

BSRF 光电子能谱仪光源尺寸要求研究及束线改进

钱海杰¹⁾ 阎永廉 苏润 王嘉欧

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 不同的光电子能谱仪有不同的探测面积和接收角度,在所探测范围内实验光源的单位面积强度直接决定了实验计数率的高低,因此了解所用能谱仪在什么样大小的光源尺寸下实验以获得最佳的实验条件就显得很重要.本文分析了北京同步辐射实验室光电子能谱仪在 4B9B 光束线所提供的光源下对能谱仪测试的实验结果,从现在所用的光源尺寸大小上讨论了以往实验计数及分辨能力不很理想的原因,提出了在现有能量分析器条件下 4B9B 光束线的光源尺寸要求.从而进一步确定了光束线的高能分支增加后聚焦镜以改善聚焦的改进方案,同时对束线的低能分支也作了相应的改进设计.

关键词 同步辐射 软 X 光束线 光电子能谱

1 引言

北京同步辐射实验室光电子能谱实验站主要使用两台光电子能量分析器,分别为 VSW HA150 能量分析器和 VSW HA54 能量分析器^[1],分上下两层,与之相连的是 4B9B 光束线的高能分支和低能分支,高能分支光子能量范围为: 65—1000eV,用于角积分光电子能谱实验;低能分支光子能量范围为 10—50eV,用于角分辨的光电子能谱实验.现束线的高能分支光路(见图 1)为一块超环面预聚焦镜安置于距光源 12m 处,入射角 87°,接收度 4.5mrad×1mrad.预聚焦镜的垂直聚焦光斑设计在距光源 18m 处的入射狭缝上,而水平聚焦光斑设计在样品位置附近.为了使光束线在以前加速器低流强的运行情况下获得较高的传输效率,高能分支中只应用了 2 个光学元件,一个是超环面的预聚焦镜,另一个是光栅.束线单色器在高能分支中使用了 3 块球面光栅,覆盖了光束线所提供的能量范围.光束线运行模式由最早设计的罗兰圆模式改为固定入射狭缝而移动出射狭缝以满足光栅的聚焦条件,即 Dragon 模式^[2],但由于出射狭缝距离样品位置较远(距离移动中心为 1.23m),且其移动范围又比较大,最远为 0.7m.根据追迹结果可以发现,虽然光束线在出射狭缝处的聚焦情况还比较理想,光斑尺寸的峰位半高宽约 1.5mm×0.2mm,但到样品位置时已经

有很大的发散,约 5.5mm×3mm (FWHM).不仅样品位置的光斑较大,而且其光斑的尺寸随光子能量的变化也很大.

实验站和束线^[3, 4]投入使用以来,主要进行了更换前置镜^[5]和低能分支改进^[6]两次改造,束线性能基本上能满足实验的要求.但在高能分支一些实验中也觉得不能获得较高的分辨能力;实验计数和分辨率矛盾较为突出.

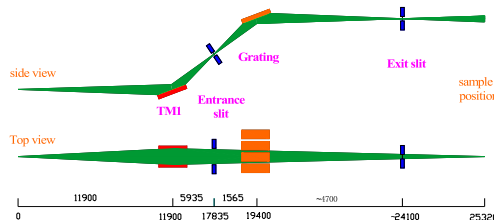


图 1 原光束线高能分支光路图

随着 BEPC II 改造工程的推进,4B9B 光束线将面临加速器改造后存在的热负荷等问题而不得不同时作相应的改进,需要更换一些光学元件和增加冷却机构.为充分利用好这次改进机会,在光束线改进方案的设计过程中,需要对实验站的光源尺寸要求进行研究,因此我们就高能分支的光源尺寸对实验结果的影响进行了一些测试.

