

# BSRF 白光动态形貌实验系统

王功利 蒋建华 田玉莲 韩勇 王洲光

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1996-07-17收稿

## 摘 要

介绍了北京同步辐射装置(BSRF)4W1A光束线及白光动态形貌实验系统的各个组成部分,主要包括白光形貌相机、高低温样品环境室及其控制系统、实时观察和录制系统、图像处理和输出系统等部分,并对其部分实验结果进行了介绍.

**关键词** 同步辐射, X光形貌, 控制系统, 图像处理.

## 1 引 言

X射线衍射形貌术是利用X射线在晶体中传播及衍射的动力学和运动学原理,根据晶体中完美部分与非完美部分衍射衬度的变化和消光规律来研究晶体材料及其器件内部微观结构缺陷的一种方法.利用X射线形貌术研究晶体缺陷,不仅可以对比较大块的单晶材料作非破坏性的整体内部观测,还能确定缺陷的类型分布、位错的柏格斯矢量和应变向指等,是一种强有力的分析手段,在固体电子学、激光技术、非线性光学等领域内有广泛的应用.

同步辐射的出现为X射线形貌术提供了一种全新的光源,它不仅克服了常规X射线形貌术曝光时间长的缺点,而且大大扩展了形貌术的研究范围<sup>[1]</sup>.同步辐射的高强度和天然准直性,使得可以加大样品到光源点的距离,从而提高缺陷象的分辨率;同时也能在保证必要分辨率的前提下,增大探测器与样品间的距离,使样品周围有足够大的空间安装各种类型的环境室,对样品在各种外界条件下的结构和缺陷变化的动态过程进行实时观察研究,并利用高性能图像处理系统对动态形貌象进行实时捕获和处理.所有这一切都使得同步辐射X光形貌术比常规形貌术具有明显优势.

## 2 光束线及其控制

形貌学实验站建在BSRF Wiggler白光束线上.由于形貌象的空间分辨率随样品到发光点距离的增大而提高,但距离增大又会损失光强.综合北京正负电子对撞机

(BEPC)光源的发射角参数及形貌实验站对分辨率的要求,形貌站建在样品与发光点相距45m处,束线接收角为1mrad(水平)×0.3mrad(垂直),当BEPC运行在电子能量为2.2 GeV、Wiggler磁场强度为1.8T时,光子通量( $\lambda = 1.34\text{\AA}$ )为 $6 \times 10^{10}$ phs / s / mA / mrad<sup>2</sup> / 0.1%BW,若底片与样品的距离为50mm,则可望获得垂直分辨率1 $\mu\text{m}$ ,水平分辨率3 $\mu\text{m}$ 的形貌象。

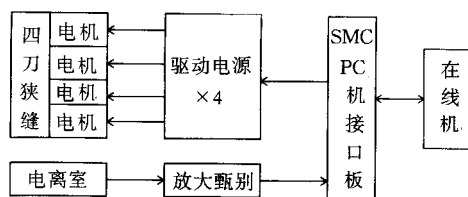


图1 光束线控制系统方框图

光束线配备有两个水冷四刀精密可调狭缝用于精确控制入射光斑的大小,配备有电离室用于监测入射X光的强度变化。实际工作中,狭缝的四个刀片由57BYG步进电机(中国常州生产)和BCD系列步进电机驱动电源驱动;电离室探测到的X光强度信号经放大甄别成形后成为标准TTL电平脉冲,所有这些信号都经由SMC-2计算机接口板进行控制 and 数据获取,光束线控制系统方框图如图1所示。

SMC-2接口板是自行研制的标准ISA总线接口板,具有步进电机控制和定标器功能,适用于同步辐射实验的要求<sup>[2]</sup>。它不仅可与各种步进电机驱动电源配套用于步进电机控制,还具有一路定时和三路定标,这三路定标除可用于脉冲信号的采集外,还可与旋转编码器配套使用,用于步进电机的闭环控制和失步校正。

### 3 实验系统

形貌学实验站于1989年12月建成,又经“八五”改造不断完善。目前整个动态形貌实验系统主要由白光形貌相机、高低温样品环境室及其控制系统、实时观察和录制系统、图像处理和输出系统等部分组成,其基本布局及原理如图2所示。形貌相机和环境室安装在一个用铅板和钢板严密屏蔽并装有可靠安全联锁的棚屋内。

#### 3.1 白光形貌相机

白光形貌相机是利用当一束白色X射线投射到晶体上时,会有几套反射面同时选择各自满足布拉格条件( $2d\sin\theta = n\lambda$ )的波长进行反射的原理,用底片或探测器记录衍射光以获得晶体衍射图象的实验设备。英国Warwick大学制造的白光相机样品区空间大(可达 $\phi 680 \times 250\text{mm}^2$ ),可容纳较大的样品环境室,便于对样品在各种条件下的动态过程进行实时观察。

