



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107462592 B

(45)授权公告日 2019.12.20

(21)申请号 201710596413.4

G01N 23/2055(2018.01)

(22)申请日 2017.07.20

G01N 23/2005(2018.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107462592 A

(56)对比文件

CN 106645236 A,2017.05.10,

CN 102307696 A,2012.01.04,

CN 1851450 A,2006.10.25,

CN 103730386 A,2014.04.16,

(43)申请公布日 2017.12.12

(73)专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区武汉大学  
学工业科学研究院雅各楼

孙小庆等.高真空脉冲激光沉积CeO<sub>2</sub>(111)/  
Si(111)薄膜的结构与形貌研究.<稀有金属>  
.2013,第37卷(第3期),第389-395页.

(72)发明人 刘胜 李辉 张国庆 申胜男

审查员 王树玲

(74)专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 张涛

(51)Int.Cl.

G01N 23/20058(2018.01)

G01N 23/203(2006.01)

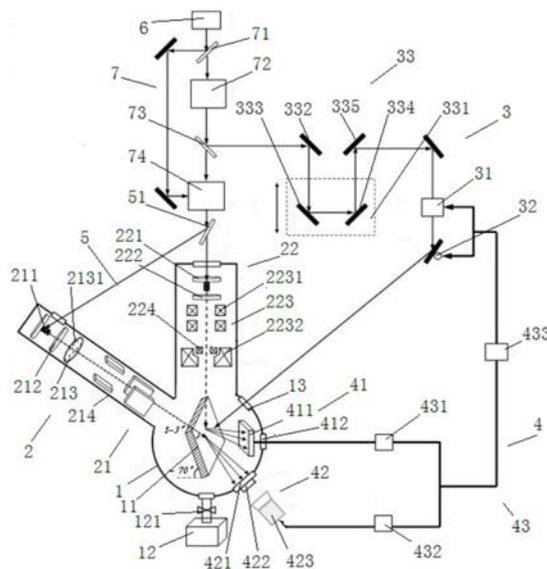
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

双模逐层测量系统

(57)摘要

本发明涉及电子衍射仪,提供一种双模逐层测量系统,包括真空样品室,真空样品室内设置有样品台,还包括电子脉冲控制单元、缺陷调控光路以及处理单元,缺陷调控光路上设置有激光脉冲能量调节装置以及激光脉冲扫描装置,处理单元包括用于接收电子背散射花样的第一接收组件、用于接收衍射图像的第二接收组件以及分析接收后衍射图像与电子背散射花样以控制激光脉冲能量调节装置与激光脉冲扫描装置的控制中心。本发明的测量系统可对微纳制造过程原位实时无损测量,实现边生长、边检测,且通过对衍射图像以及背散射花样处理获得样品表面缺陷信息,并根据此信息反馈调节飞秒激光脉冲能量及扫描位置,进行缺陷的修复,实现边检测、边调控的目的。



1. 一种双模逐层测量系统,包括真空样品室,所述真空样品室内设置有样品台,其特征在于:还包括用于向所述样品台的样品发射电子脉冲以产生衍射图像和电子背散射花样的电子脉冲控制单元、用于向所述样品台上样品的指定位置发射二倍频激光的缺陷调控光路以及用于分析处理衍射图像与电子背散射花样的处理单元,所述缺陷调控光路上设置有激光脉冲能量调节装置以及激光脉冲扫描装置,所述处理单元包括用于接收电子背散射花样的第一接收组件、用于接收衍射图像的第二接收组件以及分析接收的衍射图像与电子背散射花样以控制所述激光脉冲能量调节装置与所述激光脉冲扫描装置的控制中心,所述缺陷调控光路上设置有光程延时组件。

2. 如权利要求1所述的双模逐层测量系统,其特征在于:所述电子脉冲控制单元包括第一电子枪以及第二电子枪,所述第一电子枪的光电阴极与阳极产生的电子脉冲与样品表面之间的夹角为1-3度,且第二电子枪的光电阴极与阳极产生的电子脉冲与样品表面之间的夹角为20-25度。

3. 如权利要求2所述的双模逐层测量系统,其特征在于:所述第一电子枪还包括第一聚焦组件以及第一偏转组件,所述第一电子枪的电子脉冲依次穿过所述第一聚焦组件与所述第一偏转组件,所述第二电子枪还包括第二聚焦组件以及第二偏转组件,所述第二聚焦组件包括供电子脉冲依次穿过的至少两个聚焦镜。

