

4B9B 束线低能分支的性能改进

钱海杰¹⁾ 阎永廉 刘凤琴 奎热西 陶小平

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 分析了北京同步辐射实验室 4B9B 原束线低能分支的构造及弊病,在不影响束线高能分支性能及总体机械结构的基础上提出了改进方案. 详细介绍了该设计方案和光束线调试工作及出光后束线的性能测试工作,该测试结果完全符合束线的设计. 该束线在同步辐射专用光实验中充分发挥了改进后的优势,取得了令人满意的结果.

关键词 同步辐射 软 X 光束线 角分辨光电子能谱

1 引言

北京同步辐射实验室 4B9B 束线^[1,2]为光子能量 10—1000eV 的软 X 光光束线,束线低能分支光子能量范围为 10—60eV,主要用于角分辨光电子能谱实验. 在实验站分析室的真空系统内,角分辨光电子谱仪能在 270°范围内转动,从而实现改变分析器探测角度、样品及同步光入射角度,在同步辐射光源条件下的角分辨光电子能谱实验不仅可以利用分析器角度的变化,更重要的则是可以改变入射光的能量,使得两者充分结合,从而得到更为丰富的表面能带信息. 该分支自 1993 年 6 月调试完毕投入使用后,一直存在着聚焦不好、实验采谱时间过长等问题. 其主要原因是由于角分辨光电子谱对样品所发射的光电子以较小的角度接收(实验站所用能谱仪的接收角为 4°),在样品上只有较小范围内所发射的电子才能进入分析器而被探测到,这就要求在实验中所用的光斑尺寸应尽可能小,但原束线低能分支恰恰没有很好地符合这一要求.

2 对原束线的分析

从图 1 中可知,光源垂直方向是经超环面镜 M1 聚焦于入射狭缝 S1,然后经球面光栅聚焦于出射狭

缝 S2,再经柱面镜 M3 成像于样品位置. 水平方向则是经超环面镜 M1、球面光栅聚焦、以及柱面镜 M2 的发散而成像于样品位置. 按此设计,到达样品位置光斑(即光源的像)大小为

$$\begin{aligned} \text{水平方向尺寸: Image} &= \frac{R_{11M1}}{R_{M10}} \cdot \frac{R_{gC}}{R_{11G}} \cdot \frac{R_{PM2}}{R_{gM2}} I_{\text{source}} \\ &= 1.435 I_{\text{source}}, \end{aligned}$$

$$\text{垂直方向尺寸: Image} = \frac{R_{PM3}}{R_{M3S2}} \cdot \frac{R_{S2G}}{R_{GS1}} = 11.7 \mu_{\text{in}},$$

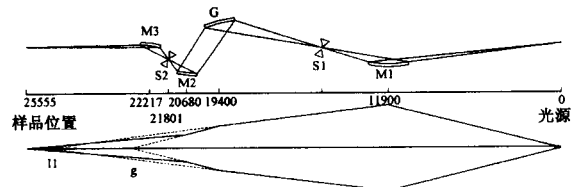


图 1 改前束线的光路图

式中 R_{11M1} 为镜 M1 的水平方向像距, R_{M10} 为镜 M1 的水平方向物距, R_{gC} 为光栅的水平方向像距, R_{11G} 为光栅的水平方向物距, R_{PM2} 为镜 M2 的水平方向像距, R_{gM2} 为镜 M2 的水平方向物距, R_{PM3} 为镜 M3 的垂直方向像距, R_{M3S2} 为镜 M3 的垂直方向物距, R_{S2G} 为光栅的垂直方向像距, R_{GS1} 为光栅的垂直方向物距. I_{source} 为光源水平大小, μ_{in} 为入射狭缝的大小.

在同步辐射专用光条件下,光源大小约为 6mm × 3mm,因而在样品处的光斑尺寸为 9mm × 5mm 左

2003 - 06 - 20 收稿, 2003 - 08 - 10 收修改稿

1) E-mail: qianhj@ihep.ac.cn

右(取入射狭缝 $500\mu\text{m}$). 在兼用光实验时,水平方向的尺寸则更大,约为 20mm . 垂直方向大小虽然由于入射、出射狭缝的限制而没有变得更大,但光强已经受到了极大的损失,不利于实验.

3 改进方案

束线改进方案必须以原束线的总体机械结构、不影响束线高能分支的性能为前提,尽可能地提高束线物像比为目的. 由此设计了以下的可行性方案,束线的光路图如图 2 所示.

