



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108490375 A

(43)申请公布日 2018.09.04

(21)申请号 201810429272.1

(22)申请日 2018.04.24

(71)申请人 金华职业技术学院

地址 321017 浙江省金华市婺州街1188号

(72)发明人 张向平 方晓华 赵永建

(51)Int.Cl.

G01R 33/032(2006.01)

G01R 33/12(2006.01)

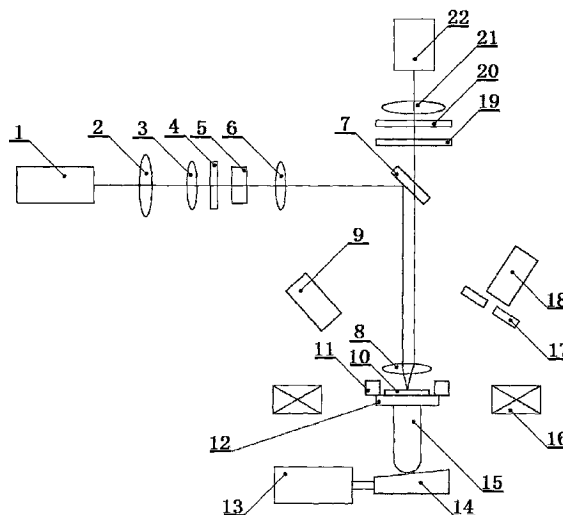
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种样品磁性的原位测量方法

(57)摘要

本发明涉及材料表面磁性测量领域,一种样品磁性的原位测量方法,测量装置包括光源、非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III、半透明反射镜、物镜、激光器、样品、样品台、衬底、步进电机、斜面台、顶针、磁体、狭缝光阑、光电探测器I、补偿器、检偏器、非球面镜IV、光电探测器II,无需光阑狭缝来改变样品上的照亮区域,来测量不同方向克尔灵敏度,减小了实验中的机械不稳定性,通过调整开启LED灯的数量和持续时间,调整不同方向的入射光强并根据获得的图像质量实时地调整入射光强度,得到分辨率较好的图像,特别是对某些磁畴磁化方向较为复杂的磁性样品,通过对样品背面施加应力的方法,能够原位研究样品的磁致弹性特性。



1. 一种样品磁性的原位测量方法,测量装置主要包括光源、非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III、半透明反射镜、物镜、激光器、样品、样品台、衬底、步进电机、斜面台、顶针、磁体、狭缝光阑、光电探测器I、补偿器、检偏器、非球面镜IV、光电探测器II,所述光源、非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III、半透明反射镜、物镜依次组成照明光路,所述物镜、半透明反射镜、补偿器、检偏器、非球面镜IV依次组成成像光路,所述激光器、样品表面、狭缝光阑、光电探测器I组成校准光路,样品位于衬底上表面,衬底的边缘固定于样品台,所述衬底导电,衬底厚度为300纳米,所述样品、衬底、顶针、斜面台依次位于物镜下方,光源发出的光依次经过非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III,被半透明反射镜转变为线偏振后偏向进入物镜,并汇聚到样品表面,被样品表面反射,样品表面的反射光经物镜汇集后依次经过半透明反射镜、补偿器、检偏器、非球面镜IV后进入光电探测器,光源由十二个LED灯组成,包括L1、L2、L3、L4、L5、L6、L7、L8、L9、L10、L11、L12,每个LED灯均连接有一根光纤的起始端,所述光纤的直径为1.5毫米,十二根光纤的末端均位于光源的输出端并以十字形排列,其中L3、L2、L1依次排列于正y轴,L4、L5、L6依次排列于负y轴,L10、L11、L12依次排列于正x轴,L9、L8、L7依次排列于负x轴,LED灯发出的光通过光纤引导至光源的输出端,每个LED灯输出功率均为150毫瓦,每个LED灯发出的光的波长均为600纳米,通过调整光路中的非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III和半透明反射镜,使得光源的输出端成像于物镜的背聚焦平面,所述步进电机连接斜面台,步进电机能够控制斜面台,斜面台仅能在水平方向平移,斜面台上表面与水平面夹角为三度,顶针为柱状且上端横截面为边长五毫米的正方形,所述顶针上端横截面与衬底的下表面接触,顶针仅能在竖直方向移动,顶针下端具有不锈钢球轴承,所述不锈钢球轴承与斜面台的上表面接触,当步进电机使得斜面台在水平方向平移时,从而能够控制顶针在竖直方向移动,并对衬底及样品施加应力,所述顶针、衬底和样品台之间通过电缆串联并连接至一个电流监控系统,从而形成电流监控回路,所述电流监控回路用于监控回路中的电流,以能够确定顶针与衬底的接触程度,