白光相机的样品架可绕三个互相垂直的轴旋转,探测器可绕两轴旋转,因而可使任

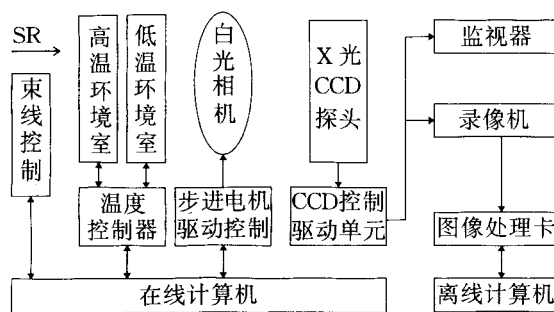


图2 BSRF白光动态形貌实验系统方框图

一反射面对任意波长的 X 光都能产生并接收其衍射。其中样品和探测器可以围绕入射光束进行旋转以充分利用同步辐射的偏转性能。所有这五个旋转轴都由步进电机驱动并由在线计算机通过 GPIB 总线进行控制, 其最高旋转速率可达  $90^\circ/\text{s}$ 。

### 3.2 高低温样品环境室

在形貌研究中应用环境室是同步辐射光源高强度和高准直性的特点带来的一个非常大的优点, 应用环境室可以模拟样品的实际使用条件, 研究晶体缺陷的形成、发展和变化, 以及晶体的再结晶和结构相变等动态过程, 这是材料科学应用研究中极其重要, 而常规 X 光源又无法做的工作。

实验站配备有两个高温环境室和一个低温环境室, 都是国内研制的。其中大的一个高温环境室为多功能环境室, 容积为  $\phi 200 \times 110\text{mm}^3$ , 可以提供高真空、变温和加静电场等功能, 其最高加热温度为  $1200^\circ\text{C}$ 。小的一个高温环境室最高加热温度为  $600^\circ\text{C}$ , 容积约为  $\phi 50 \times 40\text{mm}^3$ 。高温环境室的真空室腔体和前面板为双壳层结构, 中间通水冷却。低温环境室采用液氮直接冷却, 其最低温度可达  $-80^\circ\text{C}$ 。

高温环境室温度控制系统主要由英国欧陆 818 型微机温度调节器、热电偶温度传感器、隔离逻辑板和可控硅输出功率模块组成, 其方框图如图 3 所示, 控制系统可实现温度的曲线控制和过程控制, 控温精度约为  $0.1^\circ\text{C}$ , 其主要特点如下:

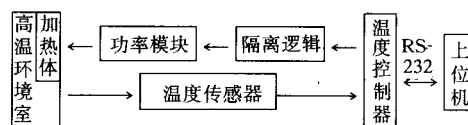


图 3 高温环境室温度控制系统方框图

(1) 采用欧陆 818 型微机温度调节器为主控机, 实现了自适应自整定的 PID 调节, 控温精度高, 具有多种报警和输出选择, 并通过 RS232 接口与上位机通讯以实现所有操作。

(2) 功率输出采用了时间比例输出的过零触发方式, 这种方式不对电网和其他用电设备产生严重的电磁干扰, 输出的时间比例信号经隔离逻辑后由固态继电器 SSR 实现过零触发, 因而稳定可靠。

### 3.3 实时观察和录象系统

该系统由直接成象的 X 射线摄像头及其控制单元、图像监视和录制设备组成。它与白光相机及样品环境室联合运行, 用于动态变化过程的实时观察和录制。

X 射线直接成象 CCD 摄像头的空间分辨为  $25\mu\text{m}$ 、敏感区  $12.8 \times 9.6\text{mm}^2$ , 其控制放大单元输出三路标准视频信号, 其中一路接至高分辨率监视器 (PIH12') 供实时观察, 另一路接至 VHS 录像机以保存实验图像。

### 3.4 图像处理 and 输出设备

图像处理和输出设备由 COMPAQ Pentium 计算机 (100M 主频、24M 内存、2M 帧存)、MPE 图像卡、HP5L LaserJet 打印机及高分辨监视器组成, 用于对 VHS 录像机保