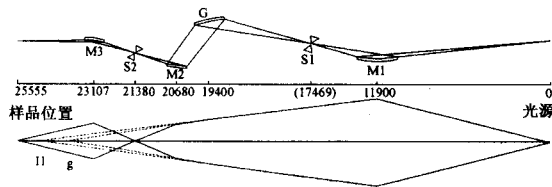


图 2 改后束线的光路图

原光束线中的水平发散柱面镜 $M2$ 更改为水平聚焦柱面镜,垂直聚焦柱面镜 $M3$ 改为超环面镜. 两镜子的参数分别由以下公式^[3]给出

$$\text{弧矢面: } \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} = \frac{2\cos A}{\rho}$$

$$\text{子午面: } \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} = \frac{2}{R\cos A}$$

其中 $R1$ 为像距, $R2$ 为物距, R 和 ρ 分别为所在面的镜子子午半径和弧矢半径, A 为镜子的半包络角. 代入束线参数可得

水平聚焦柱面镜 $M2$: 弧矢半径 $\rho = 721.66\text{mm}$.
 超环面镜 $M3$: 弧矢半径 $\rho = 180.03\text{mm}$,
 子午半径 $R = 22782.6\text{mm}$.

并且由光路图可知改进后到达样品位置光斑(即光源的像)大小为

$$\text{水平方向尺寸: } Image = \frac{R_{PM3}}{R_{MS2}} \cdot \frac{R_{I1M1}}{R_{M10}} \cdot \frac{R_{I1G}}{R_g}$$

$$\frac{R_{gM2}}{R_{S2M3}} I_{\text{source}} = 0.292 I_{\text{source}}$$

在束线出射狭缝全开时,垂直方向尺寸:

$$Image = \frac{R_{PM3}}{R_{MS2}} \cdot \frac{R_{S2G}}{R_{in}} u_{in}$$

零级光时 R_{in} 的值由以下算式给出:

$$\frac{1}{R_{in}} + \frac{1}{R_{S2G}} = \frac{2}{R\cos\theta}$$

式中 R_{in} 为入射狭缝 $S1$ 与球面光栅 G 之间的距离, R 为光栅半径, θ 为光栅的半包络角, u_{in} 为入射狭缝

大小. 所以通过计算可得,在样品位置处零级光斑的垂直方向尺寸为: $H = 1.453 u_{in}$.

图 3 为专用模式下用 SHADOW 程序对束线模拟计算的结果. 根据束线追迹计算结果,确定了两

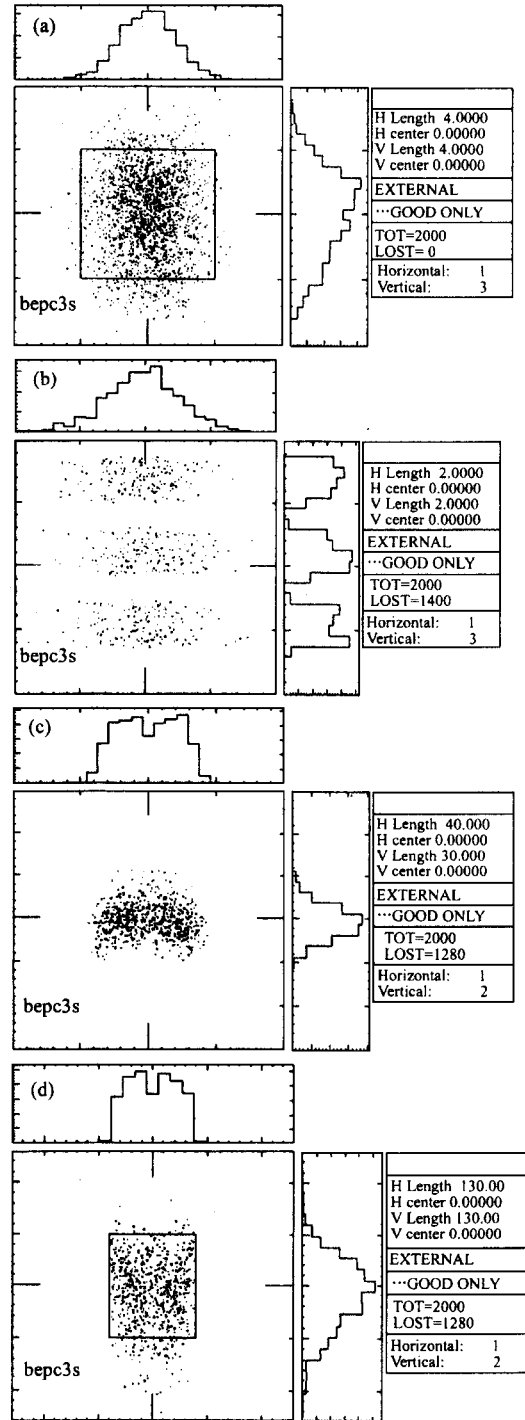


图 3 束线模拟计算的结果

(a) 入射、出射狭缝全开时样品位置处的光斑(方框 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$); (b) 入射狭缝为 $550\mu\text{m}$ 时在出射狭缝上的能量分辨(光子能量为 $43.5 \pm 0.25\text{eV}$); (c) 水平聚焦柱面镜 $M2$ 上的光斑分布; (d) 超环面镜 $M3$ 上光斑的分布情况.

块后聚焦镜的大小尺寸:水平聚焦柱面镜尺寸:
40mm × 30mm;超环面镜尺寸:40mm × 50mm.