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

2 实验及分析

选定光通量较大的三号光栅光子能量为158eV作为实验光源, 入射狭缝为390 μm , 出射狭缝为500 μm , 用荧光粉样品测得在样品位置的光斑大小约为6mm \times 5mm. 在此光源下, 用三片不同面积的清洁硅片(4mm(V) \times 8mm(H), 4mm(V) \times 4mm(H), 2mm(V) \times 8mm(H))作2P能级的测试, 实验结果见图2, 可以看到不同面积样品的采谱计数是相同的, 因此现在样品位置的光源尺寸对于现有的能量分析器来说, 其尺寸已经过大, 光源尺寸至少应该在最小一块样品大小以内. 然后在下一步的实验中, 采用了3mm(H) \times 1mm(V)的硅片, 分别沿着水平和垂直方向运动, 以得到两维方向上的位置对探测结果的影响.

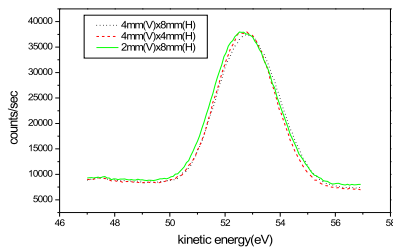


图2 不同面积单晶硅片的2P能级谱

图3(a)为样品沿水平方向扫描获得的实验结果, 从图3(b)的统计可以得到在水平方向上小于5.8mm的探测范围内实验有较高的计数率, 由于测试时样品和入射光约成45°, 因此要求光源在水平方向的尺度应小于 $5.8/\sqrt{2} = 4.1\text{mm}$.

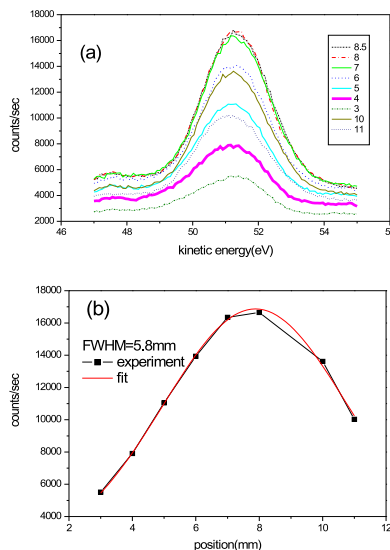


图3 不同水平位置的实验结果

(a) 不同水平位置的硅2P; (b) 水平位置和计数率关系.

样品沿垂直方向扫描的实验结果见图4, 测得样品位置对计数率的峰位半高宽为0.7mm. 从图4(c)的统计看, 样品位置对能量的峰位半高宽为0.88mm. 因此要求光源在水平方向的尺度应好于0.7mm. 另外, 在垂直方向的移动将影响测得的能量位置, 也就是说大尺寸样品所测得的实验结果相当于上述细条状样品在各个位置的叠加(图5), 这就大大影响了能谱仪的最终分辨能力.

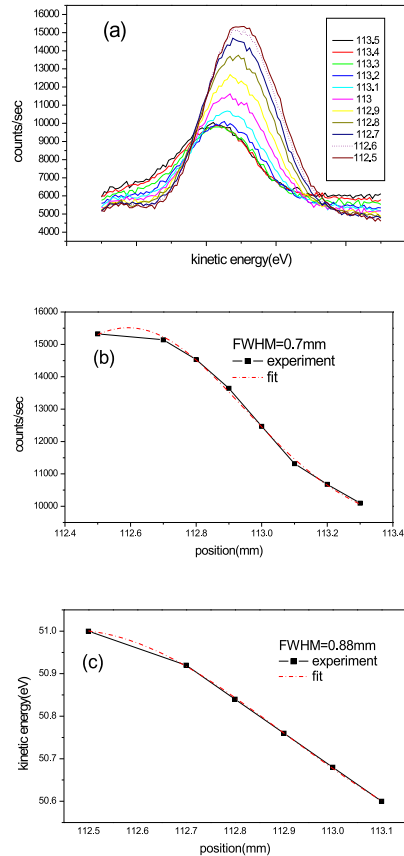


图4 不同垂直位置(细扫)的实验结果

(a) 不同垂直位置(细扫)的硅2P; (b) 垂直方向位置和计数率关系; (c) 垂直方向位置和能量关系.

