



2008年3月22日

[首页](#) | [分院简介](#) | [机构设置](#) | [新闻中心](#) | [院地合作](#) | [科研成果](#) | [院士风采](#) | [基层党建](#) | [人事监审](#) | [English](#)

先进的科学仪器—多功能集成MBE设备（沈阳科仪公司）

发布时间：2004-8-24

先进的科学仪器—多功能集成MBE设备

赵科新，男，1966年10月生于辽宁省沈阳市，1990年毕业于上海交通大学机械工程系，获硕士学位。现任中国科学院沈阳科学仪器研制中心有限公司真空仪器二部部长，研究员。毕业十余年来，一直从事各种表面真空仪器的研制和开发工作，在行业内享有较高的声望。曾主持研究开发成功了中国科学院重大仪器攻关项目“V型分子束外延（MBE）设备”的研制工作，获1994国家级新产品奖；1995年主持开发成功了国内第一台最先进的“超高真空CVD设备”；主持开发成功的“激光镀膜（PLD）设备”获得1996年度中国科学院科技进步一等奖、1997年度国家科技进步三等奖；主持“激光分子束外延（LMBE）设备”研究开发工作，获1996年国家级新产品奖。1999年获中国科学院沈阳分院优秀青年科技工作者，2001年获得国务院政府特殊津贴。

作为科学仪器领域的专家，提供性能超群，赶超国际先进水平的仪器设备，是他的目标和使命。带着这样的信念，他们开发了一个又一个新的产品。如“分子束外延设备”、“激光分子束外延设备”、“超高真空CVD设备”等，无一不是目前世界上各发达国家科学家们所使用的薄膜、材料等研究领域所需要的设备。这些设备他们都先后研究成功了，提供给我国的科学家使用，并出口到香港，新加坡等地区和国家。

2002年初，中国科学院物理研究所向中国科学院申请了“溅射-激光蒸发复合成膜系统”即“多功能集成MBE设备”重大设备的研制工作，并交由赵科新主持承担设备的设计及制造工作。该设备功能是集分子束外延生长技术、激光溅射技术、磁控溅射生长技术、原子力显微镜

（SPM）原位薄膜分析技术于一体的尖端科学仪器设备。即使是在国外，也很少见到该类似设备的报道。应该讲，即便是每一个分类设备，都已是极尖端科学仪器设备，而将薄膜生长工艺的几种技术手段结合在

一起，他们面临着巨大的挑战。

分子束外延生长技术通称MBE (Molecular Beam Epitaxy) 是由AY, Cho和John Arthur创始命名的。所谓“外延”就是在一定的单晶体材料的衬底上，延着衬底的某个指数晶面向外延伸生长一层单晶薄膜。它是在超高真空下，类似于真空热蒸镀，把构成晶体的各个组分和预掺杂的原子（或分子）以一定的热运动速度按一定比例从束源炉中喷射到基片上，进行晶体外延生长单晶膜。它是真空热蒸镀方法的进一步发展。

激光溅射技术是利用激光的方向性好，单脉冲能量高（约1焦耳左右），打在靶材上，其局部加热温度可高达3000-4000度，几乎能溅射出任何材料，并且由于单次溅射时间很短，所以制备的薄膜成分几乎与靶材的成分比例相同，是目前国际上最热门的制膜手段。

磁控溅射技术是现今薄膜制备工艺中应用最广泛的技术，以其“低温”“高效”著称，工作原理是在直流溅射的技术之上，增加了磁场约束，利用磁场产生的洛仑兹力束缚阴极靶表面电子的运动轨迹，导致轰击靶材的高能离子的数量增多，而轰击基片的高能电子的减少。

原子力显微镜（SPM）是一个高性能的倒置光学显微镜，其上配置了全部的原子力显微镜系统，它集合了非破坏性扫描和光学成像于一体，利用探针与样品的不同相互作用来探测表面或界面在纳米尺度上表现出的物理性质和化学性质，原子力显微镜能够实现与电子显微镜相比拟的横向纳米级分辨率和纵向纳米级分辨率，不仅具有很高的空间分辨率（横向可达0.1nm，纵向优于0.01nm），还能直接观察到物质表面的原子结构；而且还能对原子和分子进行操纵，其放大倍数比标准光学显微镜大两个数量级。

近年来，随着科学日新月异的步伐，单一功能地MBE科研设备已经不能满足科研工作和生产的需要，科学家们越来越多的提出要以传统的分子束外延（MBE）生长技术为基础，结合激光溅射分子束外延（L-MBE）技术、磁控溅射技术、气态源分子束外延（GSMBE）技术中的一种或几种，甚至与一些分析检测设备：如原子力显微镜系统（SPM），俄歇电子能谱仪（AES）等相结合，形成了可以在原位生长，原位监测功能，来生长出新的薄膜，或新的材料，促进半导体工业的发展。中国科学院物理研究所立项申请的“多功能集成MBE设备”，正是该类综合生长技术的典型代表。

