

日本真空技术的应用现状

魏 林

(兰州物理研究所)

内容提要:介绍了适用于超高真空和极高真空应用的出气速率近年来在日本的研究情况。同时介绍了日本昭和真空公司在真空镀膜方面的新应用。

主题词: 超高真空、极高真空、真空出气速率、真空镀膜。

一、出气速率的临界估算

近年来,为适应超高真空和极高真空在一些高科技领域中的应用,出气速率很低的材料的研究以及低出气速率的估算成为了热门课题之一。谁也不能否认超高真空技术的应用价值。这项技术始于50年代初期。在表面科学和空间环境模拟试验中早已获得应用。也对半导体集成电路的发展作出了杰出的贡献。表面分析和分子束外延生长技术是直接受益者。

70年代中期,日本就开始执行用于热核聚变的托卡马克装置的研制的计划。开始了在大型等离子容器中获得极为洁净的等离子体的可行性研究。这时,可控等离子体的应用在集成电路的生产中已成为关键的课题。要求获得一个极为洁净的真空环境。

高能粒子加速器的超高真空系统中,必须选用出气速率极低材料。这类超高真空系统的研制成功,是日本的加速器和真空领域的专家共同努力的结晶。到90年代初期,研究的重点转入极高真空条件下、出气速率极低的真空壁材料。与之有关的研究课题如表1所示。

为了加快极高真空的获得、测量和应用的研究步伐,日本科学技术厅每年均拨专用资金进行资助。从70年代中期开始的托卡马克装置就是作为国家级的项目而开始实施的。与此有关的多种真空壁材料和第一壁材料的出气速率的估算已达到要求。

此外,还须为小型样品提供一个实验系统,以便测出它们在超高真空容器中的出气速率。热核聚变装置中,等离子体的清洁前后要受到具有一定的能量的离子或电子轰击。在东京大学工业研究所的合作下,测量小型样品的出气速率的分子束型实验系统已在该校建成。其测量结果更为准确。近年来,东京大学的工业研究所成功的完成了超高真空和极高真空条件下泵的抽速和材料的出气速率的精确测定的工作。测量时,用全压规平衡状态下真空壁的压力。

东京大学的工业研究所采用流导调制法。所用的不锈钢真空容器器壁上镀有氮化硼膜。这是最新的超高真空和极高真空的器壁材料。大量的实验结果表明,出气速率很低,可以在极高真空条件下使用。在不锈钢和铝合金表面镀上氮化钛膜后,用于超高真空真空容器可以达到要求。但用于极高真空容器时效果不理想。

表1 80年代以来与材料出气有关的研究课题

研 究 课 题	研 制 单 位
1. 极高真空 涡轮分子泵 钛基底上的铌蒸发膜 带G-M制冷机的低温泵 铝合金法兰 带刀口密封的不锈钢法兰 不锈钢的低温烘烤 不锈钢的出气速率与温度的关系 用于极高真空的不锈钢材料 铝合金的出气速率 铝合金的表面分析 不锈钢基底上的氮化硼膜的出气速率 不锈钢基底上的氮化钛膜	三菱重工 日本国家金属研究所 ANELVA 日本原子能研究所、I-H重工 那可聚变实验中心 日立公司, KEK国立实验室 日立公司 日本电子技术综合研究所 北海道大学 神户钢铁公司 日立公司, 日本株式会社 日本真空技术株式会社茅崎本部
2. 干式粗抽泵 从大气到高真空的干式泵 分子流条件下的分子动力学 涡轮分子泵叶片径向瞬时流	三菱重工 北京真空物理实验室 日立公司
3. 清洁真空的无尘部件 步进电机的热辐射 轴向间隙的步进电机 带固体润滑的轴向间隙的步进电机 磁悬浮式输送系统	武藏技术院 日本真空技术株式会社茅崎本部 日本真空技术株式会社茅崎本部 日本真空技术株式会社茅崎本部
4. 应用激光束的真空规 采用瑞利(Rayleigh)散射进行中真空测量 与激光二极管的共振频率有关的薄板的真空光热振动	九州大学 岐阜国立大学, 名古屋大学

