



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108918424 B

(45) 授权公告日 2020.10.02

(21) 申请号 201810417270.0

(22) 申请日 2018.04.24

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108918424 A

(43) 申请公布日 2018.11.30

(73) 专利权人 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 方晓华 张向平 赵永建

(51) Int. Cl.
G01N 21/21 (2006.01)

- (56) 对比文件
- CN 101271059 A, 2008.09.24
 - CN 107525769 A, 2017.12.29
 - CN 1560594 A, 2005.01.05
 - CN 106442708 A, 2017.02.22
 - CN 2886552 Y, 2007.04.04
 - JP 2006017557 A, 2006.01.19
 - EP 2853886 A1, 2015.04.01
 - US 4410277 A, 1983.10.18
 - JP H03185338 A, 1991.08.13

Soldatov, I. V. Advanced MOKE magnetometry in wide-field Kerr-microscopy.《JOURNAL OF APPLIED PHYSICS》.2017,第122卷(第15期),
宋红章.磁畴的观察方法.《材料导报》.2010,第24卷(第17期),
方允樟.Fe基金属应力退火感生磁各向异性机理的AFM研究.《中国科学(E辑:技术科学)》.2008,(第3期),第428-441页.
李蒙蒙.基于磁光克尔效应的磁光材料表征方法.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技I辑》.2017,B020-60.
Wang, X.Optimization of polarizer azimuth in improving domain image contrast in magneto-optical Kerr microscope.《JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS》.2016,第399卷第19-21页.
张志东.磁性材料的磁结构、磁畴结构和拓扑磁结构.《物理学报》.2015,第64卷(第6期),

审查员 谢树语

权利要求书2页 说明书6页 附图1页

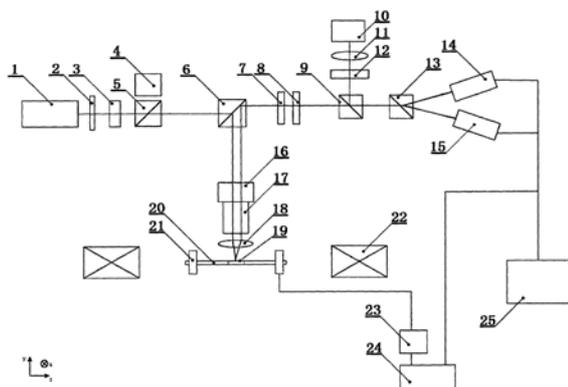
(54) 发明名称

一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法

(57) 摘要

本发明涉及材料磁畴测量领域,一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法,测量装置主要包括激光器、滤光片I、棱镜偏振器、白光光源、分束器I、分束器II、1/2波片、1/4波片、分束器III、照像机、非球面镜I、滤光片II、沃拉斯顿棱镜、光电探测器I、光电探测器II、位移台、物镜、非球面镜II、样品、样品管、拾波线圈组、磁体、前置放大器、示波器、计算机,能通过照像机观察激光器发出的激光束在样品表面的光点位置,将激光器发射的激光的偏振角设置为45度,当棱镜偏振器的偏振角设置为0度,则光束为S偏振,当棱镜偏振器的偏振角设置为90度,则光束

