

北京同步辐射装置软 X 射线光学实验站进展*

崔 明 启

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要 简单介绍了 BSRF 软 X 射线光学实验站反射率计装置, 并给出了近年来本组在软 X 射线多层膜方面研究的结果.

关键词 同步辐射, 软 X 射线光学, 反射率计, 多层膜研究

随着高科技和交叉学科的快速发展, 软 X 射线(波长 $\lambda=1-3 \text{ nm}$) 在光学、材料科学、生物科学、天文学、微电子学、等离子体诊断及同步辐射等领域均已显示出巨大的应用前景. 近十几年来, 国际上兴起的软 X 射线多层膜研究是该学科主要研究方向之一. 用重、轻元素材料制成的周期或非周期多层膜可使软 X 射线如同可见光一样进行反射、聚焦、成像等. 至今, 多层膜材料制备及研究已取得了相当大的进展, 其应用也得到广泛的发展, 由多层膜材料制备的软 X 射线单色器、偏振仪、多层膜衍射光栅等都已进入实用阶段^[1-3]. 同步辐射光源的优越特性, 更进一步推动了多层膜的研究和发展. 由软 X 射线多层膜构成的软 X 射线光学系统, 例如, 可观察活性生物样品的软 X 射线显微术成像系统、用于超大规模集成电路研究的软 X 射线掩膜缩小投影光刻系统、正入射软 X 射线天文望远镜等均处于研制阶段^[4-6], 近期内可望取得较大的突破. 国内自 80 年代初期开始进行多层膜研制工作, 至今已有十几个单位. 但由于没有好的光源(如同步辐射光源)和好的测试系统(如反射率测量装置), 软 X 射线多层膜一直难以得到定量评估, 严重影响这方面的进展.

北京同步辐射装置(BSRF)软 X 射线光学实验站正式成立于 1991 年年初, 是 10 个实验站中成立最晚的一个. 成立该实验站的宗旨是立足国内, 全面开展软 X 射线波段范围(1-30 nm)的各项研究工作, 其中包括同步辐射实

验装置的建立、软 X 射线光学元件的研制、软 X 射线光学特性的测量、软 X 射线探测器的发展及软 X 射线光学在各方面的应用等, 并争取在较短时间内为国内用户提供服务. 发展至今, 在短短 4 年时间内, 无论在装置建造、软 X 射线多层膜研究、软 X 射线特性测量诸方面, 还是在为用户服务方面均取得可喜成绩, 本文仅重点介绍反射率计装置和多层膜研究两项.

1 软 X 射线多层膜反射率计装置^[7]

该装置安装在北京同步辐射装置 3B1 光束线上, 全套装置由柱面镜、多层膜单色器、样品台、探测器、真空系统、数据获取及控制系统等组成. 它是由两台衍射仪构成. 第一衍射仪由单色器和随动摇臂(样品台和探测器在其上)组成. 第二衍射仪由样品台和探测器组成. 全套装置性能指标如下: 工作波段范围 1-20 nm, 单色器转角范围 $3^{\circ}-70^{\circ}$, 角分辨率 0.0075° ; 随动摇臂转角范围 $6^{\circ}-140^{\circ}$, 角分辨率 0.015° ; 样品台转角范围 $0^{\circ}-80^{\circ}$, 角分辨率 0.01° ; 探测器转角范围 $0^{\circ}-160^{\circ}$; 光束与光轴垂直夹角 $<0.1^{\circ}$.

该反射率计系统主要用于软 X 射线多层膜性能测量, 并可开展软 X 射线反射、吸收、透射及软 X 射线探测器标定等方面的工作. 在实

* 1995年7月26日收到

验中可采取两种工作模式:(1)波长扫描法:多层膜样品和探测器固定在给定的 θ , 2θ 角下,驱动单色器作波长扫描,测出多层膜反射率随波长的变化,从而得到多层膜在相应波长的反射率.该方法也适合于透射样品.(2)角度扫描法:单色器固定在某一出射波长,随动摇臂处于单色器 2θ 位置,样品和探测器从掠入射起始作 θ , 2θ 扫描,测得该波长在不同入射角下的反射率.

该装置从物理思想的提出到设计加工、安装调试、最终为用户服务,前后不到两年时间,于1992年末正式投入使用,这是国内第一台在软X射线波段能进行连续扫描、专门用于软X射线多层膜测量的装置.从正式使用到现在,已为十余个单位十几项课题提供了约2000h的机时,解决了长期以来国内各软X射线多层膜研究单位无法测量多层膜实测反射率的难题.

2 软X射线光多层膜研究

“同步辐射软X射线多层膜研究”是我组承担的国家自然科学基金研究项目.我们分别从下面四个方面进行了探讨.

2.1 多层膜反射机制的研究^[6]

我们从四个方面讨论了可能影响多层膜反射率的因素:第一是被广泛考虑的界面粗糙度;第二是界面间的扩散;第三是各层厚度的单调漂移,这是由于镀膜中气体压强变化或功率变化所致;第四是光学常数中消光系数的差异,这是膜系设计中运用的光学常数(通常是块状结果)和实际薄膜状态的光学常数间存在差别.我们从理论和实验方面系统地分析了这四种因素对多层膜反射率的影响,得到结果如下:在长波区($\lambda > 12$ nm),影响反射率主要因素是消光系数的变化;在短波区($\lambda < 10$ nm),四种因素对反射率均有影响,这就是在短波区很难提高反射率的主要原因.我们用该思想设计了模拟软件,其模拟结果与实测结果一致.并用该方法修正了我们的膜系设计软件.