4. 如权利要求1所述的双模逐层测量系统,其特征在于:所述第一接收组件包括背散射电子探测器,所述第二接收组件包括接收衍射图像的荧光屏、增强所述荧光屏的图像信号的图像增强器以及记录所述图像增强器增强后图像信号的电荷耦合摄像机,且所述电荷耦合摄像机以及所述背散射电子探测器均电连接所述控制中心。

5. 如权利要求4所述的双模逐层测量系统,其特征在于:所述控制中心包括与所述背散射电子探测器电连接的背散射花样分析器件、与所述电荷耦合摄像机电连接的衍射图像分析器件以及电连接所述背散射花样分析器件以及衍射图像分析器件的综合图像分析器件,且所述综合图像分析器件控制所述激光脉冲能量调节装置与所述激光脉冲扫描装置。

6. 如权利要求1所述的双模逐层测量系统,其特征在于:还包括激光发射器以及检测光路,所述激光发射器的发出光通过分光光路产生二倍频激光以及三倍频激光,且所述二倍频激光与所述三倍频激光分别进入所述缺陷调控光路以及所述检测光路内,所述电子脉冲控制单元位于所述检测光路上,所述检测光路的三倍频激光射入所述电子脉冲控制单元内以产生电子脉冲。

7. 如权利要求6所述的双模逐层测量系统,其特征在于:所述分光光路包括第一分束镜、激光二倍频装置、第二分束镜以及激光三倍频装置,所述激光发射器的发出光经所述第一分束镜分光后,其中一部分依次经所述激光二倍频装置、所述第二分束镜以及所述激光三倍频装置,另一部分经反射后进入所述激光三倍频装置,所述激光三倍频装置的出光口连接所述检测光路;所述激光发射器的发出光经所述激光二倍频装置作用后生成二倍频激光,且经所述第二分束镜分光后,其中一部分二倍频激光进入所述缺陷调控光路,另一部分二倍频激光进入所述激光三倍频装置内。

8. 如权利要求1所述的双模逐层测量系统,其特征在于:所述样品台为五轴控制台,所述五轴控制台包括X轴、Y轴、Z轴、第一旋转轴以及第二旋转轴,且所述第一旋转轴垂直于所述第二旋转轴。

## 双模逐层测量系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电子衍射仪,尤其涉及一种双模逐层测量系统。

### 背景技术

[0002] 先进微纳制造技术作为原始生产力推动着社会的进步,薄膜生长则代表了先进微纳制造业的主要发展方向之一。薄膜生长的典型代表有化学气相沉积、分子束外延、脉冲激光沉积、超快激光微纳加工、电子束曝光、聚焦离子束、纳米焊接/连接等,包括薄膜晶体生长、表面微纳复合结构、二维材料制备等制造手段,是电力电子、显示、半导体照明、仿生材料、微机械、微纳电子、光电子、电子封装、新型太阳能、低维材料及器件、生物制造、超高温传感器等新兴工业的关键材料与核心芯片等技术基础。

[0003] 典型微纳制造过程涉及皮秒至飞秒尺度的化学键的形成或断裂和电子电离、原子吸附与退吸附结构演化、纳米焊接和电子密度(等离子体)的演化。微纳制造又涉及难以测量处在微米到纳米尺度的介观缺陷,甚至处在原子分子结构的纳米到埃( $\text{\AA}$ )尺度的微观缺陷。目前对于微纳制造过程的测量只限于温度、层数、粗糙度等测量,无法对微观过程进行跨时空尺度的实时测量跟踪,从而缺乏对缺陷形成的微观机制进行有效分析和反馈调控,因而对于制造工艺的改进基本依靠传统的试错方法,阻碍了新材料新技术的发展。

[0004] 在晶体材料异质外延生长尤其是层状薄膜生长过程中,经常需要对发生在极短时间内的超快过程进行原位实时监测,例如原子生长与吸附、微观结构和缺陷的形成及演变、超晶格膨胀和晶体结构动力学等过程都发生在皮秒至飞秒量级。这些超快变化直接影响并决定了薄膜晶体的生长质量。目前在先进实验室对缺陷也只有原位低速实时监测功能,对微观缺陷和微观变形等的调控更无从谈起。因此,迫切需要监测皮秒至飞秒时间尺度内的超快变化过程,这不仅有利于对缺陷形成的微观机制进行有效分析,而且也使对缺陷进行反馈调控以得到高品质的薄膜成为可能。

