

# 合肥同步辐射软 X 射线显微术研究\*

谢行恕 贾成芝 赵永飞

(中国科学技术大学基础物理中心, 合肥 230026)

徐向东 蒋诗平

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230026)

**摘要** 合肥国家同步辐射实验室首期建设的光束线之一用于软 X 射线显微成像研究. 实验站上现已装置初型的扫描透射 X 射线显微镜, 并正在进行新一代的扫描显微镜建设, 同时还使用同步辐射光进行接触软 X 射线显微成像研究, 并对选取的一些生物样品进行了成像试验. 本文介绍合肥同步辐射光源上软 X 射线显微术实验线站的建设及完成的一些实验结果.

**关键词** 同步辐射, 软 X 射线, 显微术

**Abstract** At the Hefei National Synchrotron Radiation Laboratory (NSRL), one of the first beam is dedicated to the study of soft X-ray microimaging. A prototype of scanning transmission X-ray microscope has been installed in NSRL, and effort of constructing a new generation of this instrument is undertaken. Studies of soft X-ray contact microimaging have been made using synchrotron radiation. Some biological specimens have been chosen for examination. In this paper the authors describe the instrumentation of soft X-ray microscopy at the station in NSRL and show some experimental results.

**Key Words** synchrotron radiation, soft X-rays, microscopy

一个世纪以前, 德国科学家伦琴发现 X 射线(又称伦琴射线), 它是对科学和人类社会进步的重大贡献. X 射线是比可见光波长短得多的电磁波. X 射线的短波长性质自然会使人想到用它作为光源组成显微镜, 以观察物体更微小的结构. 以后科学家们进一步认识到应用软 X 射线(波长范围在 1—10nm)组成的显微镜会对活性生物样品的结构和功能研究有着特殊重要的作用, 因此人们一直期望和努力建造这样的软 X 射线显微镜. 但是制造 X 射线显微镜比制造光学显微镜更复杂和困难得多. 只是到近一、二十年高科技的发展才使 X 射线显微镜的研究有了突破性的进展<sup>[1]</sup>.

同步辐射光源是促使 X 射线显微成像研

究发展的重要因素. 同步辐射光在软 X 射线范围有连续可变的波长和极高的强度和亮度, 它为建造软 X 射线显微镜提供了最基本的光源条件. 因此在世界各主要同步辐射装置上都建造和发展各种形式的 X 射线显微镜, 进行 X 射线显微成像的研究和发展它的应用<sup>[2]</sup>. 合肥国家同步辐射光源在建设初期就计划应用它开展软 X 射线显微术研究<sup>[3]</sup>. 现在合肥国家同步辐射光源已经建成. 软 X 射线显微术光束线和实验站是它首期建设的五个线站之一. 在软 X 射线显微术光束线上已接有初型的扫描透射 X 射线显微镜, 换接样品室后可进行接触式软 X 射线显微成像实验. 实验站已开始应用同步辐射光对选取的样品进行实验研究.

\* 1995年7月17日收到.

## 1 软 X 射线显微术光束线和扫描透射 X 射线显微镜

合肥同步辐射光源光束线 U12A 设计用于扫描 X 射线显微镜应用, 它的波长范围为 1.97—5.44nm. 图1是光束线和扫描显微镜光路示意图. 使用聚光波带片和光阑组成直线性单色仪, 改变聚光波带片和光阑之间的距离, 可以得到不同波长的单色 X 射线. 为了覆盖所用的波长范围, 需要换接三个波带片. 单色仪中使用的聚光波带片由国家同步辐射实验室的光学元件组设计和研制<sup>[4]</sup>. 经过光阑的单色 X 射线空间相干光照到微波带片上, 并聚成微小斑点. 光斑大小取决于微波带片的最外环宽度. 在我们的初型扫描 X 射线显微镜中, 暂用 2 $\mu\text{m}$  针孔替代微波带片. 完善的新一代扫描 X 射线显微镜使用微波带片<sup>[5]</sup>聚焦, 预期分辨率将提高到约 50nm.

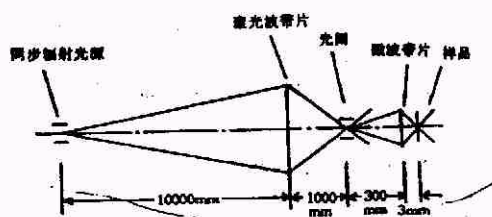


图1 光束线和扫描显微镜光路示意图

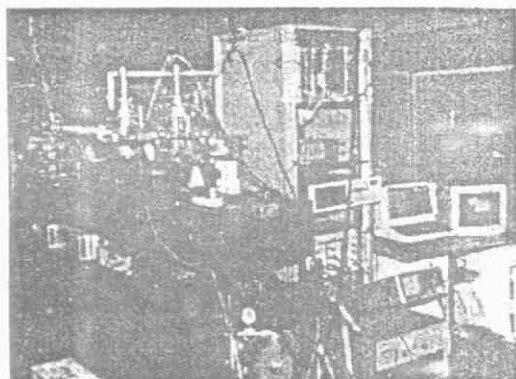


图2 扫描透射 X 射线显微镜装置照片

为了把软 X 射线引入到大气环境, 使用  $\text{Si}_3\text{N}_4$  窗口隔开真空与大气.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  窗口由我们自