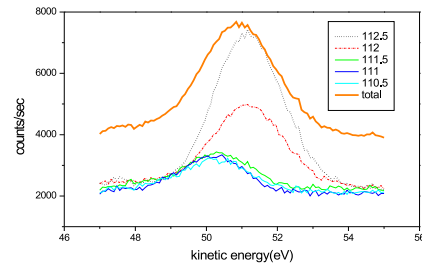


图5 不同垂直位置(粗扫)的实验结果

3 结论与相应光束线改进方案简介

实验结果表明现在4B9B光束线提供实验的光源尺寸, 尤其是垂直方向的光源尺寸已经影响到了实验

的分辨和计数, 能谱仪需要聚焦更好的实验光源. 因此在随后的束线改进设计中确定了给高能分支增加后聚焦镜的方案.

对于束线的低能分支, 在上一次改进中将光斑尺寸从原来的9mm(H)×5mm(V)缩小到了2mm(H)×3mm(V), 实验的计数率有了数量级的提高, 但由于其用于角分辨的光电子能谱实验, 分析器接收比角积分更小, 且在分析器中使用的狭缝为直径1mm的圆孔, 所以如果能将原来束线的光源再减小将能使实验的计数进一步提高.

束线高能分支改进方案的光路见图6, 改进主要包括3个方面, 即: 增加了前置聚焦镜的水冷装置; 增加后聚焦镜以满足能谱仪的需要; 根据设计需要, 加长了单色器的入射臂, 这也有助于分辨率的提高.

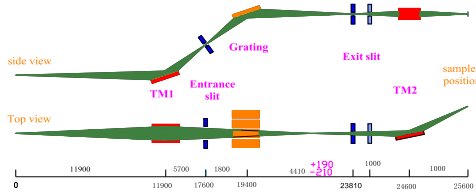


图 6 束线高能分支改进光路图

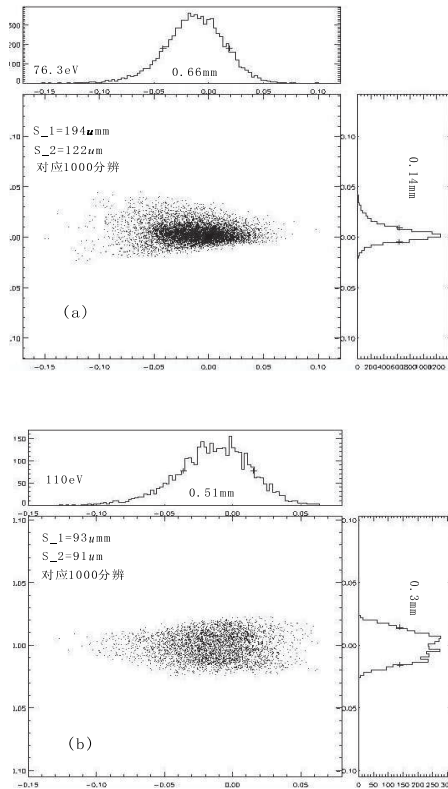


图 7 高能分支样品位置光斑
(a) 高能分支样品位置光斑(聚焦位置); (b) 高能分支样品位置光斑(离焦位置).

高能分支改进后, 出射狭缝位置前后移动最大的是3号光栅, 图7(a), (b)为在样品位置光斑的追迹结果, 当出射狭缝位置在满足后超环面镜的聚焦条件和最差聚焦条件下, 样品位置的光斑尺寸均能好于0.6mm(H)×0.3mm(V)(FWHM).