[0005] 反射高能电子衍射仪(Reflection High-energy Electron Diffraction,RHEED)是用于表征晶体材料表面的一种测量技术。从电子枪发射出来的具有一定能量(通常为10~50千电子伏特)的电子束流以 $1\sim 3^\circ$ 的小角度掠射到样品表面。电子垂直于样品表面的动量分量很小,又受到库仑场的散射,所以电子束的透入深度仅 $1\sim 2$ 个原子层,因此RHEED所反映的完全是样品表面,尤其是薄膜而不是衬底的结构信息。RHEED在晶体生长过程中对表面原子排列特征与表面形态进行原位监测,并可以分析薄膜厚度、组分以及晶体生长机制等重要信息等情况,是当今表面科学和原子级人工合成材料工程中强有力的原位分析与监控手段。

[0006] 扫描电子显微镜(Scanning Electron Microscope,SEM)是利用细聚焦电子束轰击样品表面,通过电子与样品相互作用产生的二次电子等对样品表面形态进行观察和分析。背散射电子衍射仪(Electron Backscatter Diffraction,EBS)是基于SEM在倾斜样品表面激发出并形成衍射菊池带的分析从而确定晶体结构、取向及相关信息。主要特点是在保留扫描电子显微镜的常规特点的同时进行空间分辨率亚微米级的衍射。EBS工作时,样

品表面需要大角度倾斜(约70°),以便背散射电子信号EBSD被充分强化到能被荧光屏接收,荧光屏与一个电荷耦合相机相连。EBSD可快速定量统计研究材料的微观组织结构和组织,是作为晶粒尺寸测量的理想工具。

[0007] 目前在层状薄膜制造等微纳制造过程中仅采用时间分辨上属于纳秒至皮秒的低速检测手段进行测量,因此,对于皮秒至飞秒时间尺度的缺陷形成及演变、超晶格膨胀和晶体结构动力学等机理还不清晰,对微观缺陷和微观变形等进行反馈调控更无从谈起。此外,测量过程中RHEED装置和SEM/EBSD装置的高能电子枪发射出来的大量电子束流有可能对薄膜表面造成不定量的损伤。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种双模逐层测量系统,旨在用于解决现有的薄膜制造技术中难以对生长缺陷进行有效调控的问题。

[0009] 本发明是这样实现的:

[0010] 本发明实施例提供一种双模逐层测量系统,包括真空样品室,所述真空样品室内设置有样品台,还包括用于向所述样品台的样品发射电子脉冲以产生衍射图像和电子背散射花样的电子脉冲控制单元、用于向所述样品台上样品的指定位置发射二倍频激光的缺陷调控光路以及用于分析处理衍射图像与电子背散射花样的处理单元,所述缺陷调控光路上设置有激光脉冲能量调节装置以及激光脉冲扫描装置,所述处理单元包括用于接收电子背散射花样的第一接收组件、用于接收衍射图像的第二接收组件以及分析接收的衍射图像与电子背散射花样以控制所述激光脉冲能量调节装置与所述激光脉冲扫描装置的控制中心,所述缺陷调控光路上设置有光程延时组件。

[0011] 进一步地,所述电子脉冲控制单元包括第一电子枪以及第二电子枪,所述第一电子枪的光电阴极与阳极产生的电子脉冲与样品表面之间的夹角为1-3度,且第二电子枪的光电阴极与阳极产生的电子脉冲与样品表面之间的夹角为20-25度。

[0012] 进一步地,所述第一电子枪还包括第一聚焦组件以及第一偏转组件,所述第一电子枪的电子脉冲依次穿过所述第一聚焦组件与所述第一偏转组件,所述第二电子枪还包括第二聚焦组件以及第二偏转组件,所述第二聚焦组件包括供电子脉冲依次穿过的至少两个聚焦镜。

[0013] 进一步地,所述第一接收组件包括背散射电子探测器,所述第二接收组件包括接收衍射图像的荧光屏、增强所述荧光屏的图像信号的图像增强器以及记录所述图像增强器增强后图像信号的电荷耦合摄像机,且所述电荷耦合摄像机以及所述背散射电子探测器均电连接所述控制中心。

