

## 合肥国家同步辐射 X射线吸收精细结构实验站简介\*

刘文汉 徐法强 韦世强 徐朝银 潘国强  
崔宏滨 赵伟昌 张新夷 孙剑威 叶为全

(中国科学技术大学合肥国家同步辐射实验室 合肥 230029)

**摘要** 我国第一台专用型的合肥国家同步辐射加速器 U7C 光束线上的 X 射线吸收精细结构(XAFS)实验站于 1998 年 12 月完成建设和初步的调试工作.储存环电子能量为 0.8 GeV,使用三极 6T 的超导 Wiggler 磁铁插入件,可提供的最高能量约为 15000eV 的 X 射线.9000eV 单色 X 射线的强度约为  $3 \times 10^9$  光子数/秒,能量分辨率为 3eV 左右.探测系统为充连续流动的 N<sub>2</sub>/Ar 气体的电离室作探测器.在此条件下,采集了 Cu, Ni, Fe 箔等标准样品的 XAFS 谱,获得很高的信噪比,Cu 箔的 XAFS 谱与北京和日本光子工厂的同步辐射加速器上的 XAFS 实验站测量的结果相一致,表明合肥国家同步辐射 XAFS 站已处于良好的工作状态,这将为我国 XAFS 用户提供高质量的同步辐射光源研究凝聚态物质的短程序结构.

**关键词** XAFS 实验站,同步辐射

### XAFS STATION OF HEFEI NATIONAL SYNCHROTRON RADIATION LABORATORY

LIU Wen-Han XU Fa-Qiang WEI Shi-Qiang XU Chao-Yin PAN Guo-Qiang  
CUI Hong-Bin ZHAO Wei-Chang ZHANG Xin-Yi SUN Jian-Wei YE Wei-Quan  
(Hefei National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029)

**Abstract** The installation of the XAFS station on the U7A beamline of Hefei National Synchrotron Radiation Laboratory was completed in December, 1998. The electron beam energy is 0.8 GeV and the maximum stored current 180 mA. A 3-pole wiggler with a maximum magnetic field of 6 T inserted in the straight section of the storage ring is used. The maximum energy is limited to 15 keV for XAFS measurement. The X-ray intensity from an Si(111) double-crystal monochromator is about  $3 \times 10^9$  phs/sec. at an energy of 9 keV, and the energy resolution is about 3 eV. Data is collected with an ion chamber filled with Ar/N<sub>2</sub> flowing at room temperature. A high signal ratio to noise can be obtained for the XAFS spectra of Cu, Ni and Fe foils. Furthermore, the Cu spectrum agrees well with those taken at BSRF and KEK, indicating that our XAFS station is operating well and will be useful for studying the local structure of condensed matter by synchrotron radiation.

**Key words** XAFS station, synchrotron radiation

### 1 引言

XAFS(X-ray absorption fine structure, X射线吸收精细结构)方法是同步辐射应用的最重要领域之一.XAFS 技术几乎能够获得所有凝聚态物质的局域结构信息,在物理、化学、材料和生命科学等领域已有广泛的应用,并解决了许多重要问题<sup>[1-2]</sup>.尤其是高亮度的第三代同步辐射( $10^{18}$ 光子/秒)的使用和 XAFS 方法的新发展,可给出更多新的信息.原

子 XAFS 能够观察原子的价态电子电荷量微小变化(精度达 0.01e),考察表面吸附原子与衬底的相互作用及电荷的转移情况;X 射线磁圆二色谱(XMCD)具有元素特征,能够研究半导体材料和生物样品中原子的电子结构受环境的影响;超快 X 射线吸收和衍射谱,采集一个 XAFS 谱可以在微秒量级时间完成,直接观察材料中的原子和电子的动力学过程;微区 XAFS 利用特殊的光学聚焦可进行尺寸为

\* 国家自然科学基金资助项目  
1999-05-21 收到初稿,1999-07-19 修回

微米量级的 XAFS 研究。

合肥同步辐射加速器是一台专用型的同步辐射光源,其储存环的电子能量为 0.8 GeV,1984 年底开始建设,1991 年达到设计指标并建成第一批光束线和实验站(软 X 射线显微术、光电子能谱、X 射线光刻、时间分辨光谱和光化学站),1993 年正式向用户开放使用。从弯铁输出的光源能量使用范围在 50—2500eV 之间,不能达到 XAFS 实验需要的硬 X 射线能区。随着研究工作的深入发展,愈来愈多的国内用户希望在合肥同步辐射储存环上提供 2500—15000eV 范围的硬 X 射线光源研究凝聚态物质。