二、光学用真空镀膜装置

80年代的中、末期, 日本昭和真空公司的光学用真空镀膜装置在日本颇受欢迎。后来在产品品种方面不断扩大, 涉及到电视显像管、高分辨率电视、液晶投影电视、激光唱片、干式复印机等领域均获得重要的应用。

1. 电视显象管用面板

这里所指的显象管是统指用以显示作为办公设备自动化仪器上的显象管以及正在快速普及的如微型计算机、小型计算机、字幕机等计算机系统输入输出数据的阴极射线管。

对于这些显象管, 为了防止从管表面发射的电磁波、显示离差、由外部光线的入射而产生的漫反射或双影等对操作人员的有碍因子, 在显象管的显示面或前面镶装或贴上特殊加工的面板倾向正在扩大。这种面板具有与显象管的显示面尺寸相同的形状。这是用铅玻璃或含铅的光学塑料制造的。原材料厂家对面板加工成形后, 用真空镀膜的方法镀上三层400~700nm的减反射膜制成。到90年代, 随着办公室自动化设备的需求量的扩大, 这种产品的潜

在市场正在不断扩大。

2. 激光唱片用的拾波元件

这类元件指的是对于向激光唱片表面照射激光时使反射的光线变换为电信号的元件。但是, 为了仅挑选反射光中能纯粹地作为电信号起作用的波长, 则需要对所限定的波段之光进行滤波或分离的滤波器、射束分离器。由于这类产品需要灵敏的滤波反射红外线区(830 nm左右)带。因此, 必须采用真空镀膜的方法, 镀上7~14层多层膜。进入90年代以后, 这类产品已与制作激光唱片时专门的镀膜机一起成为畅销产品。

3. 光纤通信

光通信用窄带滤过器是用于光纤传输方式的波长多路通信网的合、分波器所用的电介质多层薄膜滤波器。用一根光纤就能同时收发不同波长的复数光波的波长多路通信。这是通信网络系统的基本, 是传输系统的一次革命。

电介质多层薄膜滤波器的作用在于对传输用的800nm带和1.3 μ m带的光, 通过选择波长作用使其与其它的不同波长的光进行分离。滤波器虽然是3 mm²的小型产品, 但是在入射面必须采用真空镀膜工艺, 使产品形成23~42层的多层膜。

4. 液晶显示元件

液晶显示面板的用途, 虽然作为钟表、工业用检测仪表、装饰件等常用的显示器已经得到普及。但是, 80年代末期以来, 所要求的是在大面积的玻璃和塑料板上形成低阻的掺锡氧化铟膜。为此, 既要求不要大幅度提高成本, 还必须满足大型的室内外显示器、液晶电视、建材玻璃的需求量不断高涨的需要。必须采用蒸发或溅射镀膜的工艺, 以便形成(6~8) $\times 10^{-5}$ mm的掺锡氧化铟膜。为适应这一领域的专用真空镀膜机已经产品化。

5. 干式复印机的增量反射镜

用于干式复印机的增量反射镜的宽度为40mm, 长度为250~400mm。与感光纸的尺寸相同。这个反射镜对于使大光量的光入射于感光筒具有重要的作用。这类产品采用真空镀膜工艺, 在铝的全反射膜上再镀上双层的增反射膜。

6. 多面反射扫描器用镜

在新型的印刷技术中, 使激光扫描激光照排机, 以便进行高速印刷的方法已成为人们关注的课题之一。用于使激光扫描的就是扫描器的多面反射镜。由于多镜面要以10⁴r/min的转速旋转, 镜面材料用铝制作。90年代以来, 正研制用塑料代铝的新型镜面。这类反射镜镜面直径60~100mm, 厚10mm, 镜面本身为10~12面体。采用真空镀膜的工艺, 使其构成铝或铜的全反射膜和作为外涂层的电介质膜的双层膜。