[0014] 进一步地,所述控制中心包括与所述背散射电子探测器电连接的背散射花样分析器件、与所述电荷耦合摄像机电连接的衍射图像分析器件以及电连接所述背散射花样分析器件以及衍射图像分析器件的综合图像分析器件,且所述综合图像分析器件控制所述激光脉冲能量调节装置与所述激光脉冲扫描装置。

[0015] 进一步地,所述分光光路包括第一分束镜、激光二倍频装置、第二分束镜以及激光三倍频装置,所述激光发射器的发出光经所述第一分束镜分光后,其中一部分依次经所述激光二倍频装置、所述第二分束镜以及所述激光三倍频装置,另一部分经反射后进入所述

激光三倍频装置,所述激光三倍频装置的出光口连接所述检测光路;所述激光发射器的发出光经所述激光二倍频装置作用后生成二倍频激光,且经所述第二分束镜分光后,其中一部分二倍频激光进入所述缺陷调控光路,另一部分二倍频激光进入所述激光三倍频装置内。

[0016] 进一步地,所述样品台为五轴控制台,所述五轴控制台包括X轴、Y轴、Z轴、第一旋转轴以及第二旋转轴,且所述第一旋转轴垂直于所述第二旋转轴。

[0017] 本发明具有以下有益效果:

[0018] 本发明的测量系统中,在真空样品室内的样品台上进行薄膜生长,且在生长过程中,电子脉冲控制单元产生飞秒电子脉冲,且当飞秒电子脉冲射至薄膜表面时根据入射角的不同产生衍射图像以及电子背散射花样,而处理单元能够接收以综合分析处理衍射图像与电子背散射花样,进而获得薄膜表面的缺陷位置以及修复能量信息等,且将该信息分别传输至缺陷调控光路上的激光脉冲扫描装置以及激光脉冲能量调节装置,进而能够调节缺陷调控光路的二倍频激光脉冲射至薄膜表面的位置以及脉冲能量,进而可以实现对薄膜表面缺陷的调控修复。上述过程中,在保证纳米级的高空间分辨率基础上,将测量系统的时间分辨率提升至飞秒量级形成超快电子衍射仪;超快RHEED(在线实时)和超快SEM/EBSD(在线实时/原位)组成双模测量系统,互为补充;另外,超快SEM/EBSD根据需要可选择实时/原位或交替模式进行测量,因此这两种测试模块不会产生干扰,通过对衍射图样分析处理获得了样品微观缺陷和微观应变等信息,并根据此信息反馈调节飞秒激光脉冲能量及扫描位置,进行微观缺陷和微观变形等的修复,实现边监测、边调控,该技术可以弥补现有检测技术中半导体材料制造过程中超快物理现象无法全面观测的问题,可以用于层状薄膜制造等微纳制造过程中微观结构和缺陷的形成及演变、超晶格膨胀和晶体结构动力学等超快过程的无损测量,实现边生长、边监测。

## 附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0020] 图1为本发明实施例提供的双模逐层测量系统的工作结构示意图。

## 具体实施方式

[0021] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0022] 参见图1,本发明实施例提供一种双模逐层测量系统,包括真空样品室1,真空样品室1内设置有样品台11,在样品台11上可以实现样品的制备,主要针对晶体材料异质外延生长,比如层状薄膜的生长,对于真空样品室1则主要是保证样品的制备环境为真空状态,不低于 $3 \times 10^{-10}$ 托的超高真空环境,真空样品室1与一真空泵12连接,且两者之间通过电磁阀

