

文章编号: 0253-2239(2004)8-1151-2

X 射线衍射增强相衬成像的实验结果*

高鸿奕 陈建文 谢红兰 朱化风 李儒新 徐至展
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

朱佩平 袁清习 田玉莲 黄万霞 王隽越 郑欣 冼鼎昌
(中国科学院高能物理研究所, 北京 100080)

摘要: 报道了 X 射线衍射增强相衬成像的最新实验结果, 简要论述了其原理, 证明了衍射增强 X 射线相衬成像是一种高信噪比的成像方法, 它比普通的 X 射线成像和层析(CT)具有高得多的分辨力, 约为 $10\ \mu\text{m}$, 这在临床医学、材料科学及其它一些生物研究领域具有巨大的应用潜力。

关键词: X 射线光学; 相衬成像; 同步辐射

中图分类号: O434.19 文献标识码: A

Experimental Results of X-Ray Diffraction Enhanced Phase Contrast Imaging

Gao Hongyi Chen Jianwen Xie Honglan Zhu Huafeng Li Ruxin Xu Zhizhan
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Zhu Peiping Yuan Qingxi Tian Yulian Huang Wanxia Wang Junyue
Zheng Xin Xian Dingchang

(Institute of High-Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(Received 5 April 2004; revised 3 June 2004)

Abstract: Some experimental results and the principle of X-ray diffraction enhanced phase contrast imaging are presented. It demonstrates that X-ray diffraction enhanced phase contrast imaging is an approach with higher ratio of signal-to-noise than that of traditional X-ray radiography, the resolution can be up to $10\ \mu\text{m}$. It's a promising tool for the applications in researches on clinical, medicine and material sciences.

Key words: X-ray optics; phase contrast imaging; synchrotron radiation

X 射线相衬成像是当硬 X 射线透过样品的不同组织时, 相速度的差异导致相位改变对样品内部结构成像的一种方法。

传统的 X 射线成像, 是根据样品的密度分布、组成以及厚度的不同造成对 X 射线的吸收不同, 获得像的衬度, 也就是吸收衬度成像。但对于一些以轻元素为基体的物质, 如关节软骨、韧带、肌腱、血

管、纤维及一些有机化合物等弱吸收物体(即相位物体), 传统的 X 射线成像方法不能获得这些组织的像; 而在这些物体中, 硬 X 射线的相位漂移截面要比吸收截面高 $100\sim 1000$ 倍^[1], 这就为硬 X 射线相衬成像奠定了物理基础。

自 20 世纪 90 年代以来, X 射线相位衬度成像技术得到了迅速发展, 已成为全世界研究的热点。人们利用实验室常规 X 射线光源以及同步辐射光源, 开展了针对医学、生物学和材料科学等领域的诸多 X 射线相位衬度成像实验。目前世界上几个研究小组探讨的各种 X 射线相衬成像方法, 主要分为三类^[2]: 干涉法^[3]、衍射增强法^[4,5] 及类同轴全息

* 国家自然科学基金(60278030)、上海市光科技基金(036105028)资助课题。

E-mail: gaohy@mail.shnc.ac.cn

收稿日期: 2004-04-05; 收到修改稿日期: 2004-06-03

法^[6,7],分别对相位 φ 、相位的一阶导数 $\nabla\varphi$ 和二阶导数 $\nabla^2\varphi$ 进行测量。在我国,该方面的理论和实验研究工作都处于起步阶段。

衍射增强 X 射线成像技术的最大优点在于:无须采用干涉方法就可以获得物体的相位分布。携带样品信息的 X 射线,通过衍射增强就能将相位分布体现为强度分布而得以测量,这在折射率不同的组织边界处效果尤其显著。

