成功而宣告结束, 现在正处于使用这种技术, 促使别的新技术发展并开辟新的应用领域的时代”。目前开辟的最活跃的领域是表面科学和薄膜物理及其技术这两个方面。

下面仅从历届国际真空会议所发表的论文比重来说明最近十年来真空科研的主要动向。(见表1)

从表1中我们不难看出, 在第一届至第四届(1958、1961、1965、1968)国际真空会议发表的论文中, 真空获得与检测手段方面的论文还占很大比重。但从第五届(1971)以来, 所发表的论文中表面科学与薄膜研究的论文数量却大幅度增加, 成了真空科研的主流。值得指出的是: 1971年的第五届国际真空会议与第一届国际固体表面会议一起举行。自此以后, 两个国际会议就经常一起活动了(第六届与第七届国际真空会议分别与第二届和第三届国际固体表面会议一起举行)。特别是1977年这次会议所发表的论文集已不再是两个会议分别发表, 而是合为一册。从这些现象也可说明真空科学与表面科学的密切关系。

在真空科技领域中, 美国一直领先, 了解美国的真空发展情况是很有参考价值的。下面简单介绍一下美国真空学会近十年来的科研情况(见表2)。

根据表2所列情况并综合国际真空界看法简评如下:

真空技术方面(获得与检测): 66年的美国真空界正处于宇航技术大发展的时期。为了建造大型的空间模拟室以获得制造卫星的数据, 积极开展了超大型超高真空系统的研制以及真空中的磨擦、润滑、放气等真空物理的研究。可以说, “60年代美国真空学会的重点是宇宙开发。70年代以来, 获得与测量的研究逐渐减少了, 这个领域完全达到了商品化”。

薄膜物理与技术方面: 1966年, 学会主要注重真空镀膜方法和装置的研究。1971年以后, 薄膜的构造和物理性能的研究成了主题。最近, 对于太阳能利用方面的太阳热集电极以及反射膜的研究又成了热门。

表面科学方面: 1966年, 美国真空学会对表面科学尚未引起重视。后来由于超高真空技术的发展, 有了提供清洁真表面的手段, 学会开始重视表面研究。在低能电子衍射仪(LEED)、高能电子衍射仪(HEED)、俄歇谱仪(AES)等真空表面仪器商品化之后, 为开展这方面的研究提供了得力的工具, 因而这种研究也更加活跃起来。特别是最近, 美国政府能源研究开发局(ERDA)对有关煤的气化、液化及氢能的研究投入巨额资金(表面科学中关于催化作用的研究是这些开发工作的关键), 无疑将大大推动这方面科研的进展。另外, 由于半导体器件向高密度、高集成化方向发展, 使得半导体与金属, 半导体与绝缘层之间界面问题的研究变得十分重要, 所以这方面的表面研究课题也越来越受重视。

综上所述, 从国际真空会议和美国真空学会的研究动向, 已不难看出国际真空界正热衷

表 2 美国真空学会年会论文分类统计表

研究领域 \ 届 年 度		13	17	18	21	22	23
		1966	1970	1971	1974	1975	1976
1.一般真空技术（总计）		58	41	65	26	27	18
一般真空技术分类	泵及排气系统	17	20	25	22	14	7
	测量及微量天平	24	7	17	4	10	6
	宇宙空间方面及加速器	17	5	14			
	质谱分析		8	9			
	检漏		1			3	5
2.薄膜（总计）		24	60	82	60	53	69
薄膜分类	薄膜的构造与物性		16	50	26	23	
	镀膜过程控制及结晶成长	17	10	7	13	7	40
	镀膜装置	7	16	18			
	应用		51	7	8	8	4
3.厚膜（总计）					13	7	7
4.表面科学（总计）			36	43	59	61	85
表面科学分类	固体表面的构造与物性			14	16	11	18
	固体表面的分析法		14	14	17	12	17
	吸附氧化、催化、作用		15	15	20	16	33
	原子、离子与表面		7		6	14	8
	半导体器件的界面					8	9
5.离子与物质的相互作用					27	22	30
6.干式刻蚀		1					6
7.新产品研究						7	8
共 计		83	128	194	172	126	207