建设合肥同步辐射加速器 XAFS 实验站的构想始于 1992 年,1994 年进行了初步的设计。理论计算表明,在 6T 的超导 Wiggler 磁铁产生的光子通量可达  $10^{10}$  量级的光子<sup>[3]</sup>,特征波长的光子能量为 2550eV,可以使用光源能量约为 15500eV;这为建设 XAFS 实验站提供了可靠的理论依据。1996 年上半年完成 Si(111) 平面双晶单色器的制备,1997 年上半年超导 Wiggler 建成投入使用,1998 年初 XAFS 实验站完成建设并进行初步的调试,1998 年 10 月在 9000eV 能量处获得强度为  $3 \times 10^9$  光子数/秒的单色光,并采集到第一条 Cu 的 XAFS 谱。

## 2 U7C 束线的主要性能参数

单色器接收角(  $H \times V$  ) :  $1 \times 0.1 \text{ mrad}^2$   
 单色器 : Si(111) 平面双晶, InSb(111) 平面双晶  
 光斑尺寸 :  $10 \times 1 \text{ mm}^2$   
 能量分辨率 :  $3 \times 10^{-4}$   
 使用能量范围 : 2000—15000eV  
 探测系统 : 电离室充连续流动的  $\text{N}_2/\text{Ar}$  混合气体  
 Keithley 型 6517 静电计

## 3 测试结果及比较

在储存环的电子能量为 0.8 GeV、电流为 50—150 mA 和超导 Wiggler 磁铁的磁场强度为 6T 的运行状态下,实验测量在 9000eV 能量处获得强度为  $3 \times 10^9$  光子数/秒的单色光。在此条件下,室温测量到 Cu, Ni 和 Fe 箔的 XAFS 谱如图 1 所示,观察到很强的 EXAFS 振荡信号。为了比较 XAFS 谱,图 1 中将 Fe, Ni, Cu 的 K 吸收边能量位置 7111, 8331, 8980eV 分别设定为能量零点,每条曲线的吸收边后都出现多个 EXAFS 振荡峰,吸收边前的背景吸收

相当平滑,表明已采集到很高信噪比的 XAFS 数据。

图 2,3 为在合肥、日本光子工厂( KEK )、北京同步辐射加速器 XAFS 站上采集 Cu 箔的 XAFS 谱的比较结果,从振荡峰的频率和强度可以看到,图 2

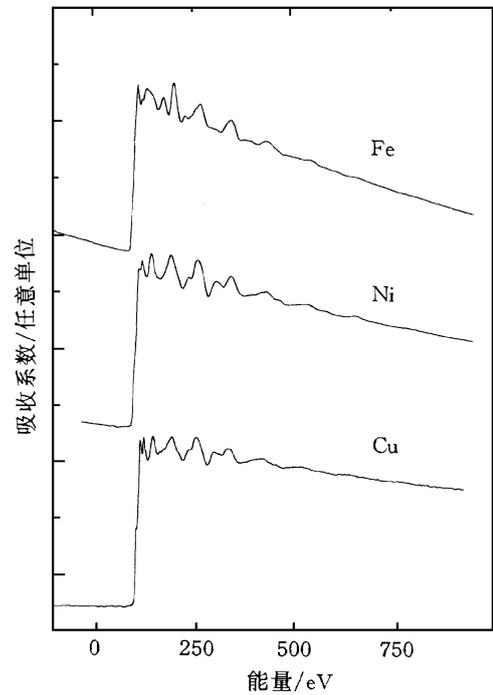


图 1 元素的 K 吸收 XAFS 谱  
(1998 年 12 月在合肥国家同步辐射实验室的测量结果)

