

# 离子束成膜技术

郭华聪

(四川大学原子核科学技术研究所)

**摘要:** 本文简要介绍了几类离子束成膜技术: 离子束沉积和外延; 离子束辅助沉积和离子蒸发沉积; 集团离子束沉积; 离子束溅射沉积。

离子束成膜技术是核技术应用于材料科学的一项新技术, 属于高技术领域, 可以用来合成多种高性能的机械、电子、光学和超导等薄膜材料。这些薄膜材料可以是单成分和单层, 也可以是多成分和多层; 可以是非金属、金属、陶瓷和高分子材料; 可以是非晶, 多晶和单晶薄膜材料; 还可以人工合成新的功能薄膜材料, 如新的超导材料和新的超晶格材料等。在1988年6月东京召开的第7次离子注入技术国际会议上, 离子束成膜技

术受到特别重视, 进行了专题讨论。

国内外都有不少单位在开展离子束成膜技术的研究, 并有定型产品装置出售, 我所也建立了离子束沉积金刚石膜装置和一套申报专利的多离子束反应溅射成膜装置<sup>(1)</sup>。

和其他成膜技术相比较, 离子束成膜技术有一系列优点: 1. 可以独立控制成膜参数, 2. 成膜真空度较高, 减少杂质气体污染, 3. 基片不受等离子体中高能电子辐照, 可以减少膜的缺陷和降低基片温度, 4. 由于

系统安装布置图如图1。

这是西德Berthold的产品, 应用在我国引进的15套大化肥装置中的12套上, 一根活性长度约3米的棒状源安装在被测容器的中心轴线上, 闪烁探头装在设备外边, 探头信号通过200米长的电缆传输到信号处理机。

2、9701型 $\gamma$ 密度计, 美国TN公司产品(图2)。

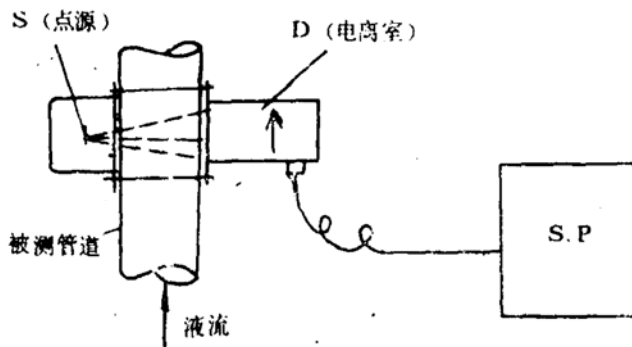


图2

3、6400核子秤, 美国Kay-Ray公司产品(图3)。

## 六、我国的差距

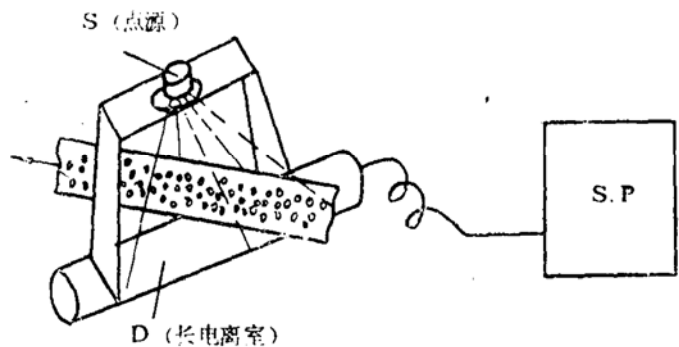


图3

我国的核检测仪表起步于58年, 而世界第一台核检测仪表——厚度计也不超过53年在美国问世, 起步只晚几年时间, 但目前的应用水平大约相当于国外60年代的水平, 即落后约20年, 技术水平大约相当国际70年代末水平, 即落后约10年。这种差距的原因一方面是由于十年动乱的结果, 另一方面则是我国核技术科研应用长期限于国防, 民用部门又长期限于国营的科研院所, 没有科技型企业机制, 所以这种应用核技术就很难推广应用。

