

上海光源软 X 射线谱学显微光束线的 进展与应用

彭忠琦

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要: 介绍了国外与国内同步辐射装置及第三代同步辐射光源进展, 回顾了国内软 X 谱学显微光束线的发展过程, 叙述了上海同步辐射光源及软 X 谱学显微光束线的进展。展望了软 X 谱学显微光束线的应用, 其为开辟新科学、新领域发挥了积极推动作用。

关键词: 同步辐射; 上海光源; 软 X 射线; 高分辨率; 光束线应用

中图分类号: O434.1 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI20112811.0027

Development and Application of SSRF Soft X-ray Spectromicroscopy Beamline

PENG Zhong-qi

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: This paper introduces the synchrotron radiation facilities and the third synchrotron radiation light sources at home and abroad, reviews the development of soft X-ray spectromicroscopy beamline(STXM), and presents the development of Shanghai Synchrotron Radiation Facility and STXM. The application of STXM is previewed, and it is playing a positive role for opening up the new science, new fields.

Keywords: synchrotron radiation; SSRF; soft X-ray; high resolution; application of beamline

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 11079035); 应用光学国家重点实验室开放基金资助项目 (No. O9Q33FQ091) .

1 引言

随着科学技术的发展,越来越多的研究领域要求在亚微米,甚至纳米空间尺度内开展样品的光谱成像研究。因此,空间尺度的异质成分组成以及化学性质决定了许多重要材料的宏观物理化学性质。此外,环境与生物过程经常涉及到微观领域内变化的化学过程。

同步辐射光源是一种极为理想的软 X 射线、真空紫外光源,在众多基础研究和应用研究中发挥着越来越重要的作用^[1-3],同步辐射光具有连续光谱分布^[4],采用同步光进行的科学实验,大部分实验需要选取一定波段范围内的单色光,同时对光束的光子通量、光谱分辨、光谱纯度、成像束斑等有着严格要求,因此,在同步辐射光源和实验站之间需要专门的光学装置(光束线)把它单色化并聚焦到实验样品处。近年来,第三代高亮度同步辐射光源已成为同步辐射装置建设的重点,与第二代光源相比具有更小的电子束发射度,大大提高了光谱亮度^[5],为科学实验中获得更高的光子通量、更好的光谱分辨和空间分辨提供了前提条件。

2 同步辐射装置研究进展

伴随着同步辐射应用的迅速发展,第一代、第二代同步辐射装置显然已不能满足科学试验应用的需求。为了获得更高质量的同步辐射光,需要在第三代同步辐射装置储存环的直线段设计中安装插入件,使同步辐射光斑尺寸和发射度大大减小,光束的通量和亮度极大增加,其发射度 <10 nmrad,亮度提高了一个量级;进一步提高了同步辐射光源具有的宽连续谱、高亮度、高准直性、偏振性、时间结构、清洁的性能。

国外目前已经建成并运行的第三代同步辐射光源如图 1 的欧洲第三代同步辐射光源,图 2 的美国 APS 同步辐射光源,图 3 的日本 Spring-8 同步辐射光源等。



图 1 欧洲同步辐射光源



图 2 美国 APS 同步辐射光源

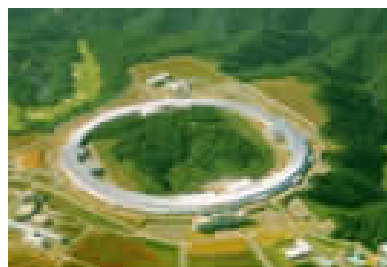


图 3 日本 Spring-8 同步辐射光源



图 4 上海光源 (SSRF)

中国最初的 3 个同步辐射装置为:北京正负电子对撞机国家实验室 (BEPC) 的同步辐射装置 (BSRF) 于 1988 年建成、出光;合肥国家同步辐射实验装置 (HFSRF) 于 1989 年建成、出光;中国台湾同步辐射装置 (SRRC) 于 1991 年建成、出光。我国在第一代、第二代同步辐射装置基础上对同步辐射装置的发展给予了高度的重视和支持,2009 年在

上海建成了第三代同步辐射装置——上海光源 (SSRF), 如图 4, 第三代同步辐射装置不仅是基础科研必需的大型科研设备, 而且具有极强的应用科研背景, 对一个国家的科研和经济发展都具有良好的推动作用。未来中国的同步辐射光源和实验装置将有较大的发展, 将为科学研究和工业应用提供一个重要的舞台。

3 上海光源软 X 谱学显微光束线的进展

我国已在北京同步辐射装置、合肥同步辐射实

验室以及上海光源建设了 3 台变包含角平面光栅单色器束线并获得应用^[6-7], 其中上海光源建设的变包含角平面光栅单色器束线分辨力已高于 1×10^4 。

目前, 我国已建成的上海第三代同步辐射光源具有全波段、高耀度、高通量等特点, 极大地提升了我国软 X 射线在固体物理、生物、材料等多个领域的应用研究水平, 同时对软 X 射线光束线的性能也提出了更高的要求。设计、研制出高性能的软 X 射线束线成为科学家获得高质量实验结果的前提和追求的目标。表 1 介绍了国外与国内同类光束线性