4 结果

在对光束线的各段管道及镜座支架等部件按设计方案重新加工安装后,又进行了光束线的准直.在同步辐射专用光实验期间,进行了束线的调试.调试后,在入射、出射狭缝全开(约1.5mm大小)的情况下,样品位置的光斑大小约为2mm × 2mm左右,与设计值完全相符.

在实验期间还对束线性能进行了测试,以下为束线的分辨率及改进前后的实验结果的比较.在图4(a)中为相同条件下计数率比较,可见改后有约一个量级的提高.在图4(b)中,曲线为在入射狭缝390 μ m,出射狭缝全开的情况下,光子能量为43.6eV所测得的铁样品费米边^[4].测得实验分辨 ΔE_m 为: $\Delta E_m = 0.2\text{eV}$.由于 $\Delta E_m^2 = \Delta E_n^2 + \Delta E_a^2 + \Delta E_s^2$,其中, ΔE_n 为自然线宽, ΔE_a 为能量分析器分辨, ΔE_s 为光源分辨.所用分析器 $\Delta E_a = E_p(d/2R + \alpha^2/4) = 0.095\text{eV}$ (其中 E_p 为分析器过能、 d 为分析器狭缝直径、 R 为分析器半径、 α 为分析器接收角^[5]).所以该光子能量下束线能量分辨为0.176eV,所以此能量下的分辨能力为223,已经能完全满足实验的要求.

由以上比较可见,这次束线改进工作收到了很好的效果,大大地提高了实验采谱计数率,从而缩短

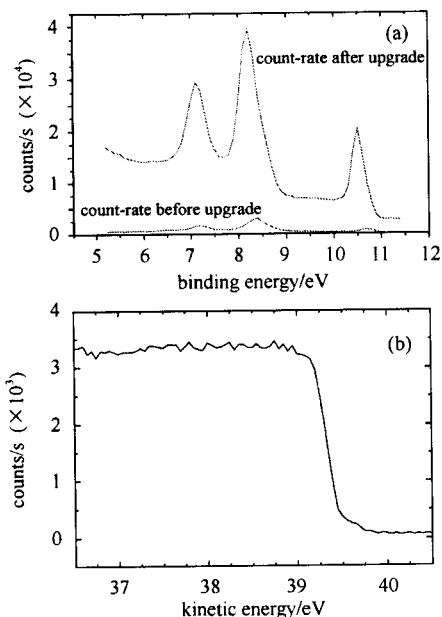


图4 束线改进后分辨性能及束线改进前后计数率比较

(a)束线改进前后实验结果比较(铜(111)表面态,光子能量15.2eV,正出射方向);(b)束线改进后的分辨率测试结果

了实验采谱时间,加快了实验的进度及质量,满足了各用户的实验要求并取得了很好的结果.同时也使得北京同步辐射实验室光电子能谱实验站成为国内最早能在此能量范围内的同步光下开展角分辨光电子能谱工作的实验站,北京大学物理系、浙江大学物理系、物理所等科研院所相继完成了其重要课题的研究.

参考文献(References)

- 1 Edited by Institute of High Energy Physics. Research Report of Beijing Synchrotron Radiation Facility, National Laboratory of Beijing Electron Positron Collider, 1992. 1 (in Chinese)
(中国科学院高能物理研究所编辑.北京同步辐射装置研制报告,北京正负电子对撞机国家实验室,1992.1)
- 2 SHU De-Ming et al. Files of 4B9B Beamline. Institute of High Energy Physics, CAS, 1990 (in Chinese)
(舒德明等.同步辐射4B9B束线档案.中国科学院高能物理研究所,1990)
- 3 Koch E E, Eastman D E, Farge Y. Handbook on Synchrotron Radiation, 1983, 1A
- 4 WANG Jian-Qi, WU Wen-Hui et al. Introduction To Electron spectrum (XPS/XAES/UPS), Beijing: Natinal Defence Industry Press, 1992 (in Chinese)
(王建棋,吴文辉等.电子能谱学(XPS/XAES/UPS)引论.北京:国防工业出版社,1992)
- 5 VSW Scientific Instruments Corporation. VSW Instruction Manual on HA54 Hemispherical Analyzer, 1989

Performance Improvement of the Low Energy Branch of 4B9B Beamline in BSRF

QIAN Hai-Jie¹⁾ YAN Yong-Lian LIU Feng-Qin Kurash Ibrahim TAO Xiao-Ping

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract 4B9B is a soft X-ray beamline in Beijing Synchrotron Radiation Laboratory, the photon energy range is 10—1000eV, photon energy of the low energy branch is from 10—60eV, mainly for angle resolved photoemission spectrum. Within years operation, some experiments were limited by the poor count-rate. This article analyzed the shortcomings on the design of the low energy branch, introduced a new scheme of beamline upgrade which need to change two focusing mirrors, meanwhile the mirror parameters was calculated and tracing results of the new beamline was presented. During SR beam time, performance of the beamline was tested after the improvement work, which shows a much more smaller focused image on sample position, and meanwhile the count-rate of experiments with upgraded are increased by more than one order. The beamline is put into use after the upgrade.

Key words synchrotron radiation, soft X-ray beamline, angle resolved photoemission spectrum