其特征是,所述一种样品磁性的原位测量方法的步骤如下:

一. 将预期达到的应力代入公式 $e_{xx} = \frac{t}{2R}$ 求得对应的样品的曲率半径R,其中t为样品与衬底厚度之和, e_{xx} 为直接应力;

二. 将上一步骤求得的R代入公式 $\frac{5y^2}{6R} = d$ 求得顶针位移量d,其中,y为顶针上端横截面的正方形的边长;

三. 步进电机控制斜面台在水平方向平移,从而控制顶针在竖直方向移动,并对衬底及样品施加应力,直到电流监控回路中探测到100nA以上电流,此时样品表面发生一定程度的弯曲;

四. 使得激光器发出的激光以与水平面垂直的方向入射到样品,激光位移x定义为激光入射位置与样品中心的距离,入射光与反射光之间夹角为 θ ;

五. 反射光进入光电探测器I,通过激光器和光电探测器I的位置,以及激光器到样品表面的距离L代入公式 $\theta = \arctan(P - \frac{x}{L})$,来确定角 θ ,其中P为光电探测器I与样品中心的水平

距离,由 $R = \frac{x}{\sin \frac{\theta}{2}}$ 代入公式 $e' = \frac{t}{2R}$, 求得应力 e' ;

六. 将应力 e' 与步骤一中预先设置的应力 e_{xx} 进行比较, 以此来校准顶针的位移量和获得的应力关系;

七. 测量不同方向克尔灵敏度:

测量纯极向克尔灵敏度的方法: 十二个LED灯全部开启, 或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像, 调整开启LED灯的数量, 规则是L1、L6、L7和L12必须同时开启或关闭, L2、L5、L8和L11必须同时开启或关闭, L3、L4、L9和L10必须同时开启或关闭, 如仅开启灯L1、L2、L5、L6、L7、L8、L11和L12, 或仅开启灯L1、L3、L4、L6、L7、L9、L10和L12, 处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

测量竖直方向的纵向克尔灵敏度的方法: 开启灯L1、L2、L3、L4、L5和L6, 或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像, 调整开启LED灯的数量, 规则是L1和L6必须同时开启或关闭, L2和L5必须同时开启或关闭, L3和L4必须同时开启或关闭, 如仅开启灯L1、L2、L5和L6, 或仅开启灯L1、L3、L4和L6, 处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

测量水平方向的纵向克尔灵敏度的方法: 开启灯L7、L8、L9、L10、L11和L12, 或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像, 调整开启LED灯的数量, 规则是L7和L12必须同时开启或关闭, L8和L11必须同时开启或关闭, L9和L10必须同时开启或关闭, 如仅开启灯L7、L8、L11和L12, 或仅开启灯L7、L9、L10和L12, 处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

抑制极向灵敏度的方法: 以脉冲序列模式开启和关闭LED: 开启灯L1、L2和L3两微秒后关闭, 然后开启灯L4、L5和L6两微秒后关闭, 如此重复; 或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像, 调整开启LED灯的数量和持续时间, 如开启灯L1和L3两微秒后关闭, 然后开启灯L4和L6两微秒后关闭, 接下来, 开启灯L2和L3两微秒后关闭, 然后开启灯L4和L5, 如此重复, 并与光电探测器II同步, 处理光电探测器II探测到的电流后得到两组连续的具有相反入射角的图像, 将两组图像相减, 从而得到纯面内灵敏度对应的磁畴图像;

获得多成分的成像的方法: 开启灯L1、L2和L3两微秒后关闭, 然后开启灯L7、L8和L9两微秒后关闭, 如此重复, 或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像, 调整开启LED灯的数量和持续时间, 如开启灯L1和L3两微秒后关闭, 然后开启灯L7和L9两微秒后关闭, 接下来, 开启灯L2和L3两微秒后关闭, 然后开启灯L8和L9, 如此重复, 并与光电探测器II同步, 处理光电探测器II探测到的电流后, 得到样品中在正交灵敏度条件下的磁畴图案;