实验采用 X 射线衍射增强相衬成像方法(Diffraction enhanced imaging, DEI),装置如图 1 所示。

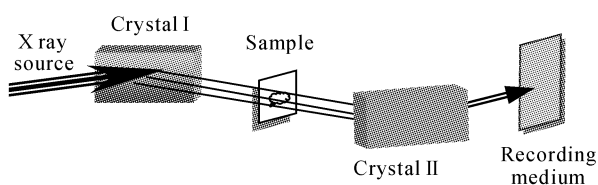


Fig. 1 Experimental setup for hard X-ray diffraction enhanced imaging

图中晶体 I 起单色器作用,晶体 II 作角度分析

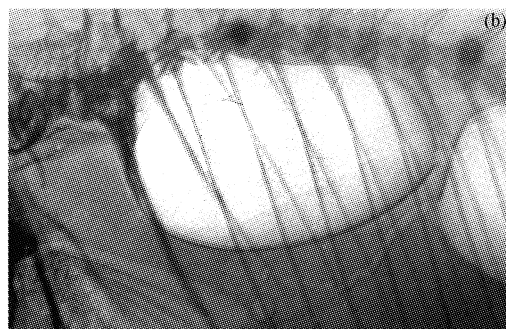
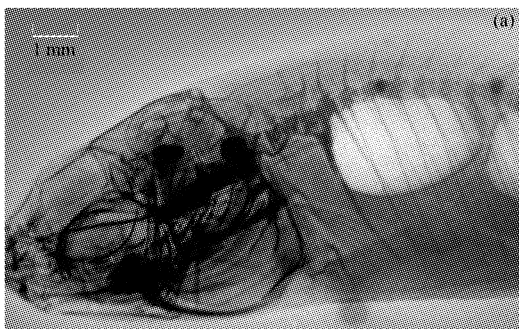


Fig. 2 (a) Hard X-ray DEI image taken at the synchrotron radiation, the sample is an aquarium fish with 5~6 mm wide and 3~4 mm thick, (b) Local magnified image from Fig. 2(a)

上述实验结果的放大照片上,显示了一条从鱼鳃连接到鱼头部逐渐变细的微管,最细处的直径约在 $30\ \mu\text{m}$ 左右,像的分辨力约 $10\ \mu\text{m}$ 。实验结果表明 X 射线衍射增强相衬成像是一种高信噪比、高分辨力的成像方法,无论与普通的 X 射线吸收成像相比,还是与先前所做的 X 射线相位直接成像法^[8]相比,在清晰度和分辨力上都有显著的提高。这一结果为衍射增强相衬成像技术的临床应用,提供了有力的技术基础。

参 考 文 献

- 1 Momose A, Takeda T, Itai Y. Biological imaging based on X-ray phase measurement-Toward applications in cancer diagnosis. *Hitachi Review*, 1999, **48**(3): 110~115
- 2 David C, Nohammer B, Solak H H *et al.*. Differential X-ray

器。置于两块晶体之间的样品是一条未经任何处理的观赏小鱼。同步辐射 X 射线经晶体 I 单色化以后照射样品,再经晶体 II 衍射后成像到记录介质上;能够被晶体 II 衍射到探测器的单色 X 射线受严格的角限制,一般在 10^{-6} rad 量级,这个角宽度称为达尔文宽度,落在这个角度以外的其它 X 射线将不被晶体 II 衍射到探测器,衍射强度随角度的变化曲线称为摇摆曲线(Rocking curve)。

通常小角散射角度在 10^{-3} rad 量级,因此散射噪音几乎被排除于晶体 II 的接收角之外,这就是衍射增强法具有很高的信噪比的原因。

实验在北京同步辐射 4W1A 形貌站上完成。储存环电子能量为 2.2 GeV,束流强度 40~70 mA,单色 X 射线能量 16 keV。成像用 Fuji IX 80 型 X 射线胶片记录,曝光时间为 4 min,胶片记录的像用光学显微镜采集。图 2(a)为同步辐射硬 X 射线衍射增强相衬成像照片,样品为一条体宽约 5~6 mm,厚度约 3~4 mm 的观赏小鱼,拍摄在衍射晶体摇摆曲线的半腰位置进行。图 2(b)为鱼鳃的局部放大像。

- phase contrast imaging using a shearing interferometer. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(17): 3287~3289
- 3 Bonse U, Hart M. An X-ray interferometer. *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **6**(8): 155~156
- 4 Ingal V N, Beliaevskaya E A. X-ray plane-wave topography observation of the phase contrast from a non-crystalline object. *Phys. D: Appl. Phys.*, 1995, **28**(11): 2314~2317
- 5 Davis T J, Gureyev T E, Gao D *et al.*. X-ray image contrast from a simple phase object. *Phys. Rev. Lett.*, 1995, **74**(16): 3173~3176
- 6 Schmahl G, Rudolph D, Guttman P *et al.*. Phase contrast studies of biological specimens with the X-ray microscope at BESSY (invited). *Rev. Sci. Instrum.*, 1995, **66**(2): 1282~1286
- 7 Wilkins S, Gureyev T, Gao D *et al.*. Phase-contrast imaging using polychromatic hard X-rays. *Nature* (London), 1996, **384**: 335~384