121控制通断,当真空样品室1的真空度高于上述条件时,电磁阀121打开,真空泵12开始工作以保证真空样品室1的真空度,测量系统还包括用于向样品台11的样品发射电子脉冲以产生衍射图像和电子背散射花样的电子脉冲控制单元2、用于向样品台11上的样品的指定位置发射二倍频激光的缺陷调控光路3以及用于分析处理衍射图像以及电子背散射花样的处理单元4,电子脉冲控制单元2向样品表面发出电子脉冲,且可以根据电子脉冲与样品表面之间的夹角以产生衍射图像或者电子背散射花样,在缺陷调控光路3上设置有激光脉冲能量调节装置31以及激光脉冲扫描装置32,其中激光脉冲能量调节装置31可以调节射入真空样品室1的二倍频激光脉冲的能量,而激光脉冲扫描装置32则可以调节扫描飞秒电子脉冲作用样品的位置,具体地,处理单元4包括第一接收组件41、第二接收组件42以及控制中心43,第一接收组件41可以接收电子背散射花样,第二接收组件42则是用于接收衍射图像,而控制中心43则能够分析处理接收的电子背散射花样以及衍射图像,从而可以检测分析出样品对应位置是否存在缺陷,而且当具有缺陷时,可以采用缺陷调控光路3发出的激光对其进行修复,且控制中心43能够通过接收的电子背散射花样以及衍射图像能够判断修复所需的激光位置以及能量,然后将该信息传输至缺陷调控光路3上的激光脉冲能量调节装置31以及激光脉冲扫描装置32,进而可以使得缺陷调控光路3发出的激光能够满足上述的激光位置以及能量要求,从而达到修复样品表面的目的。本实施例中,在保证纳米级的高空间分辨率基础上,将测量系统的时间分辨率提升至飞秒量级形成超快电子衍射仪;超快RHEED(在线实时)和超快SEM/EBSD(在线实时/原位)组成双模测量系统,互为补充;另外,超快SEM/EBSD根据需要可选择实时/原位或交替模式进行测量,因此这两种测试模块不会产生干扰,通过对衍射图样分析处理获得了样品微观缺陷和微观应变等信息,并根据此信息反馈调节飞秒激光脉冲能量及扫描位置,进行微观缺陷和微观变形等的修复,实现边监测、边调控,该技术可以弥补现有检测技术中半导体材料制造过程中超快物理现象无法全面观测的问题,可以用于层状薄膜制造等微纳制造过程中微观结构和缺陷的形成及演变、超晶格膨胀和晶体结构动力学等超快过程的无损测量,实现边生长、边监测。

[0023] 优化上述实施例,电子脉冲控制单元2包括第一电子枪21以及第二电子枪22,第一电子枪21与第二电子枪22均用于发射飞秒电子脉冲,其中第一电子枪21的光电阴极211与阳极212之间产生的电子脉冲射至样品表面时,其与样品表面之间的夹角为1-3度,该电子脉冲可以在样品表面产生衍射图像,第二电子枪22的光电阴极221与阳极222之间的产生的电子脉冲射至样品表面时,其与样品表面之间的夹角为20-25度,该电子脉冲可以在样品表面产生电子背散射花样。本实施例中,电子脉冲控制单元2通过两个电子枪分别射出不同角度的电子脉冲,进而可以产生两组图样,且能够根据两组图样所要求的不同,第一电子枪21与第二电子枪22进行相应的调整。比如第一电子枪21还包括有第一聚焦组件213以及第一偏转组件214,第一电子枪21的电子脉冲依次穿过第一聚焦组件213以及第一偏转组件214,其中第一聚焦组件213为聚焦镜2131,可以对产生的电子脉冲进行聚焦,而通过第一偏转组件214的调节作用可以实现对电子脉冲入射至样品表面的入射角控制。本实施例中,由于电子脉冲入射至样品表面上需要产生衍射,且衍射图像需要被处理单元4接收,对此需要根据实际情况来调整电子脉冲的入射角,以保证衍射图像均可以被处理单元4接收,当然该角度调节应在合理范围内,通常电子脉冲的入射角(电子脉冲与样品表面之间的夹角,区别于传统的入射角概念)为 $1\sim 3^\circ$ 。对于第一偏转组件214,可以采用两组偏转板的结构形式,

其中一组偏转板的两板均相对水平设置,另一组偏转板的两板均相对竖直设置,则电子脉冲先进入水平设置的两板之间,然后进入竖直设置的两板之间,通过这种布置的第一偏转组件214可以实现电子脉冲的有效偏转。而第二电子枪22,则还包括有第二聚焦组件223以及第二偏转组件224,其中第二聚焦组件223包括供电子脉冲依次穿过的至少两个聚焦镜2231,且第二聚焦组件223还包括有物镜2232,第二电子枪22产生的电子脉冲通过聚焦镜2231以及物镜2232进行聚焦,聚焦镜2231的焦距较小,而物镜2232的焦距比较大,从而可以使得第二电子枪22产生的电子脉冲聚焦效果比较好,而第二偏转组件224与第一偏转组件214的结构相近,且可将第二偏转组件224安设于物镜2232上。