八. 测量样品的难磁轴的磁光克尔磁滞回线得到各向异性磁场 H_a 。

一种样品磁性的原位测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料表面磁性测量领域,尤其是一种采用特殊光源及磁体结构的一种样品磁性的原位测量方法。

背景技术

[0002] 磁光克尔效应测量装置是材料表面磁性研究中的一种重要手段,其工作原理是基于由光与磁化介质间相互作用而引起的磁光克尔效应,其不仅能够进行单原子层厚度材料的磁性检测,而且可实现非接触式测量,在磁性超薄膜的磁有序、磁各向异性、层间耦合和磁性超薄膜的相变行为等方面的研究中都有重要应用。克尔显微镜是一种常用的装置,其工作原理为:平面偏振光与非透明的磁性媒介表面相互作用后,被反射的光的偏振平面产生了顺时针或逆时针的旋转,其旋转方向与媒介的磁化方向有关,通常反射光中的椭圆偏振是叠加的,反射光经过反射光路中的检偏器后,克尔旋转转变为磁畴对比度,从而得到样品表面不同区域的磁畴的磁化特征。现有技术缺陷一:传统的克尔显微镜使用机械机构来调整光阑狭缝来改变样品上的照亮区域,不易满足实验的精度要求;现有技术缺陷二:某些特殊的磁性样品,其磁畴的磁化方向较为复杂,现有技术的克尔显微镜得到的磁畴图像分辨率较低,需要多次改变狭缝光阑的位置来寻找合适的入射光条件以获得较高的图像分辨率,特别是在研究样品的磁致弹性等特性时,需要在不同方向有不同的入射光强,并根据获得的图像质量调整入射光强度,费时费力操作复杂,所述一种样品磁性的原位测量方法能解决问题。

发明内容

[0003] 为了解决上述问题,本发明采用十字形排列的LED灯组作为光源,无需光阑狭缝来改变样品上的照亮区域,能够测量并实时显示样品表面磁化矢量的x分量和y分量,并能够将样品表面磁化的面内分量和面外分量产生的对比度区分开来,增加了信噪比,并减少了寄生法拉第效应,提升了装置灵敏度。另外,本发明能够根据获得的图像质量实时地调整入射光强度,结构简单,操作简便,节省时间。

[0004] 本发明所采用的技术方案是:

[0005] 测量装置主要包括光源、非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III、半透明反射镜、物镜、激光器、样品、样品台、衬底、步进电机、斜面台、顶针、磁体、狭缝光阑、光电探测器I、补偿器、检偏器、非球面镜IV、光电探测器II,所述光源、非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III、半透明反射镜、物镜依次组成照明光路,所述物镜、半透明反射镜、补偿器、检偏器、非球面镜IV依次组成成像光路,所述激光器、样品表面、狭缝光阑、光电探测器I组成校准光路,样品位于衬底上表面,衬底的边缘固定于样品台,所述衬底导电,衬底厚度为300纳米,所述样品、衬底、顶针、斜面台依次位于物镜下方,光源发出的光依次经过非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III,被半透明反射镜转变为线偏振后偏向进入物镜,并汇聚到样品表面,被样品表面反射,样品表面的反射光经

物镜汇集后依次经过半透明反射镜、补偿器、检偏器、非球面镜IV后进入光电探测器,光源由十二个LED灯组成,包括L1、L2、L3、L4、L5、L6、L7、L8、L9、L10、L11、L12,每个LED灯均连接有一根光纤的起始端,所述光纤的直径为1.5毫米,十二根光纤的末端均位于光源的输出端并以十字形排列,其中L3、L2、L1依次排列于正y轴,L4、L5、L6依次排列于负y轴,L10、L11、L12依次排列于正x轴,L9、L8、L7依次排列于负x轴,LED灯发出的光通过光纤引导至光源的输出端,每个LED灯输出功率均为150毫瓦,每个LED灯发出的光的波长均为600纳米,通过调整光路中的非球面镜I、非球面镜II、视场光阑、偏振器、非球面镜III和半透明反射镜,使得光源的输出端成像于物镜的背聚焦平面,所述步进电机连接斜面台,步进电机能够控制斜面台,斜面台仅能在水平方向平移,斜面台上表面与水平面夹角为三度,顶针为柱状且上端横截面为边长五毫米的正方形,所述顶针上端横截面与衬底的下表面接触,顶针仅能在竖直方向移动,顶针下端具有不锈钢球轴承,所述不锈钢球轴承与斜面台的上表面接触,当步进电机使得斜面台在水平方向平移时,从而能够控制顶针在竖直方向移动,并对衬底及样品施加应力,所述顶针、衬底和样品台之间通过电缆串联并连接至一个电流监控系统,从而形成电流监控回路,所述电流监控回路用于监控回路中的电流,以能够确定顶针与衬底的接触程度。

