

上海光源 XAFS 光束线高次谐波抑制镜系统研制

傅 远 薛 松 魏向军 姜 政 顾颂琦 陈 明 黄宇营 余笑寒
(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 讨论了上海光源(SSRF)XAFS 光束线高次谐波抑制镜箱的研制。高次谐波抑制镜箱为 XAFS 实验提供高纯度光谱,主要机械结构包括镜子夹持机构、平移切换机构、三点调整机构。在机构设计中进行了分析与计算。根据测试获得的摇摆曲线对高次谐波抑制镜箱性能进行评估。
关键词 高次谐波,抑制,平移切换,三点调整,摇摆曲线
中图分类号 TH6, TH12

XAFS 实验对光谱纯度要求很高。抑制晶体单色器的高次谐波含量,是得到高纯度光谱的有效方法。单色器采用 Si(111)或 Si(311)晶体可消除 2 次谐波,但是奇数次谐波并未得到抑制。事实上,更高次的谐波的含量很少,只要能抑制 3 次谐波即可满足实验要求。对于聚焦模式,聚焦镜和反射镜起到低通滤波器的作用,当光子能量大于 12 keV 时,可保证高次谐波含量小于 10^{-4} 。对于非聚焦模式,可用双晶失谐来抑制高次谐波,当光子能量为 10 keV 时,失谐角达到 0.005° 时,3 次谐波含量小于 2×10^{-4} ,光通量损失不到 20%。但光子能量更低时,现有准直镜和聚焦镜不足以抑制高次谐波,采用双晶失谐法对高次谐波抑制有一定作用,但由于 Darwin 宽度变大,要求失谐角大,运行不便。为使光子能量低

至 3.5 keV 时仍有很高的光谱纯度,须有专门用于低能区高次谐波抑制镜^[1]。考虑到反射镜的造价成本,我们把谐波抑制镜置于光束线末端距光源 41 m 处,采用两个小平面对称抑制高次谐波,两块平面镜相互平行,长宽高尺寸分别为 260、70、30 mm 和 260、83、30 mm^[2]。

1 高次谐波抑制镜系统设计

XAFS 光束线是上海光源首批建设的七条光束线之一,主要用于 XAFS 实验。我们用一套抑制镜系统抑制高次谐波以满足 XAFS 实验要求。表 1 为该高次谐波抑制镜的设计参数。

表 1 高次谐波抑制镜相关设计参数
Table 1 Design parameters of harmonic rejection mirror.

能量范围 Energy range /keV	3.5–12.0
面型 Mirror type	Flat reflection mirror
两平镜间距 Mirror distance /mm	0.6
掠入射角 Grazing angle /mrad	5
表面镀层 Cladding type	Rh、Si、Ni
镀层宽度 Cladding width /mm	20
镀层厚度 Cladding thickness /nm	50
面型误差 Slope error /arcsec	~2
表面粗糙度 Surface roughness /nm	~0.3
真空度 Vacuum /Pa	10^{-6}

表 2 给出了高次谐波抑制镜两块镜子的调整要求,包括镜子投角、滚角以及在水平面内垂直光束线方向(X 方向)、竖直方向(Z 方向)的调节范围等。所有驱动调整方式均为电动。

第一作者:傅远,男,1979 年出生,2006 年于中国科学院应用物理研究所获博士学位
收稿日期:2008-07-08,修回日期:2008-08-24

高次谐波抑制镜机构需满足以下功能及要求：
(1) 反射镜保持平行；(2) 反射镜面间距调整；(3) 反射镜的夹持；(4) 高次谐波抑制镜的入射角调整；(5) 高次谐波抑制镜投角监测；(6) 光束位置监测；(7) 反射层切换(X 方向)及位置指示；(8) 非工作状态时

采用 X 方向平移将高次谐波抑制镜移出光路；(9) Z 方向运动。根据以上要求，整个机构主要可以分为三部分：晶体夹持机构、平移切换机构、三点调整机构。整体设计图如图 1 所示。

表 2 高次谐波抑制镜调节要求
Table 2 Adjustment requirements of harmonic rejection mirror.

