

飞秒电子衍射

彭文达^{1,2} 常增虎^{1,2} Gerard Mourou²

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 Center for Ultrafast Optical Sciences, The University of Michigan, 1006 I. S. T. building, 2200 Bonisteel Blvd, Ann)

摘 要 本文搭建了一套飞秒电子衍射系统, 取得了初步的结果, 并做了粗浅的讨论.

关键词 飞秒时间分辨; 电子衍射

0 引言

在自然界中的许多基本过程, 例如化学或生物反应; 状态变化及表面动力学, 包括物质结构的变化(原子和分子的重组)等, 通常这些变化过程非常短暂. 蛋白分子的裁剪是微秒(μs)量级; 状态的变化是纳秒(ns)或皮秒(ps)量级; 化学键的断开和形成是飞秒(fs)量级¹⁻³. 探测结构动力学中粒子的超快运动是科学研究的重要前沿之一.

目前时间分辨的 X 射线衍射和电子衍射均已达到 ps 量级的时间分辨率⁴⁻⁶. 电子衍射与 X 射线衍射一样, 都满足布喇格方程和劳厄(Laue)方程, 衍射的方向可以用厄瓦尔德(Ewald)球作图求出.

电子衍射比之 X 射线衍射主要有以下突出优点:

- 1) 电子源成本低, 不需要大尺寸的加速器.
- 2) 电子束的准直和聚焦比较简单.
- 3) 并且其单色性(带宽 0.001nm)也比 X 射线(带宽 0.01nm)要好.
- 4) 更为重要的是, 物质对电子的散射强, 约为 X 射线的一百万倍. 这就是电子衍射特别适用于微晶、表面和薄膜的晶体结构的研究. 由于电子衍射强度大, 所需曝光时间短, 只需几秒钟. 而 X 射线衍射照相是以小时计.

电子衍射比之 X 射线衍射主要有以下不足之处:

1) 散射强度高, 导致电子穿透能力有限, 要求试样薄, 这就使样品制备工作较 X 射线复杂.

- 2) 空间电荷效应造成精度方面远比 X 射线低.

本课题是在美国国家超快光学研究中心开展的

有关飞秒(fs)电子衍射技术方法和装置的研究.

1 实验装置与方法

固体激光器产生波长为 800nm , 脉宽为 30fs 的激光脉冲, 经过 BBO 晶体或空气产生三倍频激光脉冲($\lambda = 266\text{nm}$), 照射到光电阴极(Au)上, 产生电子脉冲(阳极电位为 17kV , 电子波长为 0.0086nm), 此电子脉冲束打在样品 Au(111)上, 产生衍射图象, 经过微通道板(MCP)增强, 成象在荧光屏上. 再经 OCD 和处理软件, 使图象存储在计算机里. 实验装置见图 1, 图 2.

激光器输出的红外光在倍频前, 用分光镜分出一部分直接照射在样品上(作为对样品的泵浦热源).

样品分为多晶和单晶. 成象方式分为透射和掠射. 我们主要采用 30nm 厚的单晶 Au(111)膜, 也采用过多晶 Cu 和多晶有机膜. 根据厄瓦尔德(Ewald)球作图和倒易点的概念, 我们知道, 单晶的图样是斑点花样, 多晶的衍射图样是环花样.

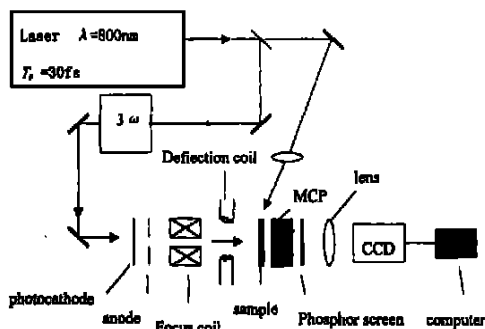


图 1 实验装置

Fig. 1 A schematic diagram of the electron diffraction system

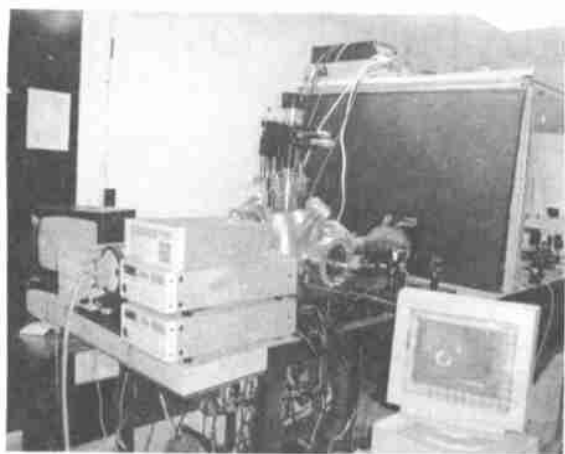


图 2 实验装置

Fig. 2 Set-up

2 实验结果及分析

图 3 是样品 Au(111) 未加激光热泵浦的衍射图样 .