存的形貌图像进行各种数字处理和硬拷贝输出。

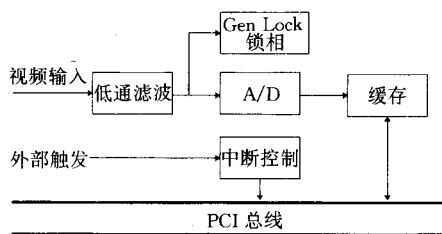


图 4 MPE 图像捕获卡硬件结构图

MPE 图像卡为标准的 PCI 总线接口板，其硬件结构如图 4 所示。MPE 图像卡可对录像机保存的任一帧形貌象进行捕获、VGA 显示、数字化和保存，并可实现图像与图形和文字的叠加、透明、放大等功能。其最高捕获速率达 25 帧/s，可连续捕获约 70 帧图像。捕获的图像以标准 RAW、BMP 或 TIF 格式存盘并可输入到其他的图像处理软件包(如 Photoshop、Photofinish 等)进行各种复杂的数字图像处理，可进行的点处理包括伪彩色、二值化、对比度增强等；可进行的区域处理包括平滑、去噪声、边缘探测等。形貌象经过这些数字处理后，可大大提高图像质量，改进人眼的视觉效果，便于人们发现缺陷和评价图像。处理后的图像可输出到激光打印机硬拷贝或存入硬盘保存。

#### 4 实验研究情况

形貌学实验站动态实验系统自建成以来，已为国内各有关单位的研究课题提供使用，目前课题涉及的研究内容包括人工新晶体的相貌观测<sup>[3]</sup>、高完整晶体生长新工艺研究、晶体相变过程的实时观测研究<sup>[4]</sup>、HgCdTe 晶体中心区晶界的同步辐射形貌研究<sup>[5]</sup>、铁电、铁弹晶体畴界结构及其动态行为的研究等。

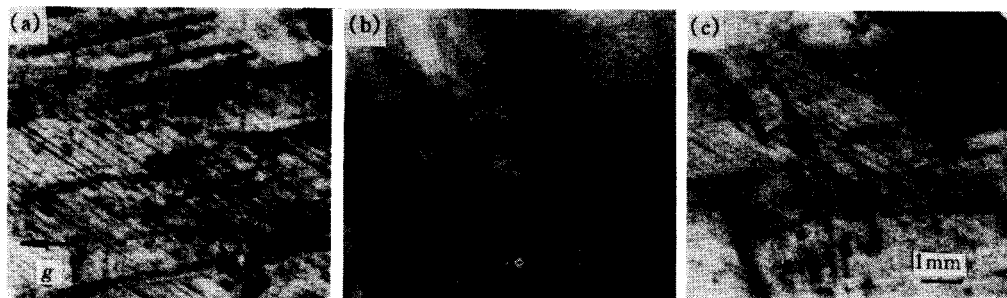


图 5 铌酸钾晶体相变形貌图

(a) 室温 (24°C)；(b) 相变温度 (224°C)；(c) 相变后 (234°C)。  
010 衍射，2.2GeV，10—40mA，底片与样品距离 110mm。

近年来发现的数目众多的铁电、铁弹晶体由于其具有广泛的应用前景和科学研究意义而受到越来越多的重视。畴的存在及其反转是这些晶体的重要特征之一，它们能显著地影响晶体的性能和应用。同步辐射形貌术是研究铁电、铁弹畴结构重要而且有效的方法。图 5 给出铌酸钾 (KNbO<sub>3</sub>) 晶体相变过程的实时观测结果<sup>[6]</sup>，(a) — (c) 分别对应于相变前、相变中和相变后的结构，可以明显看到晶体在发生相变时，内部有很强的应力聚集，相变后原来的 90° 畴消失了，而 60° (或 120°) 畴依然存在。相变的整个过程都由实

时观察和录象系统记录下来,因而可以证实图 5(b)确实是由相变所引起,类似的现象也发生在其他的相变温度.

### 参 考 文 献

- [1] Jiang J. H., Zhao J. Y., Tian Y. L. *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth.*, **A366**(1993)354.
- [2] 王功利、蒋建华、田玉莲等, *核技术*, **20**(1997)239.
- [3] Jiang S. S., *Ferroelectrics.*, **140**(1993)71.
- [4] Mai Z. H., *Chin. Phys. Lett.*, **112**(1995)317.
- [5] 蔡毅等, *红外与毫米波学报*, **Vol13, No.5**(1994)56.
- [6] Zhao J. Y., Yang P., Jiang S. S. *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **59**(1991)1952.

## BSRF X-Ray Topography Experimental System

Wang Gongli    Jiang Jianhua    Tian Yulian    Han Yong    Wang Zhouguang

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

Received 17 July 1996

### Abstract

This article presents the BSRF white beam topography experimental system, including a white radiation topography camera, a versatile environmental chamber, an X-ray video imaging system and an image processing facility. The specification of the experimental system and some physical results have been discussed.

**Key words**    SR, topography, control system, image process.