参量 Parameters	调整范围 Adjustment range	分辨率 Resolution	重复精度 Repeatability
投角 Pitch /°	±2	<0.003	<0.005
滚角 Roll /°	±5	<0.01	<0.02
Z Direction /mm	±20	<0.01	<0.02
X Direction /mm	±45	<0.1	<0.2

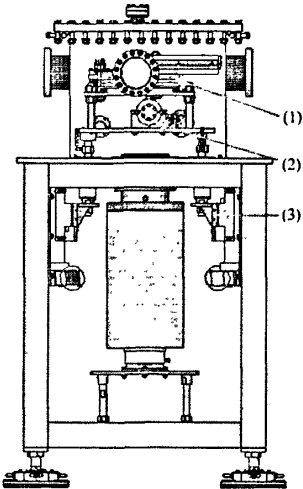


图 1 高次谐波抑制镜结构示意图
1. 晶体夹持机构 2. 平移切换机构 3. 三点调整机构
Fig.1 Sketch of the harmonic rejection mirror.
1. Mirror-holding system 2. Horizontal switch system
3. Three-point adjusting system

晶体夹持机构由多块铝板装配成二个矩形槽，在其中装入 0.2 mm 厚垫片。装入镜子后，在不同方向采用螺栓固定。装配完成后保持两块镜子平行，间距 0.6 mm。通过三座标仪可检测两块镜子之间的关系，由此调节装配螺栓，实现设计要求。

平移切换机构可实现镜子的横向移动。电机驱动滚珠丝杠，通过联动机构，带动整个晶体夹持机构在直线导轨上进行 X 方向运动。采用的直线导轨的导柱和直线轴承间的最大间隙为 0.008 mm。滚珠

丝杠有效行程为 300 mm，偏差为 0.023 mm。整个机构处于波纹管密封之中，和镜箱内的高真空状态隔离。此机构左右两端固定，在电机带动下，丝杠带动机构中间的丝母部前后移动，根据丝母外接的连接机构，推动整个平台进行横向移动^[3]。

镜子表面镀层为 Rh、Si、Ni 三层。每切换到一个镀层中心，由光电开关给出相应指示。

通过三点调整机构，可实现机构的升降以及投角、滚角调整。投角上下运动有 3 个导向副约束，均为直线轴承和导杆配合完成。横向和纵向移动通过电机带动丝杠进行移动，底面和侧面有直线轴承起导向作用，可同时移动并保证移动精度。整个三点调整机构共采用三个光栅尺，便于对三个垂直运动机构进行调整及监控。

2 高次谐波抑制镜系统性能测试

高次谐波抑制镜箱加工完成运抵上海光源后，进行了性能测试。在第二反射镜的下表面测量三点，构造一个平面 A；在第一反射镜上表面测量四个点，计算每点到平面 A 的距离，如图 2 所示。所测得点 1、2、3、4 到面 A 的距离分别为 0.610、0.613、0.591 和 0.590 mm。所得其他结果见表 3。

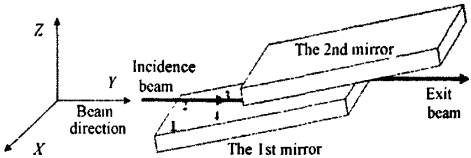


图 2 高次谐波抑制镜镜子测试示意图
Fig.2 Sketch for testing the harmonic rejection mirror.

表 3 高次谐波抑制镜两平行镜子测试结果
Table 3 Test results of harmonic rejection mirror.

测试点 Points	1-4	2-3	1-2	3-4
两点间距 2-points distance /mm	96.869	95.492	63	63
两点到面 A 的距离差 Distances difference of 2-points with plane A/mm	0.02	0.022	0.003	0.001
两面夹角 Angle of two planes /°	0.012(pitch)	0.013(pitch)	0.003(roll)	0.001(roll)
平行度 Parallelism /mm	0.02	0.022	0.003	0.001
	Y direction	Y direction	X direction	X direction