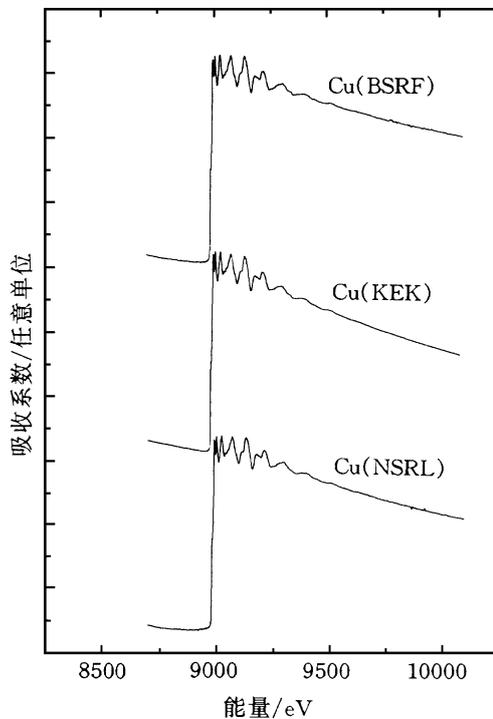


图 2 北京国家同步辐射实验室( BSRF )、日本光子工厂( KEK )、合肥国家同步辐射实验室( NSRL )的测量铜箔 K 吸收 XAFS 谱的比较

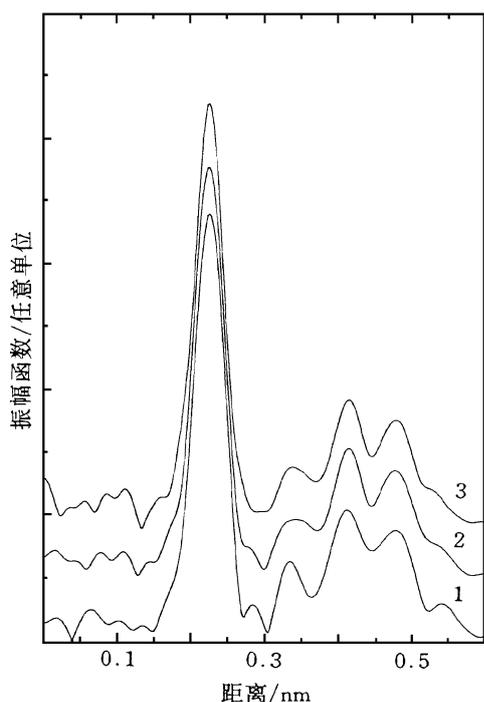


图3 BSRF,KEK,NSRL 测量铜箔的径向结构函数的比较  
(1: NSRL 测量值;2:KEK 测量值;3:BSRF 测量值)

中 Cu 箔的 XAFS 曲线有完全相同的结果.图 3 是经过背景扣除、 $\mu_0$  拟合、能量  $E \rightarrow$  波矢  $k$  转换、再经快速傅里叶变换后获得的径向结构函数(RDF),这一

结果清楚表明,它们的 Cu - Cu 第一配位峰位置在 0.226nm(未校正的原始位置),振幅强度之间的偏差小于 2%,同时在 0.416,0.480nm 处出现具有面心立方结构特征的第三、四壳层 Cu - Cu 配位峰.这表明我们合肥的国家同步辐射 XAFS 实验站通过调试后,在测量 Cu 箔的 XAFS 谱已经获得与日本光子工厂和北京同步 XAFS 实验站一致的结果.这说明合肥同步辐射 XAFS 实验站已处于良好的工作状态,这将为我国 XAFS 用户提供高质量的专用同步辐射光源.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Baberschke K, Koningsberger D. XAFS and thin film magnetism, Applications of XAFS to catalysis. In: Chapman D, Bunker B eds. Proceeding Abstracts of the 10th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure, Chicago: 1998. M1-4
- [ 2 ] Kotani A, Nordgren E J, Struder L *et al.* J. de Phys., 1997, 7 (C2): 1-90
- [ 3 ] 阎和平,刘乃泉,张武.同步辐射及其应用.姜晓明,修立松主编.北京:北京科学技术出版社,1996,25-27  
YAN He-Ping, LIU Nai-Quan, ZHANG Wu. Synchrotron Radiation and its Application. JIANG Xiao-Ming, XIU Li-Song eds. Beijing: Beijing Science and Technology press, 1996, 25-27 (in Chinese)

(上接第 38 页)

处理提供谱面滤波器.由于种种限制,光学信息处理或光学计算机并未取得预期的效果.当一些物理工作者仍在孜孜不倦地探讨光学信息处理的前景时,电子工程师却看好空间光调制器的应用价值,经过不断的改进,终于开发成功具备实用价值的器件,并率先应用于投影机获得成功.经过一代又一代的改进,投影机或投影电视机性能不断改善,欧、美、日各大电器公司无一例外地进入该领域,终于形成产业.据统计,1998 年全世界投影机的产量达 178 万台,总营业额达 72 亿美元.预期到 2003 年投影机的产量将翻一番,总营业额也将增加 50%.其实,由图 1 表示的大屏幕光信息显示系统,又何尝不是典型的非相干光学信息处理系统?而空间光调制器又是光学信息处理的关键器件.因此可以说,大屏幕投影电视机产业正是光学信息处理与现代半导体技术相结合形成产业的极为成功的范例.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 周连祥.物理,1993,22:301-305  
ZHOU Lian-Xiang. Physics, 1993, 22: 301-305 (in Chinese)
- [ 2 ] 宋菲君, Jutamulia S. 近代光学信息处理(北京大学物理学丛书).北京:北京大学出版社,1998  
SONG Fei-Jun, Jutamulia S. Advanced Optical Information Processing, The Series of Advanced Physics of Peking University. Beijing: Peking University Press, 1998 (in Chinese)
- [ 3 ] 李育林,傅晓理.空间光调制器及其应用.北京:国防工业出版社,1996  
LI Yu-Lin, FU Xiao-Li. Spatial Light Modulators and Applications. Beijing: National Defence Industry Press, 1996 (in Chinese)
- [ 4 ] Shields S E. Optics & Photonics News, 1994, 5: 12
- [ 5 ] Younse J M. IEEE Spectrum, 1993, 11: 27-31
- [ 6 ] Florence J M, Yoder L A. Proc. SPIE, 1996, 2650: 193-208
- [ 7 ] Hornberck L J. Proc. SPIE, 1997, 3013: 27-41