80年代以来, 日本昭和真空公司开发的真空镀膜产品很多。针对这些新应用, 所生产的真空镀膜机也进行了许多改进。例如, 采用了全自动镀膜的技术, 采用计算机系统实现镀膜过程的自动化。这类镀膜机特别适用于多层反射膜的镀制。为这类镀膜机专门配备了SOM-8000、SOM-9000型单色型光学式膜厚监控器和SOM-300型多色型光学式膜厚监控器。单色型膜厚监控器具有400nm~1.6 μ m的测光幅度。由于采用了分光器, 因此, 容易选定所观测的波长。多色型膜厚监控器是可见光区的反射专用监控器, 具有13个测光点, 能使镀膜中的分光反射率曲线化。镀膜机中的蒸发源采用电子束蒸发源, 适合于电介质、氧化物、氟化物等光学膜的镀制。为了减少水汽以及碳氢化合物对膜层的污染, 采用低温泵抽气。

可测 10^{-12} Pa压力的离子谱规

吕时良 李旺奎 摘译

内容摘要: 从电子激发解吸(ESD)离子引起的测量误差出发,考察了Lafferty发明的热阴极磁控规和Benvenuti和Hauer改进的Helmer规的测量下限。在此基础上研制了一种新的热阴极全压规—离子谱规,它可以在低至 10^{-12} Pa的压力范围内完全避免ESD离子所引起的误差。其结构特点是:1.采用能使气相离子和ESD离子具有大的能量差的球形栅极离子源;2.采用具有高能量分辨率的 180° 半球形离子能量分析器,以提高离子聚焦能力并降低X射线下限;3.采用可降低热阴极出气量的在铝合金法兰内掩埋离子收集极的技术。在一台新的铝制XHV系统上,进行了以Mo和Pt作栅极的两种新规的性能研究,通过引入 O_2 进行实验证实了气相离子和ESD离子的有效分离。对Pt栅规,当压力低至 10^{-11} Pa时,可完全消除ESD离子误差。新规的测量下限和灵敏度分别为:Mo栅规: $P_x < 2 \times 10^{-12}$ Pa, $S = 4.5 \times 10^{-4}$ A/Pa; Pt栅规: $P_x < 5.6 \times 10^{-12}$ Pa, $S = 1.8 \times 10^{-4}$ A/Pa。

主题词: 真空测量、电子激发解吸、离子谱规。

根据1987年Redhead对UHV测量所作的重要评述^[1],1963年Lafferty^[2]描述的带二次电子倍增器(SEM)的热阴极磁控规有可能测量最低压力 10^{-16} Pa,而1980年Benvenuti和Hauer改进的Helmer规^[3],实测最低压力为 2.5×10^{-12} Pa。

在研制带SEM的磁控规之前,Lafferty于1961年用不带SEM的磁控规测量的压力是 5.3×10^{-11} Pa^[4]。磁控规工作电流为 3.5×10^{-9} A,磁场强度为0.0250 T,规管的灵敏度为 6.75×10^{-4} A/Pa。圆筒阳极为Mo,由于受到300 eV电子的轰击,在阳极表面上要产生ESD离子,每个电子最多可能产生 10^{-6} 个离子^[5],因此ESD离子流可高达:

$$(3.5 \times 10^{-9} \text{ A}) (10^{-6} \text{ 离子/电子}) = 3.5 \times 10^{-14} \text{ A}$$

然而,在 5.3×10^{-11} Pa的极限压力下,气相离子流为:

$$(6.75 \times 10^{-4} \text{ A/Pa}) \times (5.3 \times 10^{-11} \text{ Pa}) = 3.6 \times 10^{-14} \text{ A}$$

此值正好等于ESD离子产生的电流值。所以Lafferty测量的极限压力可能受到ESD离子的限制。增加二次电子倍增器后,尽管可使灵敏度提高,但ESD离子流将以同样的放大倍数而放大。因此可以断定,具有SEM的磁控规测量下限为 10^{-11} Pa,而不是 10^{-16} Pa。

其次,改进型Helmer规所测最低压力同样受到ESD离子的影响。根据文献^[3]给出的偏转电压的特性曲线,在离子能量大于150 eV、规灵敏度为 0.3 Pa^{-1} 时,离子束谱的分辨率

参 考 文 献

- 1 Komiya S. Recent advances in vacuum technique in Japan. Vacuum, 1992; 43(11): 10
- 2 Fujita D, Homma T. Report of the institute of industrial science, The university of Tokyo, 1991; 36(3): 232