[0024] 继续优化上述实施例,第一电子枪21与第二电子枪22的光电阴极211(221)与阳极212(222)平行相对设置,且光电阴极211(221)与阳极212(222)之间设置有可施加10~30千伏特的加速电场,以提高电子脉冲的移动速度,且在阳极212(222)的中心开设有一个小孔,小孔的直径也应满足一定要求,应控制在50~120微米之间,小孔覆盖有金属栅,金属栅接地,加速后的电子脉冲可以穿过该小孔。另外,对于第一电子枪21与第二电子枪22,可以均设置于真空样品室1内,或者采用单独的真空环境,第一电子枪21与第二电子枪22产生的电子脉冲分别射入真空样品室1内。

[0025] 进一步地,细化第一接收组件41以及第二接收组件42,其中第一接收组件41包括有接收电子背散射花样的背散射电子探测器411,其安设于真空样品室1内,具体为第二电子枪22产生的电子脉冲射至样品表面后产生电子背散射花样,而背散射电子探测器411则能够接收电子背散射花样,可以在真空样品室1上嵌设有与背散射电子探测器411电连接的接口412,通过该接口412可以将背散射电子探测器411接收的信息传输至控制中心43;第二接收组件42包括接收衍射图像的荧光屏421、增强荧光屏421的图像信号的图像增强器422以及记录图像增强器422增强后图像信号的电荷耦合摄像机423,其中荧光屏421至少部分位于真空样品室1内,具体地,荧光屏421整体嵌合于真空样品室1的壳体上,其中荧光面位于真空样品室1内,而与荧光面相对的一侧位于真空样品室1外侧,当然荧光屏421与真空样品室1的壳体之间应密封完全,且荧光屏421与第一电子枪21分别位于样品台11的两侧,则电子脉冲射至样品上的衍射图像可以反射至荧光屏421上,将图像增强器422安设于荧光屏421背离荧光面的一侧,则图像增强器422位于真空样品室1外侧,而电荷耦合摄像机423正对图像增强器422,即图像增强器422位于荧光屏421与电荷耦合摄像机423之间,其可以捕捉图像增强器422内增强后的图像信号,电荷耦合摄像机423与控制中心43电连接,其可将该信号传输至控制中心43。通过第一接收组件41与第二接收组件42将获取的电子背散射花样信息以及衍射图像信息传输至控制中心43,而控制中心43则可以综合分析处理获取的图样信息,进而能够判断样品的检测位置是否有缺陷,假若有缺陷,可以确定缺陷位置以及所需的能量。

[0026] 优化上述控制中心43,其包括与背散射电子探测器411电连接的背散射花样分析器件431、与电荷耦合摄像机423电连接的衍射图像分析器件432以及电连接所述背散射花样分析器件431以及衍射图像分析器件432的综合图像分析器件,且综合图像分析器件433控制所述激光脉冲能量调节装置31与所述激光脉冲扫描装置32。本实施例中,控制中心43主要分为三部分,其中背散射花样分析器件431分析处理电子背散射花样信息,衍射图像分析器件432分析处理衍射图像信息,而综合图像分析器件433则可以将背散射花样分析器件

431与衍射图像分析器件432处理的信息进行综合分析,进而可以得到样品表面缺陷修复所需的激光信息,然后分别控制激光脉冲能量调节装置31与所述激光脉冲扫描装置32。

[0027] 进一步地,测量系统还包括检测光路5,该检测光路5可以发出三倍频激光,而上述的电子脉冲控制单元2位于该检测光路5上,检测光路5发出的三倍频激光射入电子脉冲控制单元2内,具体是作用第一电子枪21与第二电子枪22的光电阴极,进而可以产生飞秒电子脉冲,即通过三倍频激光作用光电阴极,进而产生飞秒电子脉冲。本实施例中,检测光路5发出三倍频激光,且通过第三分束镜51将该三倍频激光分成两路,其中一路可以射入第一电子枪21内,而另一路则可以射入第二电子枪22内。且当第一电子枪21与第二电子枪22均位于真空样品室1内时,则真空样品室1上开设有三个透射孔13,其中一透射孔13可以透射缺陷调控光路3发出的二倍频激光,而另外两个透射孔13则可以分别透射进入第一电子枪21以及第二电子枪22内的三倍频激光。