为P偏振,能获得样品中磁化磁畴分布的三维矢量图,并提供磁畴形状判别方法。



CN 108918424 B

1. 一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法,所述磁畴壁形状为在外磁场下磁性线材中传播的磁畴壁的形状,测量装置主要包括激光器、滤光片I、棱镜偏振器、白光光源、分束器I、分束器II、1/2波片、1/4波片、分束器III、照像机、非球面镜I、滤光片II、沃拉斯顿棱镜、光电探测器I、光电探测器II、位移台、物镜、非球面镜II、样品、样品管、拾波线圈组、磁体、前置放大器、示波器、计算机,xyz为空间直角坐标系,zx为水平面,xy平面与水平面垂直,所述激光器的波长在400纳米到800纳米范围可调,所述激光器、滤光片I、棱镜偏振器、分束器I、分束器II、物镜、非球面镜II、样品组成入射光路,所述样品、非球面镜II、物镜、分束器II、1/2波片、1/4波片、分束器III、沃拉斯顿棱镜、光电探测器I、光电探测器II组成反射光路,所述白光光源、分束器I、分束器II、物镜、非球面镜II、样品、1/2波片、1/4波片、分束器III、滤光片II、非球面镜I、照像机组成照明光路,使得能够通过照像机观察激光器发出的激光束在样品表面的光点位置,所述拾波线圈组由一对拾波线圈组成且通过电缆与前置放大器连接,前置放大器、示波器、计算机之间依次电缆连接,光电探测器I、光电探测器II均分别电缆连接计算机,将激光器发射的激光的偏振角设置为45度,当棱镜偏振器的偏振角设置为0度,则光束为S偏振,当棱镜偏振器的偏振角设置为90度,则光束为P偏振,所述1/2波片可旋转,能够用于补偿装置光路中的偏振畸变,其角度设置条件是,使得在非磁性样品表面的反射光通过1/2波片后的S偏振与P偏振的比例为1:2,所述1/4波片能够测量克尔椭圆率,在测量克尔旋转时再将1/4波片从光路中移除,光束的主要部分通过沃拉斯顿棱镜后分成S偏振光束和P偏振光束,分别进入光电探测器I和光电探测器II,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机,得到两个信号的和 V_{sum} 以及两个信号的差 V_{diff} ,从而得到克尔椭圆率 $\varepsilon = -\frac{V_{diff}}{2V_{sum}}$,物镜固定在位移台上且能够在zx平面内移动,精度100nm,通过移动位移台能够改变光束在样品表面的入射角,所述样品管嵌套于两个拾波线圈内且与拾波线圈共轴,所述样品位于样品管内且长度与样品管长度一致,

其特征是,所述一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法包括获得线材样品中磁化磁畴分布的三维矢量图方法和磁畴壁形状判别方法,

所述获得线材样品中磁化磁畴分布的三维矢量图方法的步骤如下:

一.通过照像机观察激光器发出的激光束在样品表面的光点位置,不同的光点位置对应于光在样品表面的不同入射角;

二.调节位移台使得激光束从物镜的不同位置穿过物镜,定义激光束入射到物镜中心位置的情况下,位移台上的坐标为 $x=0, y=0$;

三.调节位移台坐标 $x=1.0\text{mm}, y=2.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为40度,测量 m_x 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{+\gamma}$;

四.调节位移台坐标 $x=3.0\text{mm}, y=2.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为-40度,测量 m_x 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{-\gamma}$;

五.由公式 $\varepsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} + \varepsilon^{-\gamma})$ 和 $\varepsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} - \varepsilon^{-\gamma})$ 分别得到极向和纵向克尔效应的椭圆率 ε_1^{Pol} 和 ε_1^{Long} ;

六. 调节位移台坐标 $x=2.0\text{mm}$, $y=3.0\text{mm}$, 对应光的入射角 γ_i 为 -40° , 测量 m_y 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号, 光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{-\gamma}$;

七. 调节位移台坐标 $x=2.0\text{mm}$, $y=1.0\text{mm}$, 对应光的入射角 γ_i 为 40° , 测量 m_y 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号, 光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{+\gamma}$;

八. 由公式 $\varepsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} + \varepsilon^{-\gamma})$ 和 $\varepsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} - \varepsilon^{-\gamma})$ 分别得到极向和纵向克尔效应的椭圆率 ε_2^{Pol} 和 ε_2^{Long} ;

九. 由公式 $k = -\frac{n_i \sin \gamma_i}{n_m \cos \gamma_m}$ 计算极向和纵向克尔效应的校准系数, 并画出磁化的三维矢量图, 图中x、y、z方向信号强度的比例为 $\varepsilon_1^{Long} : \varepsilon_2^{Long} : \frac{k(\varepsilon_1^{Pol} + \varepsilon_2^{Pol})}{2}$;

m_x 、 m_y 和 m_z 分别为x、y、z三个方向的磁化矢量, n_i 是非磁性环境氛围的折射率, n_m 是磁性材料的折射率, γ_m 是折射角;

所述磁畴壁形状判别方法包括下列步骤:

一. 磁体产生周期性的斜坡磁场, 当样品中的磁畴壁通过拾波线圈时会在拾波线圈中形成电流突变, 拾波线圈组中产生的电流通过前置放大器放大后输入示波器, 在示波器中得到电流突变, 并标记相邻两个电流突变之间的时间 t_1 ;