光束线低能分支的改进光路(图8)受到了高能分支光路的制约, 最后的聚焦镜只能安装于高能后聚焦镜位置的下方, 为了能提高反射率, 光栅的包含角由原来的142°增加到了160°, 随后的平面反射镜包含角也由原来的138°增加到166°. 追迹结果见图9(a), (b)当出射狭缝在满足后超环面镜的聚焦条件或在最差聚焦条件下, 样品位置的光斑尺寸均能好于0.7mm(H)×0.4mm(V) (FWHM). 且在高于11eV后的大部分光子能量范围内, 垂直方向的半高宽均能好于0.2mm.

改进设计的光束线光斑尺寸符合实验站能谱仪的需要.

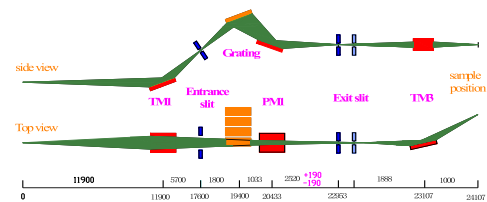


图 8 束线低能分支改进光路图

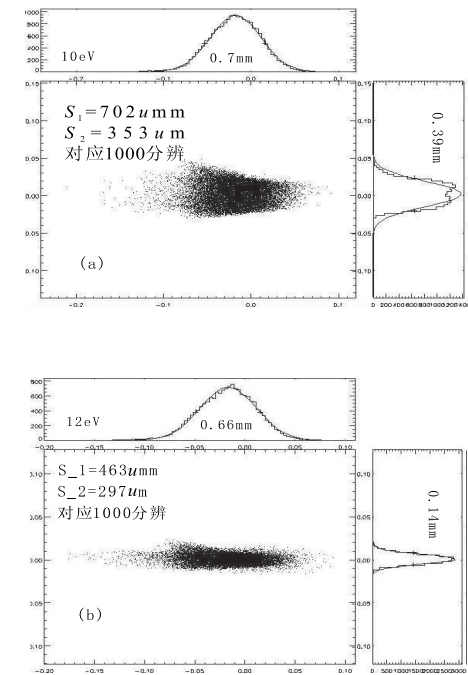


图 9 低能分支光斑
(a) 出缝在最差聚焦条件下的低能分支光斑; (b) 出缝在聚焦条件下的低能分支光斑.

参考文献(References)

- 1 VSW Scientific Instruments Corporation. VSW Instruction Manual on HA150, HA54 Hemispherical Analyzer, 1989
- 2 CHEN C T, Plummer E W. Nucl. Instrum. Methods, 1984, **222**: 103
- 3 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)
(中科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)
- 4 SHU D, WANG W, LIU W et al. Rev. Sci. Instrum., 1989, **60**(7): 2085
- 5 YAN Yong-Lian, LIU Feng-Qin, YANG Yi et al. Improvement of Toroidal Mirror in Beamline 4B9B, In: Annual Report of BSRF, 1993, 26, (in Chinese)
(阎永康, 刘凤琴, 杨易等. 4B9b 束线超环面镜的改进. 见: 北京同步辐射装置年报, 1993, 26)
- 6 QIAN Hai-Jie, YAN Yong-Lian et al. HEP & NP, 2004, **28**(3): 321 (in Chinese)
(钱海杰, 阎永康等. 高能物理与核物理, 2004, **28**(3): 321)

Study on Beam Spot Size Requirement in PES, BSRF and the Beamline Upgrade

QIAN Hai-Jie¹⁾ YAN Yong-Lian SU Run WANG Jia-Ou

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

Abstract Different photoelectron analyzer has different detectable area and acceptance angle, the experimental count rate is up to the photon flux density in the detected area, so the size of the X-ray source used for the analyzer is very important to get the best experimental result. Due to the experimental resolution and count rate of the analyzers is not so ideal, their relation to the beam spot of the beamline is studied. Result shows the size of beam spot at the sample position is too large, which helped to decide the upgrade project for beamline 4B9B and make the beam size much more smaller. A new design for high photon energy branch of the beamline upgrade with new post-focusing mirror is finished, meanwhile the focusing of low photon energy branch is also better designed.

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

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