于表面和薄膜物理及其技术的研究，这就是总的发展趋势。

2. 表 面 科 学

(1) 表面科学研究的重要意义：

表面科学是一门新兴的边缘科学，它不仅涉及物理和化学，还涉及生物学等领域。因为表面现象是普遍存在的 微 观 现 象，在许多科技领域中，它 往 往 是许多问题的关键。研究它，可使许多表面过程的机理得以阐明，从 而 揭 开许多问题的本质，给科学带来重大突破。

目前表面科学研究的一个重要内容是对催化作用的研究。例如，究竟什么因素决定了催化剂的催化活性？这一问题已获得了相当大的进展。答案是，在某些情况下，催化活性是由它表面的金属氧化物的比值决定的。由于真空表面分析仪器，例如光电分光计（ESCA），能清楚地分辨纯金属与氧化物，因此，它能有效地用于分析催化作用。这对化学工业意义相当重大，使得迄今仍靠实验摸索选择催化剂的催化学科开始进入理论研究的重要阶段。

表面科学在金属材料的腐蚀机理及其防护问题的研究方面（金属表面物化过程的研究），利用俄歇谱仪已解决了许多防腐技术上的问题，找到了许多设备因腐蚀而损坏的原因。这个贡献同样也是影响深远的。因为腐蚀问题是世界各国迫切要求解决的问题。据报导，仅美苏两国，每年因腐蚀生锈而报废的钢铁就达4000万吨，其中完全不能回收的达1000万吨。另外，在工业中，因腐蚀而造成设备破坏甚至发生重大事故的事例是屡见不鲜的。表面科学对腐蚀机理的深入研究，将为解决这一问题开辟道路。

再如，表面科学在合金扩散、材料断裂、表面硬度以及前面提到的半导体微电子器件的研究方面都将大有可为，这里不再一一例举。

（2）真空科学与表面科学的密切关系：

正是由于超高真空技术的发展才使获得和维持一个原子程度清洁的真表面成为可能，从而激起了对表面研究的热潮。为了研究真表面，试样必须置于高度清洁的真空环境中（大约在 10^{-10} 托以上）以防试样受到污染。所以表面研究离不开超高真空。

另一方面，表面研究的进展又将推动真空科学的进展，真空获得和测量技术的重大突破将来自表面研究。因为，无论是真空获得还是真空检测都与表面现象密切相关。尤其在超高真空范围，表面上的物化过程及粒子与表面的相互作用是影响真空质量的决定性因素。在真空获得方面，冷凝泵、溅射离子泵、吸气剂泵、分子泵，这些重要高真空泵的抽气机理无一不是以表面现象为基础的。在真空检测方面，表面科学已将它引到一个新阶段。在真空科学发展的早期，人们满足于全压强的测量。随着真空科学的进展，提出了更进一步的要求——需要知道残余气体的组分。于是出现了可测分压强的各种质谱仪器（如回旋质谱计、磁偏转式质谱计、四极质谱计及飞行时间质谱计等）。现在，在表面研究的推动下，人们可以得到所获真空内的更本质的信息——暴露在真空下的表面的信息。随着真空测量向极高真空领域的推进，以表面现象为基础的关于真空度概念的新理论正在形成之中。

（3）表面研究的方法与仪器（各种谱仪）

各种真空表面仪器（谱仪）是表面科学研究必不可少的工具，世界各国极为重视。到目前为止，研究表面的方法与装置（谱仪）已达数十种之多（详情介绍可见后面产品部分）。这些方法与装置都只能用来研究表面的某一方面的特性，如要了解表面的全面情况，则必须综合使用这些方法，以达到相互补充之目的。目前，在国际市场上，比较典型的谱仪商品有俄歇电子谱仪（AES）、低能电子衍射仪（LEED）、紫外光电子谱仪（UPS）、X射线光电子谱仪（XPS）等。随着表面科学及其应用的发展，新的谱仪商品必将不断出现。表面研究仪器大都属于大型精密仪器，结构复杂，所涉及的技术较广。目前这种仪器已成为国际上真空仪器制造业积极竞争的高级产品之一。