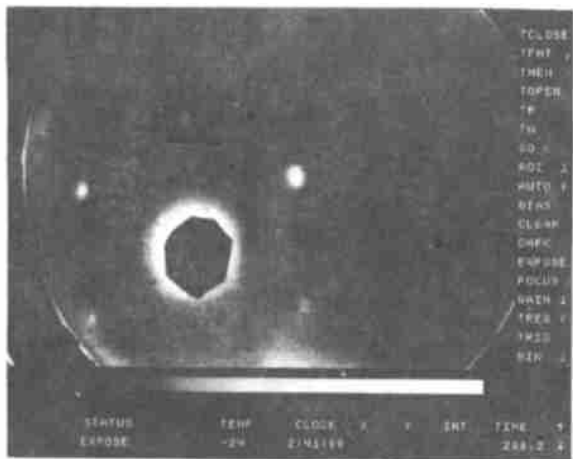


图 3 Au(111) 未加激光热泵浦的衍射图

Fig. 3 Transmission electron diffraction pattern of Au(111). The specimen is not driven by laser

图 4 是样品 Au(111) 加了激光热泵浦, 但用直流电子束形成的衍射图 .

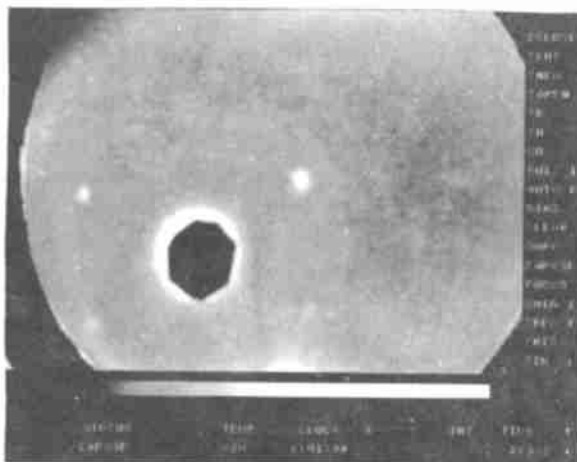


图 4 Au(111) 加激光热泵浦的衍射图

Fig. 4 Transmission electron diffraction pattern of Au(111). The specimen is driven by laser

1) 因电子衍射信号较弱, 我们加大了重复积分次数 .

2) 中心衍射点(零阶)过亮, 采用了遮挡 .

3) 与理论衍射图样相符 .

4) 由于电子-声子弛豫时间 $< 10f_s$, 而激光的频率是 $30Hz$ 、脉宽 $30f_s$. 激光热泵浦造成样品的变化是用直流电子束形成的衍射反应不出来的. 我们采取在不灼伤样品的前提下加大激光功率密度的方法, 提高样品温度, 增大样品的热惯性, 可得到略有变化的衍射图(图 4).

5) 要得到 f_s 时间分辨的衍射图, 须用与激光同频率同脉宽的电子脉冲来产生电子衍射. 但这里有一个激光脉冲与电子脉冲同步的问题, 难度较大, 有望用同步快门选通或分幅相机来实现.

参考文献

- 1 Helliwell J R, Rentzepis P M. Time-resolved diffraction. 1997
- 2 Mourou G, Williamson S. Picosecond electron diffraction. Appl Phys Lett, 1982, 41(1): 44~45
- 3 Williamson J C, Zewail A H. Ultrafast electron diffraction. Chem Phys Lett, 1993, 209(1): 10~12
- 4 Williamson S, Mourou G. Time-resolved laser-induced phase transformation in aluminum. Phys Rev Lett, 1984, 52(26): 2364~2367
- 5 Lindenberg A M, Kung I, Johnson S L, et al. Time-resolved X-ray diffraction from coherent phonons during a laser-induced phase transition. Phys Rev Lett, 2000, 84(1): 111~114
- 6 Elsäged-Ali H E, Herman J W. Ultrahigh vacuum picosecond laser-driven electron diffraction system. Rev Sci Instrum, 1990, 61(6): 1636~1647

FEMTOSECOND ELECTRON DIFFRACTION

Peng Wenda^{1,2}, Chang Zenghu^{1,2}, Mourou G²

1 Xian Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

2 Center for Ultrafast Optical Sciences, The University of Michigan, 1006 I. S. T building, 2200 Bonisteel Blvd, Ann

Received date: 2001-02-18

Abstract Femtosecond electron diffraction is applied to the investigation of electron-phonon coupling in metals. This elegant technique is compared with the recently demonstrated X-ray diffraction techniques based on synchrotron and plasma-produced X-ray.

Keywords Electron diffraction; Femtosecond; Time-resolved diffraction

Peng Wenda was born in 1948. He got his M. E from Academia Sinica in 1983. He is a professor in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. His research interests include photoelectronics and diagnostic technique for ultrasound phenomenon.