关键核心部件及关键技术介绍：

1、极高真空获得：为保证使用设备生长出的薄膜材料纯度及分析仪器工作精度，首要课题是解决如何使设备获得极高真空问题，在设计中，我们采用如下措施：

（1）、真空机组选择：我们采用直联机械泵 + 复合涡轮分子泵 + 三

极溅射离子泵 + 钛钼丝升华泵 + 液氮冷屏来逐级排气，获得极高真空；

(2)、真空腔体全部采用0Cr18Ni9Ti不锈钢材料制造。耐高温部件材料采用高纯金属钽、高纯钼；高纯陶瓷等作原料。

(3)、零件表面全部进行机械加工，除去表皮，加工后的所有零件严格按照真空清洗工艺进行清洗，烘干后组装；

(4)、焊接部件采用保护气体工艺焊接。真空腔体焊接成型后，整体采用高温真空炉加热到800度24小时去气处理，将材料表面吸附气体及所含杂质在高温烘烤条件下除去。

(5)、整机组装后，真空腔室进行48小时的200度左右的加温烘烤除气。

最后我们获得了令人满意的超高真空指标： 1.2×10^{-8} Pa。为薄膜材料生长提供了清洁本底。

2、分子束源炉结构：分子束源炉作为MBE技术关键部件，是材料蒸发，确保外延生长的核心，在设计制造中，我们采用国产高纯金属钽箔作加热器，保温筒；高纯金属钼作骨架；高纯氮化硼作坩埚。组装严格按照真空装配工艺要求，在洁净室内装配，最后束源炉温度： $1300^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，可连续加热3000小时，达到了国外相同部件要求标准。

3、差分式高能电子衍射仪及CCD成像装置：由于该设备要求高能电子衍射仪能在真空度为 10^{-2} Pa下工作，而我们原有的高能电子衍射仪只能在真空度为 10^{-4} Pa条件下工作，不能满足要求，因此，我们与中科院物理所共同研究，并与有关单位共同合作，开发出了差分式高能电子衍射仪，使其能在 10^{-2} Pa下正常工作，既最高电压：25KV；束流：100 μ A；束斑：60 μm ；可完成超高真空下薄膜生长过程的原位监测。衍射斑点图像或光强振荡信号收集采用先进的CDD图像处理技术，由计算机整理，分析存储，打印。

4、样品传递及交接：

由于设备为五个真空室组成，样品在各个真空室之间灵活可靠的传递及交接成为本设备设计成功与否的关键所在，根据我们多年的技术积累，我们设计了长行程的磁力传递杆来完成各个真空室之间的样品传递；设计了机械手来完成在各个真空室内，样品的取放交接。最长的传递杆行程达到1.4米，可做直线及绕中心轴转动二个自由度动作；机械手可做直线及绕中心轴转动、摆动三个自由度动作。设备共使用了四根传递杆，五个机械手，很好的解决了样品传递及交接这个难题。

5、磁控双面成膜工艺实现：在设备研制中期，中科院物理所根据国际上相关课题研究工作进展，提出了能否在完成样品单面生长薄膜基础上，最好能完成另一面的生长。接到这一迫切要求后，我们没有退缩，

对已经设计完成的图纸进行修改，增加了转换工件架，修改了样品托结构，设计了新型的机械手来完成样品翻转动作，达到了用户目的，或得了用户极大赞誉。

6、氧化物薄膜工艺实现：在设备研制后期，我们遇到了整个设备制造的最大的难题，基于要研究的超导薄膜工艺需要，要求磁控溅射靶能在低气压达到20Pa时成膜。从理论上讲，一般磁控溅射靶应在气压达到3Pa左右下成膜，这一工作条件很容易实现，但在20Pa生长，带来最大的问题是靶辉光放电区域不易控制，引起了靶侧面起辉光，从而产生杂质影响，为解决这一难题，整个课题组进行反复理论计算，根据优化参数，设计加工制造出磁控靶，进行工艺实验，通过实验数据与理论数据对比，进一步优化设计，反复3次，终于制造出合格的磁控溅射靶。达到了用户要求。

7、设计减震装置，满足SPM探头工作时的减震要求。

由于原子力显微镜（SPM）为纳米级分辨率的精密分析仪器，其工作过程中不容许有任何微小的震动产生，对外界环境要求极其苛刻。为了确保SPM测量结果的准确性，设备必须有减震装置。由于设备比较庞大，结构复杂，震动源产生较多，有来自地面的，来自设备本身的，为彻底解决各种震动干扰问题，我们最终采用了钢梁支架、弹簧、减震橡胶等组成的综合减震装置。既将设备用300根拉力弹簧吊在固定支撑于地面的钢梁支架上，将设备整体拉离地面。为了更好的消除高频、低频振荡的干扰，在各钢梁的连接处加入减震橡胶。通过调节各点的弹簧数目使系统趋于平稳，因为单根弹簧只有5公斤的拉力，操作起来较为省力，一个成年人可以很容易的将总重量达到1.5吨的设备悬挂起来，并且没有任何危险。在用户现场验收结果表明，该设计完全满足SPM工作条件的要求

从接到研制任务到最后交给用户进行工艺实验，他们花费了近10个月的辛苦工作，为确保工期，他们经常加班到深夜，节假日也很少休息，都在研究室，车间，调试现场工作。辛勤的汗水终于换来丰硕成果，2003年初，设备在用户单位通过了验收。一台标志着尖端科学技术的仪器设备诞生了，在成绩面前，他们并没有满足，正向下一个奋斗目标前进。

撰稿人：刘连智（沈阳科仪公司）