[0006] 技术原理如下:样品中的极向克尔效应对应的样品磁化方向为面外,纵向克尔效应对应的样品磁化方向为面内并沿着光的入射面,横向克尔效应对应的样品磁化方向为面内并与光入射平面垂直。通过改变入射光偏振平面的方向、光的入射角的方向、样品的磁化方向,能够将样品中的极向克尔效应和纵向克尔效应区分开来,横向克尔效应会引起反射光的幅度变化。

[0007] 根据克尔效应的折射规则,能够得出一个简单的法则:探测得到的样品表面的克尔对比度与沿反射光束传播方向的磁化成分成正比。例如入射光垂直入射到样品表面,反射光垂直反射,样品中的面内磁化磁畴没有沿着反射光传播方向的分量,即没有显示出对比度。相反,样品中的面外磁化的磁畴中,存在最大的矢量分量,即显示出极向克尔效应的最大对比度。因此,为了得到面内磁化磁畴之间的对比度差异,即区分不同的面内磁化磁畴,需要斜入射光:根据入射光平面及入射光的方向,样品表面不同磁化方向的磁畴所反射的光在探测器中会表现出不同的克尔对比度,因此能够将不同磁化方向的磁畴区别开来。

[0008] 磁致弹性测量实验,目的是确定样品的磁致伸缩常数:

[0009] 通过测量样品的难磁轴的磁光克尔磁滞回线得到各向异性磁场 H_a ,并通过 H_a 来确定磁致伸缩常数,实验中需要沿样品的难磁轴方向施加一个应力,并在施加应力前、施加应力过程中以及施加应力后分别观察 H_a 的变化。

[0010] 所述一种样品磁性的原位测量方法的步骤如下:

[0011] 一.将预期达到的应力代入公式 $e_{xx} = \frac{t}{2R}$ 求得对应的样品的曲率半径 R ,其中 t 为样品与衬底厚度之和, e_{xx} 为直接应力;

[0012] 二.将上一步骤求得的 R 代入公式 $\frac{5y^2}{6R} = d$ 求得顶针位移量 d ,其中, y 为顶针上端横截面的正方形的边长;

[0013] 三.步进电机控制斜面台在水平方向平移,从而控制顶针在竖直方向移动,并对衬

底及样品施加应力,直到电流监控回路中探测到100nA以上电流,此时样品表面发生一定程度的弯曲;

[0014] 四.使得激光器发出的激光以与水平面垂直的方向入射到样品,激光位移 x 定义为激光入射位置与样品中心的距离,入射光与反射光之间夹角为 θ ;

[0015] 五.反射光进入光电探测器I,通过激光器和光电探测器I的位置,以及激光器到样品表面的距离 L 代入公式 $\theta = \arctan(P - \frac{x}{L})$,来确定角 θ ,其中 P 为光电探测器I与样品中心的

水平距离,由 $R = \frac{x}{\sin \frac{\theta}{2}}$ 代入公式 $e' = \frac{t}{2R}$,求得应力 e' ;

[0016] 六.将应力 e' 与步骤一中预先设置的应力 e_{xx} 进行比较,以此来校准顶针的位移量和获得的应力关系;

[0017] 七.测量不同方向克尔灵敏度:

[0018] 测量纯极向克尔灵敏度的方法:十二个LED灯全部开启,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量,规则是L1、L6、L7和L12必须同时开启或关闭,L2、L5、L8和L11必须同时开启或关闭,L3、L4、L9和L10必须同时开启或关闭,如仅开启灯L1、L2、L5、L6、L7、L8、L11和L12,或仅开启灯L1、L3、L4、L6、L7、L9、L10和L12,处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

[0019] 测量竖直方向的纵向克尔灵敏度的方法:开启灯L1、L2、L3、L4、L5和L6,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量,规则是L1和L6必须同时开启或关闭,L2和L5必须同时开启或关闭,L3和L4必须同时开启或关闭,如仅开启灯L1、L2、L5和L6,或仅开启灯L1、L3、L4和L6,处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