值得指出的是，去年（1977年9月）第七届国际真空会议出现的动向。在这次盛会上发表的726篇论文中，有600多篇是关于表面（434篇）和薄膜（179篇）的。在这些大量的研究工作中，真空表面仪器作为必不可少的工具而得到了广泛的应用，并且表面分析的理论和方法也得到了发展。从这些大量的研究和应用中反映出的真空表面仪器的发展动向可归纳为如下四点：①多机能化。例如俄歇谱仪（AES）与光电谱仪（ESCA）、紫外光谱仪（UPS）、二次离子质谱仪（SIMS）的联合分析（联合谱仪）。②俄歇微分析的亚微化。③使用电子计算机进行自动化分析与数据处理。④从定性分析向定量分析发展。

3. 薄膜物理与技术

(1) 真空镀膜技术的重要性

真空应用的另一个广阔无垠的天地就是薄膜。薄膜问题既是新问题又是老问题，钢铁制品的镀铬及制镜中的镀银早已为人们所熟悉，但自从真空镀膜技术问世以来，这些老方法正面临着被取代的趋势。真空镀膜比电解质溶液的电镀法和化学还原法都远为优越得多，它已经成为现代薄膜技术的主要方法。

今天，利用真空镀膜技术可以将欲镀材料镀到各种形状的各种材质上（陶瓷、金属、塑料、纸张），人们可以赋予物体表面几乎任何性质的薄膜（耐蚀膜、耐热膜、耐磨膜、导电膜、绝缘膜、超导膜、磁性膜、滤光膜、反射膜、增透膜、无油润滑膜……），这就使这门技术为今天的科技发展发挥了巨大作用并展示了更广阔的前景。

迄今，真空镀膜技术应用成功的典型工业部门是光学工业和电子工业。众所周知，真空镀膜制造的各种光学膜和电学膜已经成为现代光学仪器和现代各种微电子器件的基础。真空镀膜已成为这两个工业的支柱。目前，这方面的镀膜装置正朝着完全自动化方向发展。

在现代尖端科技的各个领域，真空镀膜技术也都做出了重要贡献。从航天飞行器上的无油润滑膜到原子能工业中的镀铝耐蚀膜；从激光器中的耐高温反射膜到太阳能装置的吸收膜和反射膜，无一不是采用真空镀膜的结果。其它例子当然还很多，这里不再列举。

(2) 发展动向

前已提及，70年代以来，美国真空学会对真空镀膜新原理、新方法的研究逐渐减少了，薄膜的物理特性及结构的研究成了主题。从近两届（1974、1977）国际真空会议的情况来看也是如此。这是因为，现代科学在各个领域的进展对薄膜提出了各种新要求，应用现有的各种镀膜方法制造各种新的薄膜成为当前的主要课题。在各种新膜的制造中所出现的各种问题则需要通过对薄膜物理特性和结构的研究才能加以解决，而各种表面仪器的问世，恰好给研究薄膜物理提供了强有力的工具。

上述动向在第七届（1977年9月）国际真空会议上可明显看出。会议发表的有关薄膜的论文有179篇（占全部论文的25%），其中关于薄膜的光学特性、电磁特性、机械特性研究及薄膜结构分析的文章占薄膜论文总数的40%左右，关于各种新薄膜的制造及薄膜的外延生长扩散的文章约占50%。这两方面共占去90%左右，代表了薄膜物理及技术研究内容的主体。而关于薄膜淀积技术的文章只占百分之十多一些，其中不少是关于各种技术的组合运用以及工业应用推广方面的文章。这说明目前淀积技术已基本齐备，正向组合运用深入研究，并在工业方面得到推广。

参加会议的日本代表织田善次郎（日电瓦里安株式会社）写道，“看来，各种真空镀膜技术，各种薄膜的分析技术，各种薄膜物性测定技术，作为单项技术都已齐备了。而且，利用微型计算机还可以任意地进行程序控制和数据处理。因此，到下一届（1980年）国际真空会议时，将会研究出由各单项技术更充分结合的系统技术，将会成批生产任意特性的薄膜，在真空中进行加工也许成为可能”。

对于工业应用来说，近几年值得提出的动向是薄膜向厚膜的发展。首先是由于大功率高性能电子枪的出现使蒸镀膜的厚度从埃（ $10^{-4}\mu$ ）级增长到微米（ μ ）级。继而离子镀膜技术的发展又使厚膜的成膜方式与质量大大前进了一步（离子镀膜是蒸发原理与溅射原理兼而用