根据以上测试结果可得：测量结果显示两块反射镜的面间距和平行度满足要求。

横向反射层切换测试中选用标定的负限位作为参考点，横向四个工作位置的切换由一个五相步进电机的运动步距完成，横向运动能够满足要求。

投角、滚角、Z 方向高度调整测试中，反射镜组建的姿态及高度调整由三点支撑的三个步进电机完成滚角、投角、高度的运动范围、分辨率及重复精度均能够满足要求。

3 实验结果及结论

高次谐波抑制镜箱安装于 XAFS 光束线实验站棚屋内，如图 3 所示。

未使用谐波抑制镜时，双晶单色器在 5 keV 下的摇摆曲线，如图 4(a)所示，谱图是一次波(5 keV)和高次谐波的叠加。使用谐波抑制镜时双晶单色器

在 5 keV 下的摇摆曲线，如图 4(b)所示，谱中高次谐波已去除，只剩下一次波(5 keV)。

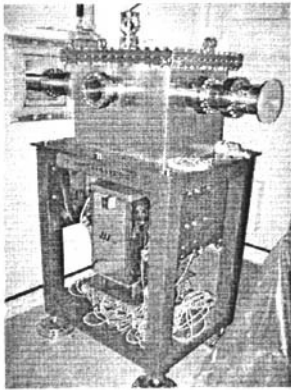


图 3 高次谐波抑制镜箱
Fig.3 Harmonic rejection mirror system.

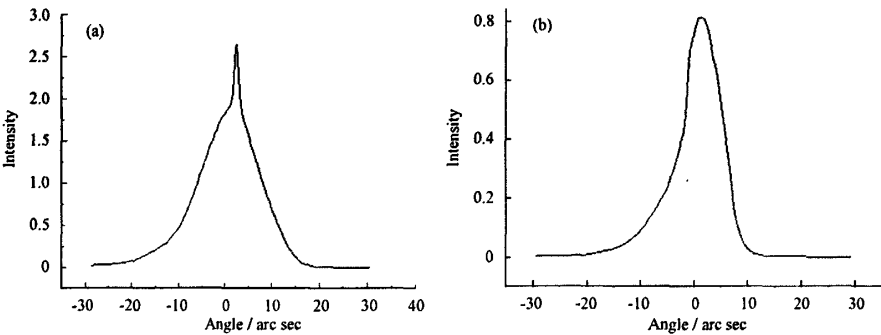


图 4 双晶单色器在 5 keV 下的摇摆曲线. (a)未使用高次谐波抑制镜, (b) 使用高次谐波抑制镜
Fig.4 Rocking curve of the double-crystal monochromator with (a) and without (b) the HRM.

通过图 4 分析，可以清楚表明，在使用高次谐波抑制镜后，高次谐波已经得到了很好的抑制，为 XAFS 实验得到高纯度光谱提供了可靠的保障。

参考文献

1 余笑寒. XAFS 光束线站设计报告, 2006. 27-29

YU Xiaohan. Design report of XAFS beamline, 2006. 27-29

2 庞振基, 黄其圣. 精密机械设计. 第一版. 北京: 机械工业出版社, 2006. 310-328

PANG Zhenji, HUANG Qisheng. Precision mechanism design. 1st ed. Beijing: Publishing House of Machinery

Industry, 2006. 310-328

- 3 魏向军, 傅远. XAFS 光束线高次谐波抑制镜技术参数.
上海光源技术文件, 2007. 1-6

WEI Xiangjun, FU Yuan. XAFS beamline harmonic
rejection mirror technical parameters. Technical document
of SSRF, 2007. 1-6

The development of harmonic rejection mirror on XAFS beamline at SSRF

FU Yuan XUE Song WEI Xiangjun JIANG Zheng GU Songqi
CHEN Ming HUANG Yuying YU Xiaohan

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract This article discusses the development of harmonic rejection mirror (HRM) on the XAFS beamline at Shanghai Synchrotron Radiation Facility(SSRF). The HRM can apply pure spectrum for XAFS experiment. The HRM mechanism includes mirror holding system, horizontal switch system and three-points adjustment system. We make analysis and calculation in mechanism design. At last we evaluate the HRM capability based on the rocking curve got in test.

Key words Harmonic, Rejection, Horizontal switch, Three-points adjustment, Rocking curve

CLC TH6, TH12