[0020] 测量水平方向的纵向克尔灵敏度的方法:开启灯L7、L8、L9、L10、L11和L12,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量,规则是L7和L12必须同时开启或关闭,L8和L11必须同时开启或关闭,L9和L10必须同时开启或关闭,如仅开启灯L7、L8、L11和L12,或仅开启灯L7、L9、L10和L12,处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

[0021] 抑制极向灵敏度的方法:以脉冲序列模式开启和关闭LED:开启灯L1、L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L4、L5和L6两微秒后关闭,如此重复;或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量和持续时间,如开启灯L1和L3两微秒后关闭,然后开启灯L4和L6两微秒后关闭,接下来,开启灯L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L4和L5,如此重复,并与光电探测器II同步,处理光电探测器II探测到的电流后得到两组连续的具有相反入射角的图像,将两组图像相减,从而得到纯面内灵敏度对应的磁畴图像;

[0022] 获得多成分的成像的方法:开启灯L1、L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L7、L8和L9两微秒后关闭,如此重复,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量和持续时间,如开启灯L1和L3两微秒后关闭,然后开启灯L7和L9两微秒后关闭,接下来,开启灯L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L8和L9,如此重复,并与光电探测器II同步,处理光电探测器II探测到的电流后,得到样品中在正交灵敏度条件下的磁畴图案;

[0023] 八.测量样品的难磁轴的磁光克尔磁滞回线得到各向异性磁场 H_a 。

[0024] 本发明的有益效果是:

[0025] 本发明采用LED灯阵列作为光源,无需光阑狭缝来改变样品上的照亮区域,来测量不同方向克尔灵敏度,减小了实验中的机械不稳定性。其次,根据不同的样品及实际得到的实验图像,通过调整开启LED灯的数量和持续时间,来获得分辨率较好的图像,特别是对某些磁畴磁化方向较为复杂的磁性样品。再者,通过对样品背面施加应力的方法,能够原位研究样品的磁致弹性特性。

附图说明

[0026] 下面结合本发明的图形进一步说明:

[0027] 图1是本发明示意图;

[0028] 图2是光源的侧面放大示意图。

[0029] 图中,1.光源,2.非球面镜I,3.非球面镜II,4.视场光阑,5.偏振器,6.非球面镜III,7.半透明反射镜,8.物镜,9.激光器,10.样品,11.样品台,12.衬底,13.步进电机,14.斜面台,15.顶针,16.磁体,17.狭缝光阑,18.光电探测器I,19.补偿器,20.检偏器,21.非球面镜IV,22.光电探测器II。

具体实施方式

[0030] 如图1是本发明示意图,如图2是光源的侧面放大示意图,左下角具有xy二维方向标,xy为平面直角坐标系,测量装置主要包括光源1、非球面镜I2、非球面镜II3、视场光阑4、偏振器5、非球面镜III6、半透明反射镜7、物镜8、激光器9、样品10、样品台11、衬底12、步进电机13、斜面台14、顶针15、磁体16、狭缝光阑17、光电探测器I18、补偿器19、检偏器20、非球面镜IV21、光电探测器II22,所述光源1、非球面镜I2、非球面镜II3、视场光阑4、偏振器5、非球面镜III6、半透明反射镜7、物镜8依次组成照明光路,所述物镜8、半透明反射镜7、补偿器19、检偏器20、非球面镜IV21依次组成成像光路,所述激光器9、样品10表面、狭缝光阑17、光电探测器I18组成校准光路,样品10位于衬底12上表面,衬底12的边缘固定于样品台11,所述衬底12导电,衬底厚度为300纳米,所述样品10、衬底12、顶针15、斜面台14依次位于物镜8下方,光源1发出的光依次经过非球面镜I2、非球面镜II3、视场光阑4、偏振器5、非球面镜III6,被半透明反射镜7转变为线偏振后偏向进入物镜8,并汇聚到样品10表面,被样品10表面反射,样品10表面的反射光经物镜8汇集后依次经过半透明反射镜7、补偿器19、检偏器20、非球面镜IV21后进入光电探测器22,光源1由十二个LED灯组成,包括L1、L2、L3、L4、L5、L6、L7、L8、L9、L10、L11、L12,每个LED灯均连接有一根光纤的起始端,所述光纤的直径为1.5毫米,十二根光纤的末端均位于光源1的输出端并以十字形排列,其中L3、L2、L1依次排列于正y轴,L4、L5、L6依次排列于负y轴,L10、L11、L12依次排列于正x轴,L9、L8、L7依次排列于负x轴,LED灯发出的光通过光纤引导至光源1的输出端,每个LED灯输出功率均为150毫瓦,每个LED灯发出的光的波长均为600纳米,通过调整光路中的非球面镜I2、非球面镜II3、视场光阑4、偏振器5、非球面镜III6和半透明反射镜7,使得光源的输出端成像于物镜8的背聚焦平面,所述步进电机13连接斜面台14,步进电机13能够控制斜面台14,斜面台14仅能在水平方向平移,斜面台14上表面与水平面夹角为三度,顶针15为柱状且上端横截面为边长五毫米的正方形,所述顶针15上端横截面与衬底12的下表面接触,顶针15仅能在竖直方向移动,顶针15下端具有不锈钢球轴承,所述不锈钢球轴承与斜面台14的上表面接触,当步进电机