之的方法，在离子镀膜的过程中对基片有清洗作用，所镀膜层与基片接合处形成相互扩散故结合力牢）。现在，无论是金属还是塑料都可镀上数微米厚的镀层。制造耐蚀、耐热、耐磨的功能膜已可实现。这样便开辟了真空镀膜在机械工业、化学工业、材料工业方面的应用前景。用真空镀膜取代老式湿法电镀铬已近在眼前，这样不但可以节省镀膜材料和降低能量消耗，而且还消除公害。机械工业中的刀具、量具、模具可被镀上高硬度的碳化钛或氮化钛镀层，从而成十倍地提高寿命。各种轴类零件、曲柄零件也都可以镀上耐蚀、耐磨的功能膜。飞机涡轮机的叶片可镀上抗高温的镍钴基合金膜，还可以在塑料上复着金属或非金属膜制成特殊性能的复合材料（如塑料眼镜片上的高硬度透明膜，带有镀层的建筑材料等）。

近几年来，关于溅射镀膜的发展动向引人注目。溅射镀膜的长处是适合于镀高熔点、高纯度的金属膜和介质膜。但长期以来，溅射镀膜淀积速率低的缺点限制了它的工业应用。近几年来，由于环隙等离子放电原理在镀膜技术中的应用，打开了一个新的局面。环隙等离子放电是磁场增强的气体放电的一种特殊型式。迄今为止，基于这种原理发展了许多新型的溅射源，如：磁控管型溅射源，S 枪溅射源等。这些溅射源的共同优点是：溅射速率高（可比一般溅射提高十倍以上，已可与真空蒸发的速率相比美），使用电压低，从而可避免 X 射线对基片的损伤；二次电子对基片的轰击大为减少，从而使基片温升下降（可达 70°C ），所以受到普遍重视。另外，环隙等离子放电原理除用于高速溅射外还可用作离子镀膜中的优秀的离子源，对于大面积的工业离子镀膜装置尤为合适。总之，在环隙等离子放电的基础上，各种新的镀膜工艺正在发展。

在七届国际真空会议论文中，有关溅射镀膜的论文有30篇。其中用到的高速磁控管溅射有平板型、S 枪型、同轴磁控管型等。较引人注目的溅射技术有：用反应性溅射和共溅射制造化合物膜、合金膜和混合膜。例如：在甲烷中溅射 Zr（反应溅射法）制造 ZrC 太阳光选择吸收膜。对 SiO_2 与 Ge，或 TiO_2 与 Ge 进行共溅射生成合金或混合物的光学膜。对金合金或 Ta 与 Al 进行共溅射生成集成电路用薄膜。另外，关于离子束溅射、高速溅射与离子镀膜在厚膜形成中的应用，关于同轴磁控管溅射在工业中的应用等问题也都有专题报告。

（3）方法与装置

今天，对真空镀膜比较公认的分类方法如下图所示。表 3 示出了物理蒸汽淀积法的内容分类，表 4 对物理蒸汽淀积法范围内的镀膜方法进行了比较。以上图表基本上反映了现阶段国外所发展的较成熟的真空镀膜方法的概貌。

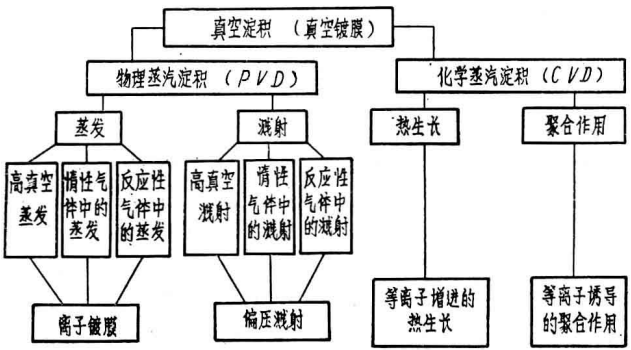


图 1 真空镀膜技术的分类
(摘自第七届国际真空会议论文集第1535页)