25卷(1996年)第2期

2.2 多层膜能量分辨率的探讨

为了得到高反射率多层膜,通常膜材选择总是希望两种材料衬度 $|\delta_1 - \delta_2|$ ($\delta = 1 - n$, n 为材料的折射率)越大越好,但这将导致能量分辨率变差.我们提出一个在不降低反射率前提下提高能量分辨率的膜材选择规则:(1)在给定多层膜设计波长情况下,最好选择在这波长附近有吸收边的材料作交替层,而这两种材料消光系数越小越好;(2)两种材料的差别要选择适当,太大影响分辨率,而太小则影响反射率;(3)层厚比也要选择恰当,若不合适,既影响反射率,又影响分辨率;(4)在所有条件相同的情况下,越接近正入射,能量分辨率越高.

2.3 长波长高反射率多层膜的研制^[7]

长波长高反射率多层膜研制材料为Nb/Si,样品制备在多靶磁控溅射仪上进行,衬底为K9玻璃,主真空室本底真空为 4×10^{-6} Pa,充以0.6 Pa的氩气(Ar),Nb靶直流功率40 W, Si靶射频功率200 W.首先在衬底上镀了30 nm缓冲层,用以克服衬底的不平整度,在其上共镀了41层, Nb/Si周期厚度为4.56/9.32(nm).该样品在3B1束线反射率计上进行了测量,入射波长17.59 nm,在 42° 角附近得到32%的高反射率.

2.4 短波长多层膜的研究

由于短波长($\lambda < 4.5$ nm)多层膜必需有小的周期厚度($\sim 1-2$ nm)和较高的周期数(通常在100个周期以上),这给制备工艺带来很大困难,这就要求溅射装置非常稳定,每种靶材溅射速率在一定条件下保持不变.钨/碳(W/C)多层膜是公认的性能最稳定的材料.我们用小角衍射方法对W和C的相对溅射对膜质量的影响进行了研究,从对测试结果进行模拟发现,C在W上的界面粗糙度远小于W在C上的.为了形成均匀膜层,我们降低了C的溅射速率,在两组元溅射速率相差两个数量级的情况下,得到较好的膜层,且C仅几个原子层厚度便形成较好的膜层.另外,我们研制的W/Si多层膜(81层,周期厚度 $d = 3.3$ nm),在入射波

长为 1.34 nm 时获得 34% 的高反射率.

我们研究的多层膜单色器也已进入实用阶段,无论是长波还是短波,均得到很好的利用.

参 考 文 献

[1] E. Spiller, *Appl. Phys. Lett.*, **20**(1972), 234.

[2] T. W. Barbee et al., *Proc. SPIE*, **563**(1985), 2.

[3] J. M. Slaughter et al., *Proc. SPIE*, **1160**(1989), 235.

[4] F. Shaefers et al., *Proc. SPIE*, **984**(1988), 23.

[5] R. Catura et al., *Proc. SPIE*, **984**(1988), 214.

[6] E. Spiller et al., *Optical Engineering*, **30**(1991), 1008.

[7] Cui Mingqi, Miao Jianwei et al., *Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res.*, **A359**(1995), 151.

[8] Miao Jianwei, Cui Mingqi et al., *ACTA PHYSICS SINICA*(物理学报海外版), **4**(1995), 130.

北京同步辐射装置3B1B 光束线和生物光谱实验站*

王 渭 管宇明

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

李崇慈 张志英 盛毅

(中国农业大学应用物理系, 北京 100094)

赵南生

(北京天文馆, 北京 100044)

3B1B 光束线是北京同步辐射装置(BSRF) 3B1 光刻束线的一条分支束线,其光路和布局如图 1 所示.从北京正负电子对撞机(BEPC)

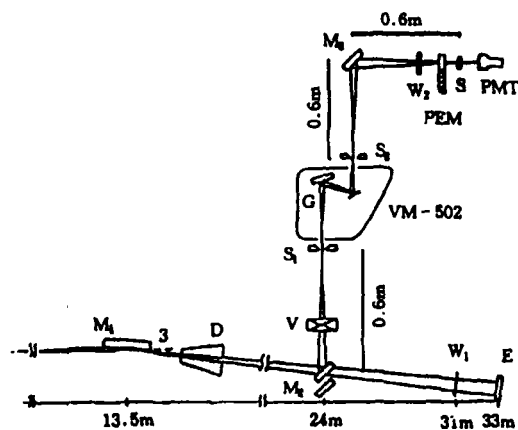


图1 3B1B 光束线光路图

储存环 3B1 弯转磁铁处引出的同步辐射水平线偏振光,光源水平方向发散角为 ± 3.75 mrad, 竖直方向发散角为 ± 0.2 mrad, 在距源 13.5m

处由一块柱面准直扫描镜 M_1 反射后,水平方向的汇聚角为 ± 1.25 mrad, 竖直方向发散角不变.在距源 24 m 处,有一块可升降的旋转抛物面反射镜 M_2 . 它降下时,光通过供其他实验站使用;升起时,将光反射聚焦于上方 0.6 m 处生物光学实验站光栅单色器的入射狭缝 S_1 上,经单色器单色化后,由出射狭缝 S_2 射出,再由 S_2 上方 0.6 m 处的旋转椭球面反射镜 M_3 反射后,聚焦于水平 0.6 m 处的样品点 S 处.

3B1B 光束线的主要参数如下:

(1)光子波长可调范围: 170 — 500 nm.

(2)单色器: ARC VM-502 0.2 m Seya-Namioka 型像差校正凹面全息光栅(1200 G/mm).

(3)波长调整范围: < 30 nm — $2.2 \mu\text{m}$.

(4)聚焦光斑尺寸: $2.66 \text{ mm}(H) \times 0.54 \text{ mm}(V)$.

* 1995年7月26日收到.