13使得斜面台14在水平方向平移时,从而能够控制顶针15在竖直方向移动,并对衬底12及样品10施加应力,所述顶针15、衬底12和样品台10之间通过电缆串联并连接至一个电流监控系统,从而形成电流监控回路,所述电流监控回路用于监控回路中的电流,以能够确定顶针15与衬底12的接触程度。

[0031] 技术原理如下:样品中的极向克尔效应对应的样品磁化方向为面外,纵向克尔效应对应的样品磁化方向为面内并沿着光的入射面,横向克尔效应对应的样品磁化方向为面内并与光入射平面垂直。通过改变入射光偏振平面的方向、光的入射角的方向、样品的磁化方向,能够将样品中的极向克尔效应和纵向克尔效应区分开来,横向克尔效应会引起反射光的幅度变化。

[0032] 根据克尔效应的折射规则,能够得出一个简单的法则:探测得到的样品表面的克尔对比度与沿反射光束传播方向的磁化成分成正比。例如入射光垂直入射到样品表面,反射光垂直反射,样品中的面内磁化磁畴没有沿着反射光传播方向的分量,即没有显示出对比度。相反,样品中的面外磁化的磁畴中,存在最大的矢量分量,即显示出极向克尔效应的最大对比度。因此,为了得到面内磁化磁畴之间的对比度差异,即区分不同的面内磁化磁畴,需要斜入射光:根据入射光平面及入射光的方向,样品表面不同磁化方向的磁畴所反射的光在探测器中会表现出不同的克尔对比度,因此能够将不同磁化方向的磁畴区别开来。

[0033] 磁致弹性测量实验,目的是确定样品的磁致伸缩常数:

[0034] 通过测量样品的难磁轴的磁光克尔磁滞回线得到各向异性磁场 H_a ,并通过 H_a 来确定磁致伸缩常数,实验中需要沿样品的难磁轴方向施加一个应力,并在施加应力前、施加应力过程中以及施加应力后分别观察 H_a 的变化。

[0035] 所述一种样品磁性的原位测量方法的步骤如下:

[0036] 一.将预期达到的应力代入公式 $e_{xx} = \frac{t}{2R}$ 求得对应的样品的曲率半径 R ,其中 t 为样品与衬底厚度之和, e_{xx} 为直接应力;

[0037] 二.将上一步骤求得的 R 代入公式 $\frac{5y^2}{6R} = d$ 求得顶针位移量 d ,其中, y 为顶针15上端横截面的正方形的边长;

[0038] 三.步进电机13控制斜面台14在水平方向平移,从而控制顶针15在竖直方向移动,并对衬底12及样品10施加应力,直到电流监控回路中探测到100nA以上电流,此时样品表面发生一定程度的弯曲;

[0039] 四.使得激光器1发出的激光以与水平面垂直的方向入射到样品10,激光位移 x 定义为激光入射位置与样品中心的距离,入射光与反射光之间夹角为 θ ;

[0040] 五.反射光进入光电探测器I18,通过激光器1和光电探测器I18的位置,以及激光器1到样品表面的距离 L 代入公式 $\theta = \arctan(P - \frac{x}{L})$,来确定角 θ ,其中 P 为光电探测器I18与样品中心的水平距离,由

$R = \frac{x}{\sin \frac{\theta}{2}}$ 代入公式 $e' = \frac{t}{2R}$,求得应力 e' ;

[0041] 六.将应力 e' 与步骤一中预先设置的应力 e_{xx} 进行比较,以此来校准顶针15的位移量和获得的应力关系;

[0042] 七. 测量不同方向克尔灵敏度:

[0043] 测量纯极向克尔灵敏度的方法:十二个LED灯全部开启,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量,规则是L1、L6、L7和L12必须同时开启或关闭,L2、L5、L8和L11必须同时开启或关闭,L3、L4、L9和L10必须同时开启或关闭,如仅开启灯L1、L2、L5、L6、L7、L8、L11和L12,或仅开启灯L1、L3、L4、L6、L7、L9、L10和L12,处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

[0044] 测量竖直方向的纵向克尔灵敏度的方法:开启灯L1、L2、L3、L4、L5和L6,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量,规则是L1和L6必须同时开启或关闭,L2和L5必须同时开启或关闭,L3和L4必须同时开启或关闭,如仅开启灯L1、L2、L5和L6,或仅开启灯L1、L3、L4和L6,处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

[0045] 测量水平方向的纵向克尔灵敏度的方法:开启灯L7、L8、L9、L10、L11和L12,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量,规则是L7和L12必须同时开启或关闭,L8和L11必须同时开启或关闭,L9和L10必须同时开启或关闭,如仅开启灯L7、L8、L11和L12,或仅开启灯L7、L9、L10和L12,处理光电探测器探测到的电流后得到磁畴图像;

[0046] 抑制极向灵敏度的方法:以脉冲序列模式开启和关闭LED:开启灯L1、L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L4、L5和L6两微秒后关闭,如此重复;或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量和持续时间,如开启灯L1和L3两微秒后关闭,然后开启灯L4和L6两微秒后关闭,接下来,开启灯L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L4和L5,如此重复,并与光电探测器II同步,处理光电探测器II探测到的电流后得到两组连续的具有相反入射角的图像,将两组图像相减,从而得到纯面内灵敏度对应的磁畴图像;

[0047] 获得多成分的成像的方法:开启灯L1、L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L7、L8和L9两微秒后关闭,如此重复,或者是根据不同的样品及实际得到的实验图像,调整开启LED灯的数量和持续时间,如开启灯L1和L3两微秒后关闭,然后开启灯L7和L9两微秒后关闭,接下来,开启灯L2和L3两微秒后关闭,然后开启灯L8和L9,如此重复,并与光电探测器II同步,处理光电探测器II探测到的电流后,得到样品中在正交灵敏度条件下的磁畴图案;

[0048] 八. 测量样品的难磁轴的磁光克尔磁滞回线得到各向异性磁场 H_a 。

[0049] 采用LED灯阵列作为光源,无需光阑狭缝来改变样品上的照亮区域,来测量不同方向克尔灵敏度,减小了实验中的机械不稳定性。其次,在研究复杂磁畴特性的样品时,通过调整开启LED灯的数量和持续时间,调整不同方向的入射光强并根据获得的图像质量实时地调整入射光强度,得到分辨率较好的图像,特别是对某些磁畴磁化方向较为复杂的磁性样品。再者,通过对样品背面施加应力的方法,能够原位研究样品的磁致弹性特性。