[0028] 进一步地,测量系统还包括有激光发射器6,激光发射器6发出的激光通过分光光路7分成两束,两束激光分别进入检测光路5以及缺陷调控光路3内。本实施例中,测量系统只有一台激光发射器6,且在分光光路7的作用下既可以实现对样品的检测,还可以实现对样品缺陷部位的调控。对于激光发射器65可以选用掺钛蓝宝石飞秒激光器,其可以产生脉宽为80~500飞秒且中心波长为1030纳米的飞秒激光脉冲,激光发射器6的体积比较小,进而使得电子衍射仪的体积缩小至桌面大小。

[0029] 优化上述分光光路7,其包括第一分束镜71、激光二倍频装置72、第二分束镜73以及激光三倍频装置74,激光发射器6的发出光经第一分束镜71分光后,其中一部分依次经激光二倍频装置72、第二分束镜73以及激光三倍频装置74,而另一部分通过反射的方式直接进入激光三倍频装置74,激光三倍频装置74的出光口连接检测光路5,而在上述过程中,进入第一分束镜71的激光的中心波长为1030纳米,其中反射后进入激光三倍频装置74的部分波长为1030纳米,而另一部分进入激光二倍频装置72后,频率翻倍,则对应地由激光二倍频装置72导出的激光的波长为515纳米,此时该波长的激光经第二分束镜73后,其中一部分进入激光三倍频装置74,其可以与反射后进入激光三倍频装置74且波长为1030纳米在激光三倍频装置74内结合,形成三倍频激光,则此时由激光三倍频装置74导出的激光的波长为343纳米,即进入检测光路5内的激光的波长为343纳米,而该波长激光通过若干反射镜的配合反射进入真空样品室1内,从而表明采用波长为343纳米的三倍频激光与电子枪作用产生电子脉冲检测样品,三倍频飞秒激光脉冲作用电子枪的阴极产生的飞秒电子脉冲的能量弥散度小于1电子伏特,其可以极大地提高测量系统的时间分辨率,使纳秒至皮秒量级的低速检测手段提升至飞秒量级的高速检测手段,而在上述过程中,第二分束镜73分出的另一部分波长为515纳米的二倍频激光直接进入缺陷调控光路3,即采用波长为515纳米的二倍频激光调控样品缺陷。

[0030] 继续优化上述实施例,在缺陷调控光路3上设置有光程延时组件33。本实施例中,由于缺陷调控光路3是用于实现样品表面缺陷修复,而在缺陷修复之前则需要对获取的衍射信息进行处理,对此,检测光路5与缺陷调控光路3之间应具有一定时差,而通过光程延时组件33可以调整该时差,进而使得缺陷调控光路3与检测光路5能够形成匹配。光程延时组件33包括线性平移台331以及四个反射镜,通过四个反射镜可以增加激光的光程,且沿光路方向,四个反射镜与光路之间的夹角均为45度,位于中间的两个反射镜均位于线性平移台

331上,两个反射镜相互垂直,而另外两个反射镜与相邻的反射镜之间均平行设置;分别定义四个反射镜为1号反射镜332、2号反射镜333、3号反射镜334以及4号反射镜335,其中2号反射镜333与3号反射镜334均位于线性平移台331上,激光先45度入射至1号反射镜332,然后反射至2号反射镜333,再次反射至3号反射镜334,其中2号反射镜333与3号反射镜334之间的光路平行于入射的激光,且经3号反射镜334反射后,激光反射至4号反射镜335,且1号反射镜332与2号反射镜333之间的光路平行于3号反射镜334与4号反射镜335之间的光路,最后经4号反射镜335反射的激光沿平行于入射方向射出,且由于2号反射镜333与3号反射镜334均位于线性平移台331上,从而可以调节2号反射镜333以及3号反射镜334相对1号反射镜332以及4号反射镜335之间的距离,进而可以实现激光光程的调节,达到延时的目的。

[0031] 进一步地,样品台11采用五轴控制台,五轴控制台包括X轴、Y轴、Z轴、第一旋转轴以及第二旋转轴,且第一旋转轴垂直于第二旋转轴。在本实施例中,样品台11通过X轴、Y轴以及Z轴可以实现在真空样品室1内合理区域内任一位置调节,且通过第一旋转轴与第二旋转轴可以实现对样品台11两个方向的翻转,进而可以起到调节样品台11角度的作用,可以使得根据需要调节第一电子枪21的电子脉冲以及第二电子枪22的电子脉冲与样品表面之间的夹角,进而保证样品与检测光路5以及缺陷调控光路3之间形成较好的配合关系,当然,样品台11自身的调节动作应在检测以及缺陷调控之前完成,且当检测时不应调整样品台11的位置以及角度。