表 3 物理蒸汽沉积法 (PVD) 的分类

1. 溅射镀膜 (用等离子作媒介)	(1) 化学生成溅射 (2) 射频溅射 (3) 化学生成射频溅射 (4) 低温溅射 (5) 高速溅射 (6) 离子束溅射 (7) 液相溅射
2. 蒸发镀膜 (不用等离子作媒介)	(1) 化学生成蒸发镀膜 (2) 电场蒸发镀膜 (3) 化学生成、电场蒸发镀膜 (4) 电阻加热蒸镀
3. 离子镀膜 (用等离子作媒介)	(1) 化学生成离子镀膜 (2) 低压离子镀膜 (3) 化学生成低压离子镀膜 (4) 空心阴极放电 (5) 化学生成空心阴极放电 (6) 活化反应蒸发 (7) 低压等离子淀积 (8) 离子氮化、离子碳化等

摘自日本 ULVAC 公司技术杂志《表面技术》特集号1976.2.

表 4 几种真空镀膜技术的比较

		真 空 蒸 发		溅 射	离 子 镀 膜	
		电阻加热	电 子 束	(射 频)	电阻加热	电 子 束
被镀材料	低熔点金属	能		能	能	
	高熔点金属	不能	能	能	不能	能
	高熔点氧化物	不能	能	能	不能	能
粒子能量	蒸发原子	0.1—1电子伏特		1—10电子伏特	0.1—1电子伏特	
	离子	—		—	30—1000电子伏特	
淀积速度(微米/分)		0.1—3	1—75	0.01—0.5	0.1—2	1—50
膜的外观		光 泽	光—半光	半光—消光	半 光	消 光
密 度		在低温中是低密度		高密度	高密度	
气 孔		在低温中多		少	少	
基板和膜的边界层		热扩散过程快		相当快	非常快	
粘 附 性		不太好		相当好	非常好	
膜的纯度		根据蒸发材料纯度而定		根据靶材纯度而定	根据蒸发材料纯度而定	
蒸镀范围: (对于复杂形状来说)		只有蒸发源所面临的面才可镀		(限度内)完全达到所有面, 但根据电极构造有所不同	(某种限度内)完全达到所有的面。	
镀膜前的基板表面处理		真空中加热除气或是辉光放电清洗		溅射刻蚀 (反溅射)	溅射刻蚀 (在镀膜过程中也可进行)。	

——出处同表 3。

(三) 国外真空工业的现状与发展趋势

1. 真空工业的范围

一般说来, 真空工业包括真空获得设备、真空检测仪表及各种真空应用装置的制造工业。其中, 各种应用装置及成套仪器是国外真空企业提供产品的主要方式。各真空企业多是真空获得设备、真空仪表及真空应用装置都生产的综合性企业, 所生产的泵和仪表主要用来为应用装置和成套仪器配套。近年来, 在真空仪器方面, 表面谱仪等大型精密仪器商品已经出现。

真空应用装置及成套仪器涉及领域甚广, 种类繁多, 现按其所需真空度范围大致分类如下:

低真空与中真空应用装置 (使用油封机械泵、机械增压泵获得的低于一个大气压至 10^{-3} 托的真空): 真空保存、包装、脱水浓缩 (食品工业); 真空蒸馏、分馏、干燥 (化学工业); 真空脱气、烧结、硅单晶拉晶 (冶金工业)。

高真空应用装置 (机械泵扩散泵机组所得 $10^{-2} \sim 10^{-7}$ 托真空): 各种电真空器件的排气装置、各种电子束加工装置、真空检漏装置、真空蒸发镀膜装置、真空溅射镀膜装置、真空离子干式刻蚀装置、离子注入装置、真空钎焊炉、真空熔炼炉、质谱仪、气体分析仪器、电子显微镜等。

超高真空应用装置 (用离子泵、钛升华泵、分子泵等获得的 $10^{-7} \sim 10^{-12}$ 托的真空, 扩散泵加冷阱也可达到 10^{-9} 托或更高的真空度): 真空表面仪器、加速器、储存环、空间模拟装置等。