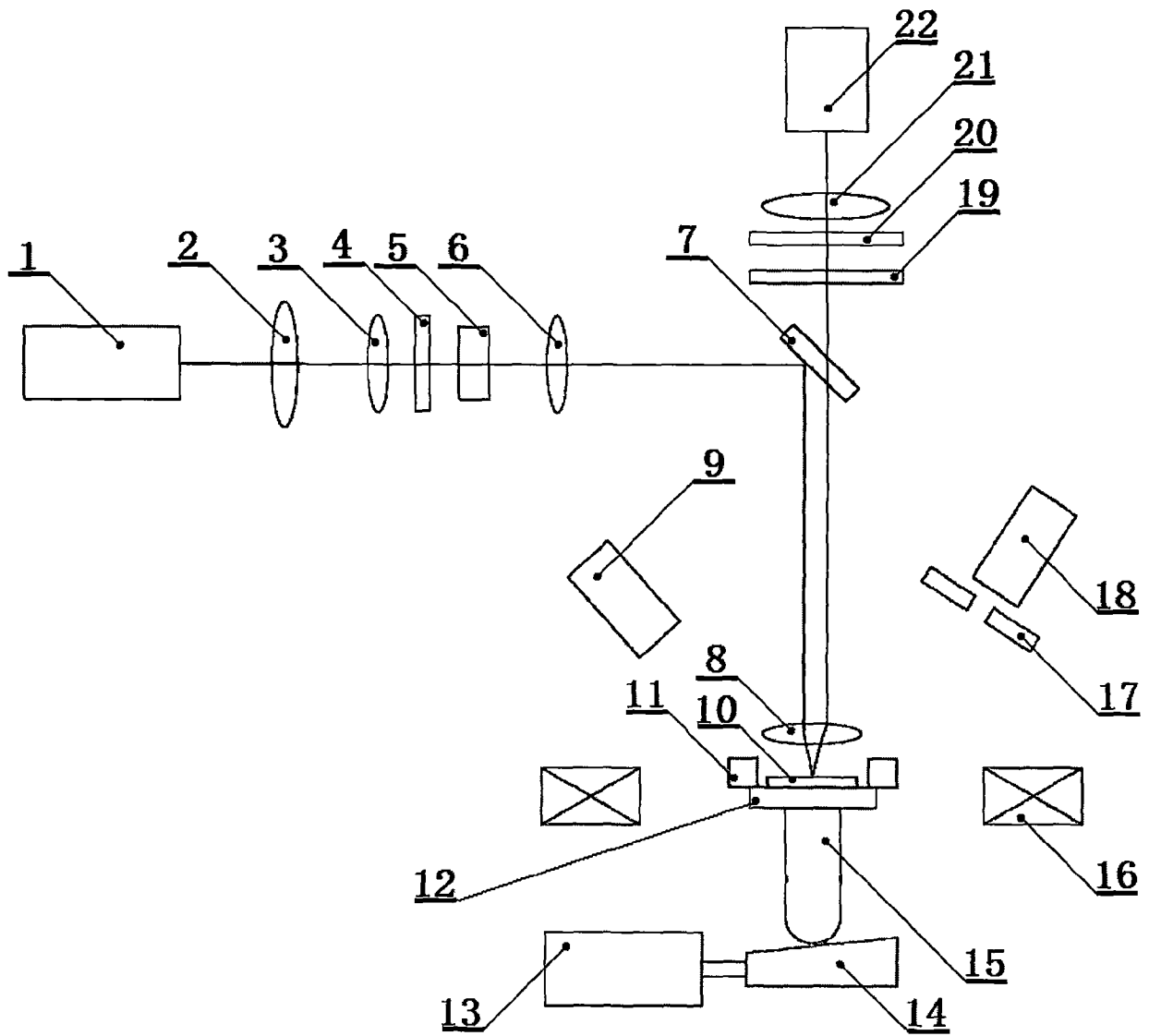


图1

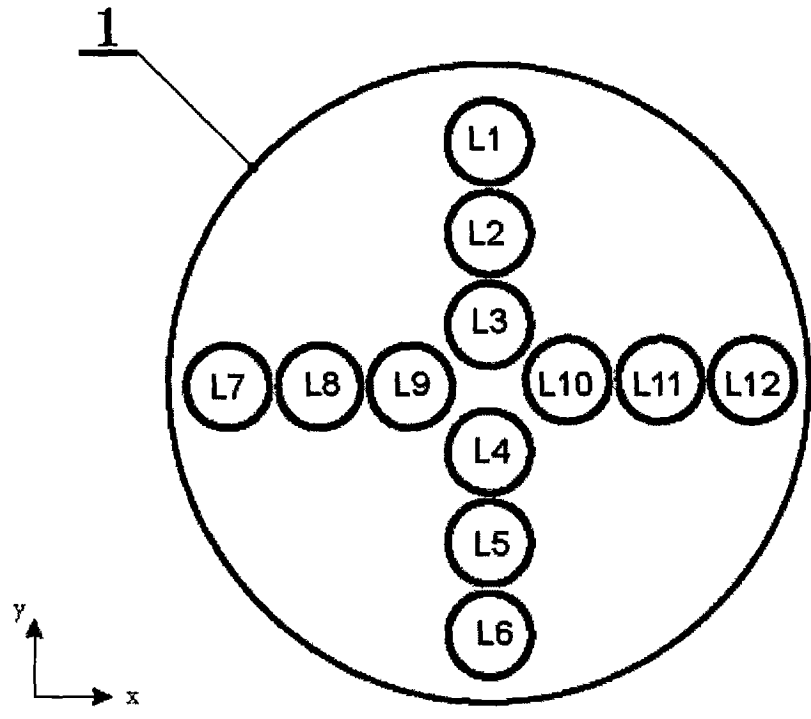


图2