表 1 同类光束线性比较

| | SSRF (设计值) | ALS (运行) | CLS (设计值) |
|---------|-------------------|------------------------|--------------|
| 光源 | EPU | EPU | EPU |
| 单色器 | 变包含角平面光栅 | 变包含角平面光栅 | 变包含角平面光栅 |
| 光谱区域 | 250~2 000 eV | 130~2 000 eV | 205~2 000 eV |
| 样品处光子通量 | $\sim 10^9$ phs/s | $\sim 10^9$ phs/s (计算) | 10^8 phs/s |
| 分辨能力 | 2 500~6 000 | 2 500~7 000 | 8 000 |
| 扫描光斑尺寸 | ≤ 50 nm | 30~40 nm | 50 nm |

能比较。

上海光源软 X 射线谱学显微光束线站将用于以材料、环境、生物、有机地球化学、陨星为主要研究对象的研究。

光束线站将瞄准世界前沿的发展, 主要针对人体健康和生活条件改善等方面, 重点开展自然状态下的细胞结构和功能关系, 以及具有一定活性的生物样品的元素空间分布研究。同时还可开展: 多相聚合物复合材料特性研究; 蛋白质与人工材料的兼容特性研究; 微生物体及微生物-微矿物相互作用特性; 微观尺度污染物的空间分布和化学态分布; 组织-金属相互作用的化学分析; 物种形成; 固体水溶液及界面特性; 磁性材料; 新型材料设计等方面的研究。这些研究将有助于深入理解纳米空间尺度的物质及其相互作用的化学基础, 并以此为基础积极探索如何改善人类环境、健康、以及设计制造新型材料。

光束线光学原理示意图如图 5 所示。图 6 是软

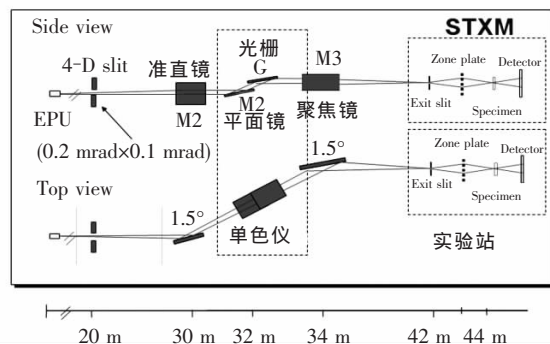


图 5 STXM 光束线光学原理示意图

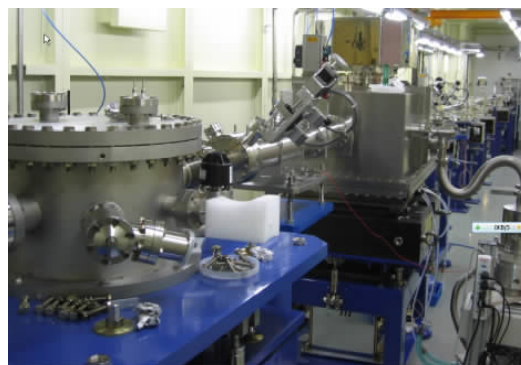
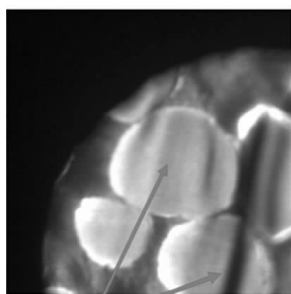


图 6 软 X 谱学显微光束线

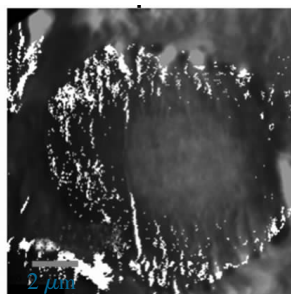
X 谱学显微光束线的照片。

4 上海光源软 X 谱学显微光束线的应用

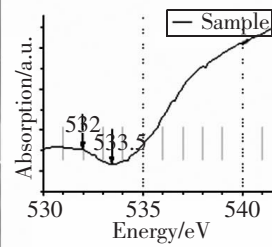
由于同步辐射光源的独特性能,同步辐射的应用为科学技术发展提供了一个新的实验平台和一种新的途径。常规光源认为不可能做的实验,现在成为可能,而且还发展了很多新技术和新方法。现在,同步辐射应用已被广泛认为是几乎所有学科不可缺少的分析工具,用户数目不断增长。根据美国 BESAC 报告,1998 年美国同步辐射装置的用户数增加了 16%,工业界对同步辐射应用的兴趣也越来越浓厚。可以看出,随着同步辐射光源的增强和实验方法及实验装置的发展,同步辐射应用已扩展到几乎所有科学研究和工业生产领域。众多国家认为,同步辐射的应用对他们国家的科学和工业的发展具有重要的战略意义,在材料科学、环境科学以及工业等领域得到了应用。