2. 真空工业的现状

(1) 主要国家

真空工业发达的主要国家是美国、日本、西德、英国、法国、瑞士、意大利等。其中美国的真空工业规模最大 (截至1977年7月, 参加美国真空制造商协会的厂家已达340家)。其次是日本, 目前也已有20几个公司从事真空设备的生产。

(2) 总产值

据1976年统计, 全世界真空工业的总产值约为1000亿日元。其中美国约为500亿日元, 占一半左右; 日本近200亿日元, 约占20%; 欧洲 (主要是西欧) 约为300亿日元, 约占30%。1977年, 日本已上升到230亿日元, 增长甚快。从以上真空工业产值的分布情况可知, 世界真空工业主要集中在美、日和西欧。

(3) 国外真空工业发展的特点

① 年轻的工业

真空工业是比较年轻的, 目前的规模也不大。不论是产值还是所占市场都不能与一些老的工业部门 (如汽车工业、造船工业、纺织工业、机床工业等) 相比。这是因为, 真空工业作为真空科学走出实验室后的时间还不长。国际上真空界人士的看法是: 目前整个世界的真空工业还没有成熟。这也预示着今后的大发展。

② 发展速度很快

真空工业的发展步伐紧跟着真空科学的步伐。二十世纪之前的漫长岁月中，由于真空科学发展缓慢，基本处于实验室内，故真空的工业应用很少。二十世纪三十年代以来，在电子管排气、光学镀膜、特种冶金推动下，真空工业逐渐发展起来。特别是五十年代、六十年代，由于真空科学受电子工业、原子能工业和宇航工业的推动发展迅速，相应的真空工业也发展极快。七十年代以来，表面与薄膜的发展动向又促使真空工业在新的应用领域里加快了步伐。

下面以美国和日本近十年来真空工业增长情况的某些数据为例来说明这个问题。请看下面曲线：

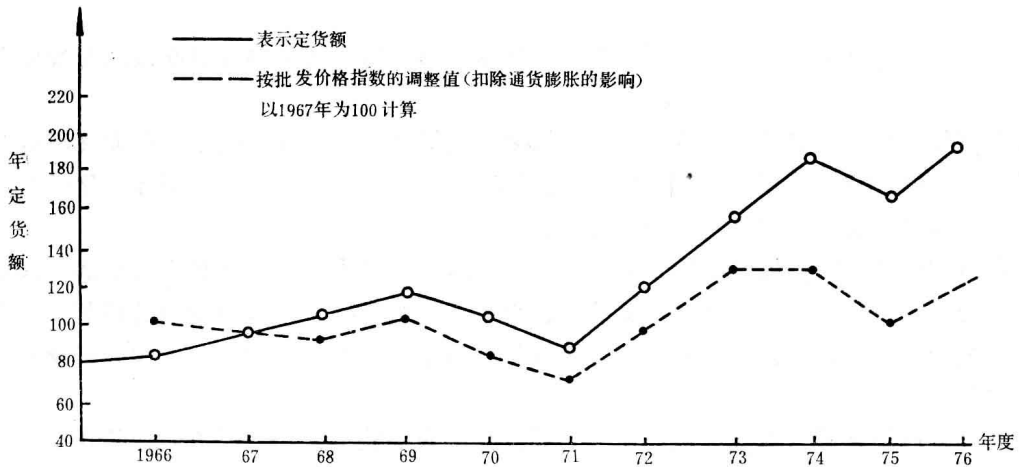


图2 美国真空设备制造商协会绘制的美国真空工业近十年来定货额增长趋势简图

上面曲线图刊登在美国《工业研究与发展》杂志1977年8月号，原文题目是：真空工业的发展。该文章称：1976年美国真空产品的销售额达到1.988亿美元，是1967年（0.958亿美元）的二倍。扣除通货膨胀的影响后，实际增长率为12.7%。图片所示出的75年的下降是由于经济萧条引起，但76年立即上升了。文章估计77年的销售额将为2.2亿美元（比76年增长9~12%，扣除通货膨胀后为3~4%）。