离子动能的作用可以改善膜的性能。

离子束成膜技术可以分为以下几类：

1. 离子束沉积和外延；
2. 离子束辅助沉积和离子蒸发沉积；
3. 集团离子束沉积；
4. 离子束溅射沉积；
  - a. 单束，
  - b. 双束，
  - c. 多束。

## 一、离子束沉积和外延

在离子束沉积中，主要利用宽束热灯丝离子源，通入  $\text{CH}_4 + \text{H}_2$  等混合气体，在能量 10-300eV，在基片上沉积金刚石膜和立方氮化硼膜<sup>(2)</sup>。我所的金刚石膜小组用此方法沉积出较好的类金刚石膜，在工具保护和太阳能电池抗反膜上取得较好实验效果。

国外也有用经过质量分析的碳离子，直接沉积在基片上形成金刚石膜<sup>(3)</sup>。

在离子束外延中，从 30-50KeV 能量的离子源中引出离子，将其减速到 10-1000eV，离子流强约 10-100 $\mu\text{Acm}^2$ 、束斑约  $\phi 10\text{mm}$ ，在超高真空下在基片上沉积外延膜，如 Si/Si(100)，Ge/Ge(100)<sup>(4,5)</sup>。中科院半导体所和原子能研究院合作建成一套双离子束外延装置。

## 二、离子束辅助沉积和

### 离子蒸发沉积

#### 1、离子束辅助沉积

在光学和激光器件中要用到大量的介质膜，用一般蒸发方法形成的膜有一系列缺点，如附着强度差，密度低，存在拉伸应力等。为了克服这些缺点，采用离子束辅助沉积方法。就是在蒸发成膜的同时，用 200-1000eV 的一束离子流轰击基底以改善单层

和多层介质膜的性能，还可以用反应气体离子轰击基片生成多种化合物膜，如  $\text{SiO}_2$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{TiO}_2$ ， $\text{ZrO}_2$ ， $\text{CeO}_2$ ， $\text{Ta}_2\text{O}_5$  等。

#### 2、离子蒸发沉积

在蒸发成膜时采用较高能量 5-40KeV 离子轰击基片，这种技术叫离子蒸发沉积。主要用于金属表面超硬涂层研究，它兼有真空蒸发和离子注入的优点，可以形成较厚的超硬涂层。

1983 年日本首先建成这种装置，称为 IVD (Ion Vapor Deposition) 装置，用来沉积氮化铝和立方氮化硼膜，成膜速率为 5nm/min。1985 年日本日新电气公司推出工业用 IVD 装置，离子能量为 2-40KeV，总束流为 100mA，电子枪功率为 5KW<sup>(7)</sup>。

近来日新公司又对 IVD 装置作了改进，利用两个电子枪蒸发和两个离子源轰击基片，一个低能源为 200-2000eV，另一个高能源为 5-20KeV，扩大了 IVD 装置的使用范围<sup>(8)</sup>。

美国海军研究实验室 (NRL) 也建立了一台类似的装置，美国人称之为离子束辅助沉积 (IBAD)，离子能量为 1-40KeV，离子通量为  $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16} \text{ioncm}^{-2}\text{S}^{-1}$ ，和一般的 PVD 方法相比，用这种方法生成的 TiN 膜，密度增加了 60%<sup>(9)</sup>。

## 三、集团离子束沉积

这项技术是日本京都大学的高木俊宣于 1972 年提出的。其原理是将源材料加热成蒸汽，从约 1mm 的小孔喷出，由于绝热膨胀而使蒸汽冷凝成由 500-2000 个原子组成的中性集团，再经电子轰击离化后飞向基片。其主要优点是成膜速度快，膜的密度接近大块材料密度，膜和基片的附着性能好，可以在较低基片温度下生成单晶膜、非晶膜、金属膜、绝缘膜、化合物膜和高分子膜。

近年来这项技术发展较快，日本和美国都有商用装置出售，并于 1986 年 6 月在东京召

开了第一次集团离子束技术国际会议,发表的文章也较多,可参看综述文章[10-12]。最近京都大学在集团离子束成膜装置中,加入微波离子源产生反应气体轰击基片在基片温度100℃的生成AlN和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜<sup>(13)</sup>。中科院半导体所也制作了一台集团离子束沉积装置。