25 卷 (1996 年) 第 2 期

行研制, 厚度为 100nm. 扫描 X 射线显微镜的样品置于大气环境中的扫描台样品架上, 它以扫描方式通过 X 射线光斑. 扫描微调位移由压电转换器驱动, 微调移动用线性可变微分传感器监测并反馈控制样品驱动, 扫描台精度为 50nm. 通过样品的 X 射线强度用自制的流气式正比计数管记录. 整个扫描和探测系统由微计算机控制, 扫描 X 射线显微图实时显示于彩色监视器上. 图2是装置在实验站上的扫描透射 X 射线显微镜照片. 应用同步辐射光我们已完成这台初型扫描 X 射线显微镜的调试, 并对选取的若干样品做出了实时的 X 射线显微图<sup>[6]</sup>.

## 2 接触式软 X 射线显微成像研究

早在使用同步辐射光源之前, 我们即使用了自制的电子轰击固定靶(碳、铝和铜靶)软 X 射线光源进行软 X 射线接触显微成像方法研究, 取得了良好的结果和经验<sup>[7]</sup>. 为了应用同步辐射光源进行试验, 我们设计制造了可接在光束线上的曝光样品室. 这个样品室与光束线真空相容, 并能很方便地换接样品. 我们最近又试制成生物湿样品室, 并进行了湿样品的成像试验. 样品室设计要求将样品放在空气中及适当的生理环境, 以保持生物细胞的存活条件. 图3—5是我们用同步辐射光进行软 X 射线接触式显微成像实验结果的例子. 图3是蚊翅软 X 射线显微图, 由图显示样品的最小细节分辨率

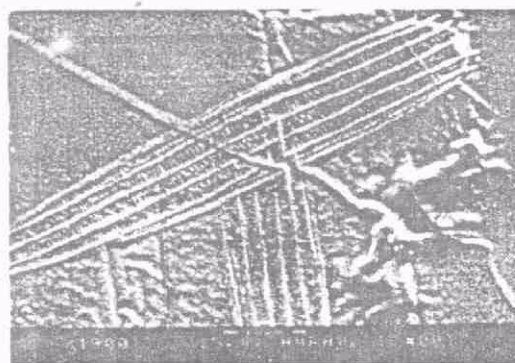


图3 蚊翅 X 射线显微图(由扫描电镜观测)

好于60nm. 图4是人鳞癌细胞组织切片的 X 射线显微图, 它可以明显分辨出细胞核仁和细



图4 人鳞癌细胞组织切片 X 射线显微图  
(由光学显微镜观测)



图5 大蒜内表皮(湿)X 射线显微图  
(由光学显微镜观测)

胞染色体, 并可看出致密胞浆及胞壁排列结构<sup>[8]</sup>. 图5是大蒜内表皮(湿样品状态)的 X 射线显微图, 图中框边显示出 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 窗口边缘.

合肥国家同步辐射实验室软 X 射线显微术光束线和实验站仍在进行建设, 使其不断完善. 在使用已有条件进行应用研究的同时, 我们还在开展其他形式的 X 射线显微成像方法(如 X 射线全息术)的研究.

致谢 作者感谢合肥国家同步辐射实验室和我们研究组的许多同事和研究生在我们实验站建设和所做的研究工作中作出的贡献及给予的支持.

### 参 考 文 献

- [1] 谢行恕, 物理学进展, 12-3(1992), 333.
- [2] M·Howells, J. Kirz and D. Sayre, *Scientific American*, 264-2(1991), 88.
- [3] X. Xie et al., *Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Res.* A246 (1986), 698.
- [4] Y. So et al., *Rev. Sci. Instrum.*, 60-7 (1989), 2041.
- [5] E. Anderson and D. Kern, in *X-ray Microscopy II*, eds. A. Michette, G. R. Morrison and C. J. Brckley, Springer, Berlin, (1992), 75.
- [6] 赵永飞等, 中国科学技术大学学报, 24-1(1994), 51.
- [7] C. Jia et al., in *X-ray Microscopy in Biology and Medicine*, eds. K. Shinohara et al., Jpn. Sci. Soc. Press, Tokyo, (1990), 247.
- [8] C. Jia et al., *NSRL Ann. Rep.* (1992—1993), 50.

## 微细加工新方法——LIGA 技术\*

田 扬 超

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230026)

**摘 要** 本文介绍了一种微细加工新方法 LIGA (in German: Lithography, Galvanoformung, Abformung) 技术的基本原理及特点, 同时还简单说明了这种方法的技术要求, 报道了国内外在这方面开展研究的成果.

**关键词** 微细加工, 深度 X 射线刻蚀, 三维立体加工, 应用

\* 1995年7月3日收到.