另外，文章指出，1977年7月美国真空企业名录和用户指南中列出了340家公司，而76年是290家，65年则为182家。并指出，更多的真空新公司正在组成中。

下面三个曲线图表示日本真空工业产品在国民经济各部门中广泛应用的增长情况（资料摘自第六届国际真空会议论文集。原文题目：日本的真空工业）。

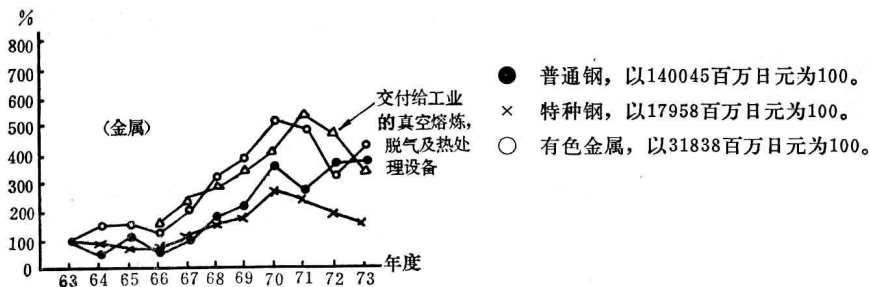


图3

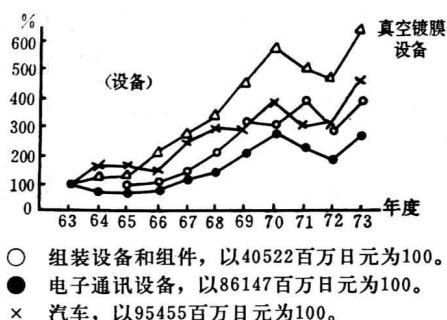


图 4

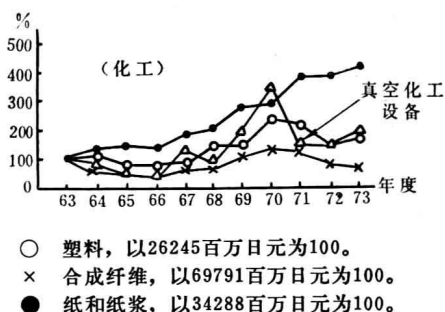


图 5

从以上美日两国真空工业增长的情况可以看出真空工业在近十年内增长速度是相当快的。

③ 与科学研究关系密切 (发展的主要因素)

一方面真空科研的成果不断打开新的真空应用领域, 另一方面, 各个尖端科研领域都不断向真空工业提出了新型真空设备和手段的新要求。这就是真空工业与科研的相依关系。这当中, 科研是主导因素。国外各真空企业都十分重视科研, 并投入相当大的人力和物力, 各企业的发展过程正是一个科研不断推动生产的过程。

很多例子说明, 一些企业的发展往往是由一个新的应用领域的开辟或一个新产品的发明为先导的。例如, 美国瓦里安公司的历史是从搞速调微波管开始的。瓦里安公司的创始人瓦里安兄弟就是速调微波管的发明人。由于速调微波管当时在通讯、导航、空间开发, 尤其是军事方面用途很大, 使得瓦里安公司得到了迅速发展。以后, 该公司又根据斯坦福大学教授费利克斯·布洛克 (Felix Bloch) 所发现的核磁共振原理首次制出分析仪器产品, 从而再次加速了公司的发展。在该公司的整个发展过程中, 一直十分重视科研。公司设有专门科研部门, 人员与投资在公司中所占比重很大。在美国每年一度的 100 项新产品评奖活动中, 该公司至今已有 46 项产品被评选, 说明了该公司科研成果的丰硕。

西德真空企业莱博尔德—黑罗伊斯公司也十分重视科研。据该公司报导: 仅七十年代以来, 该公司科研人员公开发表的专利与科研论文就达 30 多项。

日本真空技术株式会社 (ULVAC) 设有专门研究机构 (超材料研究所), 专门进行真空中的材料加工和处理技术 (如真空冶金、真空镀膜、真空离子刻蚀、离子注入等) 的研究, 并以此做为发展新产品的主要途径。

各工业先进国家十分重视科学研究工作。尤其是近十年来, 对科研投入的人力物力大大超过以往 (见图 6、图 7 及表 5)。

④ 产品发展方面的特点

真空工业的产品主要是各种真空应用装置。从近十年情况来看, 高真空和超高真空装置尤其是真空镀膜装置产品的增长较为突出。

前些年, 高真空装置的制造业务主要是提供研究用装置, 发展到目前则以制造生产用高真空装置为中心, 并已开始提供大规模高真空自动连续生产系统的成套产品, 这也预示了真空工业的发展趋势。至今, 高真空装置产品已占了真空产品市场的一半以上。

