

合肥同步辐射光源*

中国科学技术大学

中国科学院基础科学局

(合肥 230026)

(北京 100864)

关键词 同步辐射, 合肥光源, 国家同步辐射实验室

1 引言

同步辐射是速度接近光速的带电粒子在作曲线运动时沿轨道切线方向发出的电磁辐射, 又叫同步光。它会使粒子失去能量, 曾给卢瑟福的类太阳系原子结构模型带来困难。1947年, 它在电子同步加速器中被首次观察到, 因而被命名为同步加速器辐射, 简称同步辐射。

与常规的光源相比, 同步辐射有许多突出的优点。它的频谱宽阔、连续、平滑(从X射线、紫外、可见光一直延伸到红外), 利用单色器可从中选取所需的任何波长的光; 它有很好的方向性, 光能集中, 亮度比普通光源高千倍至百万倍以上; 同时它还具有偏振性、脉冲性时间结构、高稳定性、高真空的洁净环境、频谱可准确计算等优异特性。光是人类认识自然的最基本的工具, 同步辐射是唯一的频谱范围如此宽阔的优质光源, 被广泛应用于凝聚态物理学、原子和分子物理学、化学、医学、材料科学、生命科学、环境科学、能源科学、信息科学技术、超细微加工和辐射计量学等众多领域, 几十年来硕果累累。正因为如此, 同步辐射光源是目前世界上数量最多的大科学装置, 它作为多学科公

用实验平台, 在现代科技发展中的重要地位为科学界所公认。

同步辐射的应用研究始于20世纪60年代, 此后经历了3个发展阶段, 因此现有同步辐射装置习惯上按主要特征分为3类: 以高能物理实验为主的兼用光源称为第一代光源; 以利用弯转磁铁产生的同步辐射为主的专用光源为第二代光源; 主要利用插入元件、尤其波荡器产生辐射的高亮度光源为第三代光源。按光子能量分类则可分为X射线光源和真空紫外(指紫外线高能波段)光源两种, 后者的频谱包含软X射线。不同类别的光源各有特色, 互为补充, 相得益彰, 恰当的配合可使其能力得到最高效的发挥。

同步辐射通过光束线从储存环中导出, 然后凭借精密的光学元件选取合适的波长和带宽并适当聚焦后送入实验站。科研人员在实验站测量同步辐射与样品相互作用后的信号(如反射、衍射、散射、透射光谱或样品原子被光子激发后释放的电子、离子、荧光等)来研究物质的结构特性, 探索微观世界的奥秘。

2 装置概况

20世纪70年代末, 中国科技大学率先提出在国内建设电子同步辐射加速器的建议。1983年4月, 作为第一个由国家全额投资兴建并维持运行的国家级实验室, 中国科技大学国家同步辐射实验室由原国家计委

* 本文由中国科学技术大学盛六四(国家同步辐射实验室执行主任, E-mail: lssheng@ustc.edu.cn)、刘祖平、宫晓梅、基础科学局彭子龙共同组织撰写
收稿日期: 2008年10月20日

批准立项。实验室建设工程总投资 8 040 万元人民币,1984 年 11 月动工,1989 年出光,1991 年 12 月通过国家验收。相应的同步辐射装置称为合肥光源,当时建有 5 条光束线和实验站,属于第二代真空紫外光源。

合肥光源电子束由电子枪产生,经直线加速器加速达到 200MeV,再通过束流输运管道进入储存环。储存环周长 66.13m,由许多弯转磁铁和直线段组成。电子在储存环中被再次加速到 800MeV 后作稳定的回旋运动,同时在弯转磁铁中发出特征波长约为 2.4nm(属于软 X 射线)的同步辐射。

1997 年,原国家计委批准“国家同步辐射实验室二期工程”立项,总投资 1.18 亿元人民币,在原有装置的基础上改造了加速器的主要系统,以保证光源的长期、可靠、稳定运行,并新建 1 台波荡器、增建 8 条光束线及相应的实验站。二期工程是“九五”期间启动的国家大科学工程之一,于 1999 年 5 月正式开工建设,2004 年 12 月通过国家验收。二期工程的胜利完成使合肥光源的运行和实验研究水平上了一个新台阶。

目前同步辐射实验室运行情况良好,有 14 个实验站(其中 5 条光束线来自插入元件,即国内第一台强磁场超导扭摆器和国内第一台提供高亮度辐射的多周期波荡器),主要应用在软 X 射线和真空紫外波段,有少量线站使用了硬 X 射线和红外波段。

3 重点研究领域

国家同步辐射实验室的科研目标以真空紫外和软 X 射线波段的同步辐射应用为主,重点研究领域包括:

化学反应动力学:研究大气污染与治理,燃烧过程及节能减排的改进方向,臭氧层破坏机理,各种化学反应中在分子水平上的化学键断裂与重排等现象,等离子体化学和复杂体系分析化学等。

纳米科技:纳米材料的表征,以毫秒时间分辨量级的同步辐射新技术对纳米物质的生长过程进行原位实时的动力学研究,了解其形成机理,实现对纳米材料的结构、形貌、尺寸及性能的调控。

生命科学:以软 X 射线成像(如活体生物样品的二维或三维高分辨显微成像)、真空紫外光谱等为手段,在细胞、亚细胞水平上研究细胞病变发生、发展的结构形态变化;原位实时研究细胞和蛋白质复合物在生命活动中的变化规律,蛋白质的生物功能和相互作用的动力学过程,蛋白质复合体结构变异、损伤与复活的机制;分析研究药物分子、天然生物等复杂体系及它们的相互作用。这些研究将为了了解重大疾病致病机理、早期诊断和治疗机理提供重要信息,为新药的筛选与开发提供新的手段。

强关联体系:在实验的基础上归纳电荷-自旋-晶格-轨道相互作用的一般规律,解读凝聚态物理中若干与强关联现象有关的核心问题,如高温超导机理、金属-绝缘体相变机理、纳米结构中的自旋相互作用、磁性半导体中的自旋注入、多铁性材料中的自旋-电荷耦合机制、量子临界效应等。

催化反应机理:原位实时研究若干与能源和环境相关的催化体系,为开发新型高效的工业催化剂提供理论指导。

表面和界面科学:研究有机和无机复杂体系的表面和界面的相互作用过程,如纳米体系和蛋白质的相互作用、燃料电池的界面研究等。

材料科学:组合材料制备方法、先进薄膜(稀磁半导体、多铁性材料、低维或量子点材料等)制备及结构性能研究。

4 研究成果和发展规划

自合肥光源对全国用户开放以来,在若干重大科学前沿和国家战略需求方面取得



中国科学院

了多项重大科研成果,发挥了大科学装置作为多学科研究平台的支撑作用,如:

中科院大连化学物理所杨学明研究组利用波荡器高亮度真空紫外光束“发现玻恩-奥本海默近似在氟加氘反应中完全失效”,研究成果于2007年发表在*Science*上,并入选“2007年中国十大科技进展”;

本实验室齐飞研究组利用准离子阱技术提高实验测量的信噪比,并与美、德科学家合作,首次实验发现一系列碳氢化合物燃烧过程的重要中间体——烯醇,研究成果于2005年作为封面文章发表在*Science*上;

中国科技大学俞书宏教授与本实验室田扬超研究员合作,利用同步辐射X射线纳米三维成像技术,成功地在室温、空气环境下对运用化学法制造的“几何明星”凹陷Escher型硫化铜十四面体微晶进行了三维成像,直观地揭示了传统的形态和结构分析技术难以解析的凹陷Escher型微晶结构。相关论文发表在*Appl. Phys. Lett.*上,并被

*Nature China*作为研究亮点加以报道;

中科院微电子所利用合肥光源的两次X射线曝光技术,研制成功国内第一个256位的分子存储器电路;

“嫦娥一号”首次飞行任务携带的8大载荷之一——“太阳风离子探测器”的紫外光抑制性能测试与探测器标定由光谱辐射标准和计量实验站完成,目前该探测器工作状态良好;

目前,实验室承担着省部级以上的科研课题60余项(见表1)。

国家同步辐射实验室的近期目标是:进一步提高机器运行可靠性和光源性能,包括提高光源亮度、实现单束团注入和注入器升能;有选择地开展原位、实时、动态的实验研究,实现几十纳秒的时间分辨、几十纳米的空间分辨、几个毫电子伏特的能量分辨的实验技术;联合高水平用户,在前述重点领域中有所作为。

随着加速器技术的进步,世界各国对

项目来源	项目数量或项目名称
国家科技部“973”计划	真实多元复杂体系的化学动力学研究 高增益短波长自由电子激光波荡器技术研究
国家“863”-804 专项课题	大口径衍射光学元件
“863”专项课题	田间作物信息成像光谱仪的研制和应用
科技部国际合作项目	劣质燃料的催化辅助燃烧和氢气辅助燃烧
国家自然科学基金杰出青年项目	1 项
国家自然科学基金面上项目	31 项
国家自然科学基金青年项目	6 项
国家自然科学基金重点项目	5 项
国家自然科学基金(NSAF 联合基金)	1 项
中科院创新仪器装备项目	1 项
中科院知识创新工程重要方向项目	2 项
“百人计划”评优后续支持项目	1 项
“百人计划”项目	2 项

(转至 514 页)