纤维截面



白色区域为氧分布区域



样品在O边吸收谱
E533.5/E532

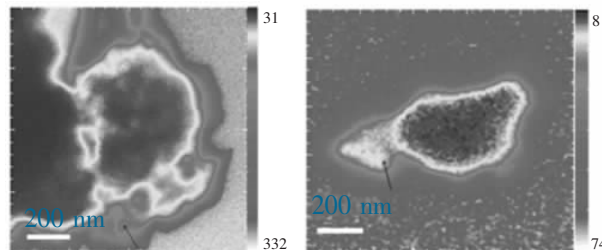
图8 聚丙烯腈纤维预氧化过程中氧的扩散

5 结 论

同步辐射光束线在材料、医学、生命、环境、信息、凝固态物理、化学、原子分子物理等方面的应用为基础科学、应用技术、工业及产业提供了研究平台。同步辐射的建造体现了国家科学技术的发展,

4.1 汽车尾气颗粒物的谱学显微研究

汽车尾气颗粒物中的含氮化合物是造成酸雨等环境污染的主要来源。对汽车尾气颗粒物中的氮存在形态进行研究对环境治理有重要意义,如图 7 所示^[8]。



(a) 处理前

(b) 处理后

图 7 汽车尾气颗粒物的谱学显微研究

4.2 聚丙烯腈纤维预氧化过程中氧的扩散

研究氧元素在聚丙烯腈纤维中的分布,分析聚丙烯腈纤维预氧化过程中氧的扩散,以制备高性能碳纤维。为国内碳纤维企业提供关于纤维结构与生产工艺之间关系的信息,为提高纤维质量与性能提供指导性信息,如图 8 所示^[9]。

展,体现了国家综合国力和工业水平,已经引起了发达国家和发展中国家的高度重视。我们相信,我国的同步辐射装置对我国四个现代化建设将起到越来越重要的作用,将为开辟新科学、新领域发挥积极的推动作用,可极大地促进生产力的发展。

参考文献

[1] 冼鼎昌. 同步辐射应用在中国的发展[J]. 物理, 1999, 28(11): 641-647.

- [2] 冼鼎昌. 同步辐射的现状和发展[J]. 中国科学基金, 2005, 19(6): 321-325.
- [3] Freund A K. Third-generation synchrotron radiation X-ray optics[J]. *Facility. Stru.*, 1996, 4(2): 121-125.
- [4] 谭伟石, 蔡宏灵, 吴小山. 同步辐射简介[J]. 常熟理工学院学报, 2006, 20(2): 97-101.
- [5] 吕丽军. 同步辐射软 X 射线单色仪的进展[J]. 物理, 1995, 24(12): 761-764.
- [6] 朱佩平. 北京同步辐射装置-3W1B 光束线和软 X 光学实验站[J]. 北京同步辐射装置年报, 2000, B06: 32-35.
- [7] 薛松, 邵景鸿, 卢启鹏, 等. NSRL 软 X 射线磁性圆二色光束线[J]. 核技术, 2005, 28(10): 738-741.
- [8] 杨传俊, 郭智, 张祥志, 等. 汽车尾气颗粒物的 STXM 和 NEXAFS 研究[J]. 物理学报, 2010, 59(8): 5345-5349.
- [9] 张祥志, 许子健, 甄香君, 等. 基于软 X 射线谱学显微双能衬度图像[J]. 物理学报, 2010, 59(7): 4535-4540.

作者简介: 彭忠琦 (1957-), 男, 吉林榆树人, 高级工程师, 主要从事同步辐射光束线关键技术的研究。

E-mail: pengzhongqi@126.com

《液晶与显示》(双月刊)

《液晶与显示》由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会主办, 科学出版社出版。

- 中国最早创办的液晶学科专业中文核心期刊
- 中国唯一的液晶学科和显示技术领域综合性学术期刊
- 中国光学光电子行业协会液晶分会会刊, 中国物理学会液晶分会会刊
- 英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(PJK)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊

《液晶与显示》征集有关液晶和各类显示材料及制备方法、液晶显示、等离子体显示、阴极射线管显示、发光二极管显示、有机电致发光显示、场发射显示、真空荧光显示、电致变色显示及其他显示、各类显示器件物理和制作技术、各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用、显示材料和器件的测试方法与技术等研究论文。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。同时, 竭诚欢迎社会各界洽谈广告业务、合作组织技术交流与信息发布活动。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新技术, 及时反映国内外本学科领域及产业信息动态, 是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果, 进行国际交流的平台。其内容丰富, 涵盖面广, 信息量大, 可读性强, 是我国专业期刊发行量最大的刊物之一。

网址: <http://www.yjyxs.com> 欢迎访问!