[0032] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

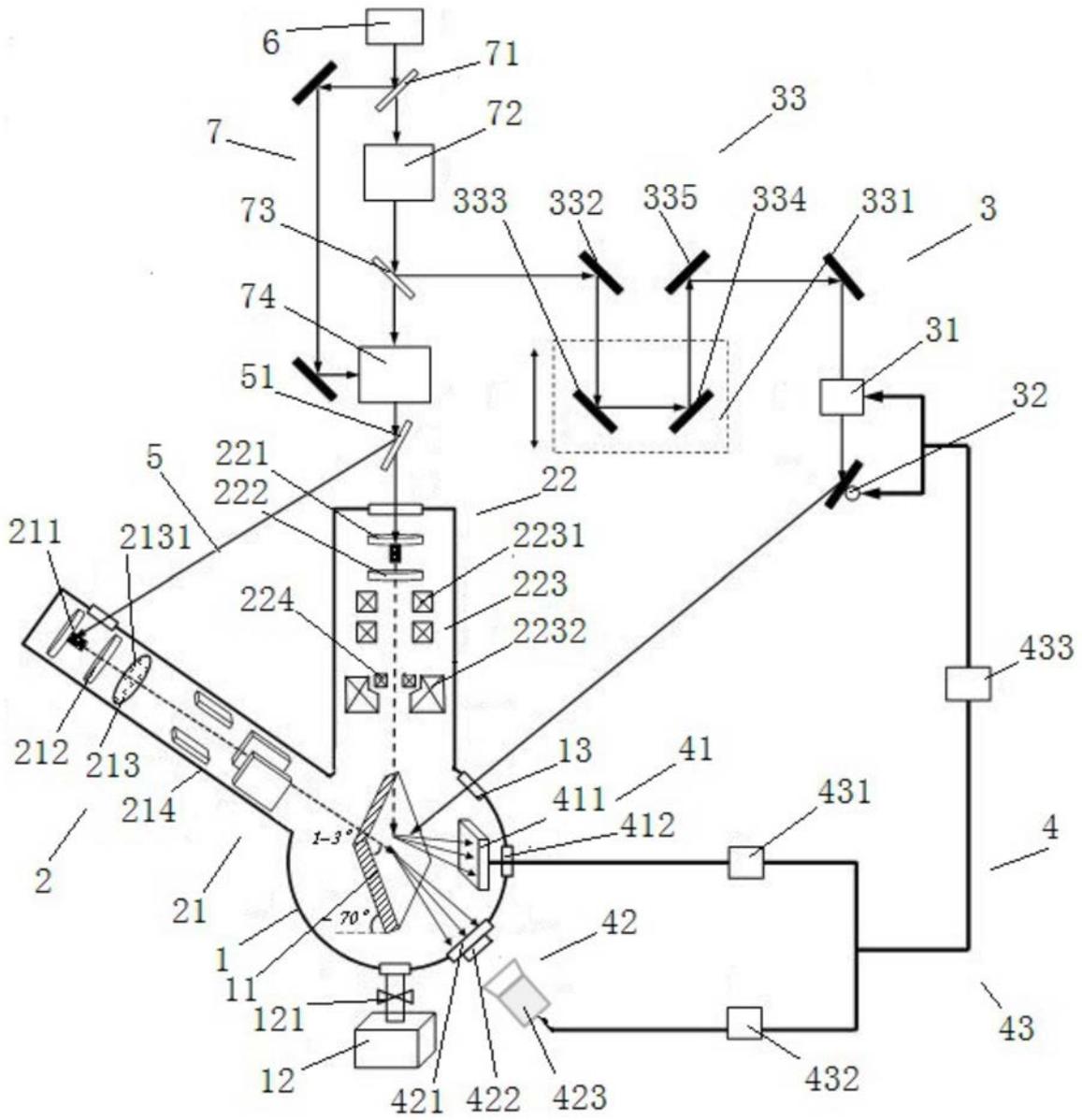


图1