#### 四、离子束溅射的沉积

用一个离子源引出离子束轰击靶片,溅射出靶材料沉积到基片上,这叫单束溅射。

用一个离子源轰击靶片,用另一个离子源轰击基片以改善成膜质量,这叫双束溅射。

用多个离子源分别轰击多个靶片,同时在一个基片上形成多成分膜,并用另一个离子源轰击基片改善成膜质量,这叫多束溅射。

国外已有商用装置出售,国内已有单束商用装置和研制成功双束和多束装置。

离子束溅射沉积是离子束成膜技术中最重要的发展方向,用这项技术可以形成多种薄膜材料。美国航空和航天局(NASA)大力开展这项技术的研究,主要研究空间飞行器上用的各种保护涂层,如金刚石膜、氮化物, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC等。

中科院物理所用离子束溅射制成TBCO超导陶瓷膜,国外也制成Bi Sr Ca CuO超导膜<sup>(16,17)</sup>。

在磁性薄膜研究上取得了很大进展,制作了光磁盘SiN/Tb FeCo/SiN。对SiN的成膜率为600埃/min。对TbFeCo为1000埃/min,对Al为1200埃/min<sup>(18)</sup>。制作了YIG,Bi外延膜<sup>(19)</sup>和令人瞩目的Fe-C/Ni-Fe多层薄膜磁头磁芯材料,可使记录速度提高一倍,使磁盘容量提高5—10倍<sup>(20,21)</sup>。

利用超高真空离子束溅射系统来研究外延单晶膜也取得成功,如Si单晶膜<sup>(22)</sup>,YSZ/Si(100)单晶外延膜<sup>(23)</sup>。

我们于1986年提出申请,于1987年得到资助,建成一套多离子束反应溅射装置,于1988年申报专利,准备开展多成分陶瓷薄膜

的研制工作。

美国联邦科学仪器公司(Commonwealth Scientific Corporation)在1988年11月发布信息,也建成多束溅射装置,声称是用于90年代的先进成膜装置,开价50万美元并且对我国是属于禁运物资。

从上可见,离子束溅射成膜技术发展很快,已进入工业应用的前期,希望我国的核技术工作者和材料科学工作者联合起来,大力发展离子束成膜技术,成为新的高技术产业。

#### 参 考 文 献

- (1) 郭华聪等,中国专利申请号,83109746,4
- (2) 郭华聪,物理 14-7(1985)396
- (3) S.R.Kasi et al., J.Vac.Sci.Tech, A6-3 (1988) 1788
- (4) D.G.Armour et al., Vacuum.36 11/12 (1986) 769
- (5) R.A.Zuhr et al.,DE87-12291
- (6) P.J.Martin, J.Mater.Sci.21 (1986)1
- (7) Y.Andoh et al., Nucl, Instr.Meth. B6 (1985) 111
- (8) 绪方洁,机能材料3-4(1988)43
- (9) R.A.Kant et al.,Nucl.Instr.Meth. B/7 /8 (1985) 915
- (10) 郭华聪,物理 15-9 (1986) 532
- (11) 高本俊宣,应用物理 55-8(1986)746
- (12) 山田 公,电子材料 27-1(1988)55
- (13) H.Takaoka et al., Thin Solid Films 157-1 (1988)
- (14) B.A.Banks et al.,N84-26803
- (15) E.Gelerintes N83-16493
- (16) A. B. Haker et al.,Appl. Phys. Lett 52-25 (1988)2186
- (17) R. D. Lorentz Appl, Phys, Lett 53-17 (1988)1654
- (18) 野川修一等,真空 30-5(1987)280
- (19) 奥田高士等,日本应用磁气学会议11-2 (1987)147
- (20) 多田和市, Nikkei Electronics NO 420

(1987) 72

(21) 武笠幸一, *Semiconductor World* 6-14

(1987) 204

(22) C. Schwebel et al., *J. Vac. Sci. Technol.*

B 4-5(1986)1153

(23) P. Legagneux et al., *Appl. Phys. Lett.*

53-16 (1988)1506