超高真空装置随着各种超高真空获得设备的商品化、实用化以及表面谱仪的兴起也有了突出的增长。

真空镀膜装置是高真空装置产品中增长最为突出的一种。美国于1975年成立了真空镀膜机协会，专门交流真空镀膜的技术问题，已有会员250个（单位或个人）。真空镀膜也是日本最感兴趣的领域，据74年统计就已有数千台真空镀膜装置投入运行。真空镀膜装置也做为节省资源、消除公害、文明生产的方向性产品而被广为提倡。

这两项产品（高真空装置、镀膜装置）的突出增长，我们从前面日本真空工业增长情况的有关曲线中也可看出。

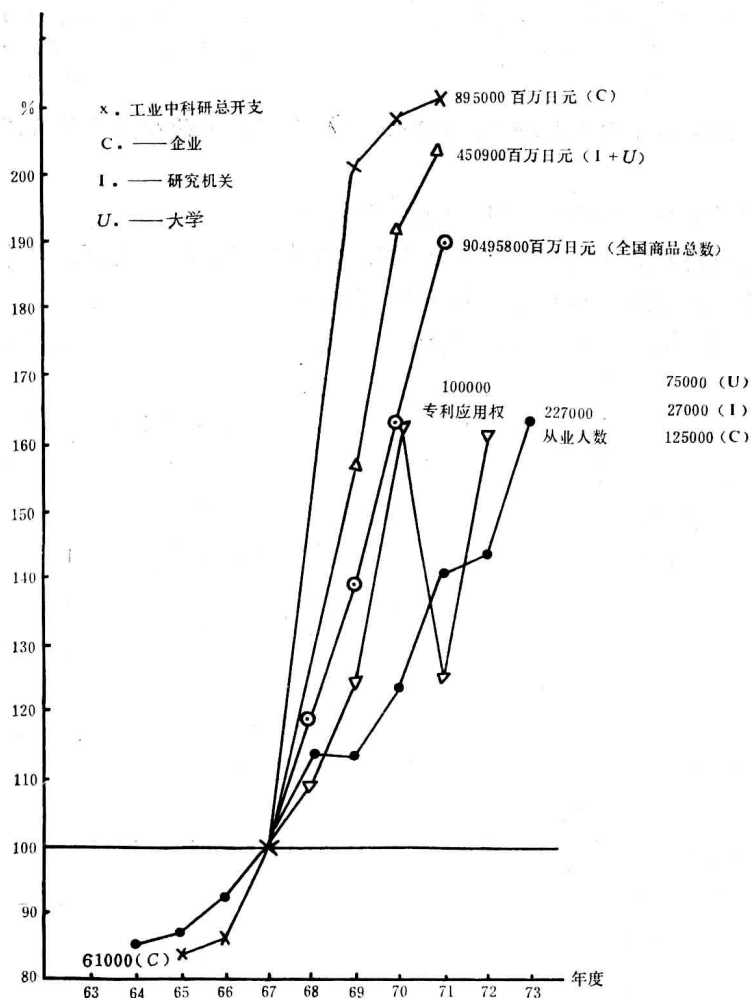


图6 日本的科研活动每年增长情况

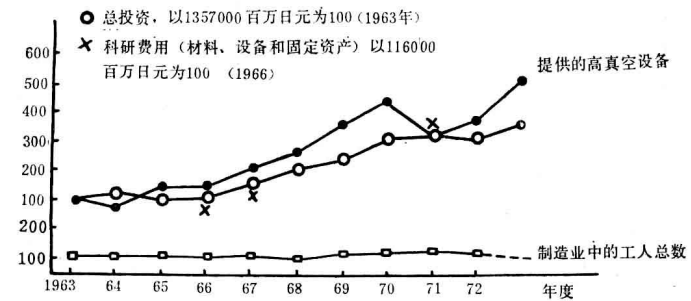


图7 日本工业投资每年增长情况（总投资与工业科研投资）