二. 开启激光器, 激光束在样品表面反射后, 最终进入光电探测器I和光电探测器II, 当样品中的磁畴壁通过激光在样品上的光点时, 样品表面磁化的克尔效应在反射光中产生突变, 分别记录光电探测器I和光电探测器II中相邻的信号突变之间的时间 t_2 和 t_3 ;

三. 求出 t_1 和 $(t_2+t_3)/2$ 的比值, 从而得到磁畴壁在传播过程中的曲率。

一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料磁畴测量领域,尤其是一种能够研究磁性线材中不同区域的磁畴的磁化特征以及磁畴壁传播的形状的一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法。

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。磁性线材应用广泛,现有技术研究其磁性特征,包括不同磁畴的分布以及在外磁场作用下磁畴的动态变化,不同磁畴之间的交界面称为磁畴壁,因此磁性线材中的磁畴壁的传播特性反映了不同磁畴的变化,对新型的基于磁畴壁的逻辑器件的发展有重要的意义,尤其是磁畴壁的形状反映了不同磁畴之间的相互作用。现有技术缺陷是:为了获得磁化矢量的全部三个分量,需要改变样品、探测器、光源的相对位置并进行四个独立的测量,过程极为复杂,另外,现有技术无法得到磁性线材中传播的磁畴壁的形状,所述一种磁性线材的磁畴成像方法及磁畴壁形状判别方法能解决问题。

发明内容

[0003] 为了解决上述问题,本发明采用能够精密移动的高数值孔径的物镜,能够控制入射光束从物镜任意位置入射,以改变光在样品表面的入射角,从而使得纵向克尔效应产生的磁化矢量的面内分量以及极化克尔效应产生的面外分量都能够被探测,并通过分析极化和纵向克尔效应的对称性,能够将这两个分量分离开,通过四个连续的测量,能够直接得到磁化矢量的三个正交的分量,分辨率较高,操作过程简便。另外,通过将拾波线圈中得到的样品中磁畴壁传播的信号与克尔信号相结合,能够研究传播的磁畴壁的形状。本发明不仅能够测量磁性线材中的磁畴分布,而且能够研究磁畴壁的传播特性、传播的速率、磁畴壁的形状。

[0004] 本发明所采用的技术方案是:

[0005] 测量装置主要包括激光器、滤光片I、棱镜偏振器、白光源、分束器I、分束器II、1/2波片、1/4波片、分束器III、照像机、非球面镜I、滤光片II、沃拉斯顿棱镜、光电探测器I、光电探测器II、位移台、物镜、非球面镜II、样品、样品管、拾波线圈组、磁体、前置放大器、示波器、计算机,xyz为空间直角坐标系,zx为水平面,xy平面与水平面垂直,所述激光器的波长在400纳米到800纳米范围可调,所述激光器、滤光片I、棱镜偏振器、分束器I、分束器II、物

镜、非球面镜II、样品组成入射光路,所述样品、非球面镜II、物镜、分束器II、1/2波片、1/4波片、分束器III、沃拉斯顿棱镜、光电探测器I、光电探测器II组成反射光路,所述白光源、分束器I、分束器II、物镜、非球面镜II、样品、1/2波片、1/4波片、分束器III、滤光片II、非球面镜I、照像机组成照明光路,使得能够通过照像机观察激光器发出的激光束在样品表面的光点位置,所述拾波线圈组由一对拾波线圈组成且通过电缆与前置放大器连接,前置放大器、示波器、计算机之间依次电缆连接,光电探测器I、光电探测器II均分别电缆连接计算机,将激光器发射的激光的偏振角设置为45度,当棱镜偏振器的偏振角设置为0度,则光束为S偏振,当棱镜偏振器的偏振角设置为90度,则光束为P偏振,所述1/2波片可旋转,能够用于补偿装置光路中的偏振畸变,其角度设置条件是,使得在非磁性样品表面的反射光通过1/2波片后的S偏振与P偏振的比例为1:2,所述1/4波片能够测量克尔椭圆率,在测量克尔旋转时再将1/4波片从光路中移除,光束的主要部分通过沃拉斯顿棱镜后分成S偏振光束和P偏振光束,分别进入光电探测器I和光电探测器II,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机,得到两个信号的和 V_{sum} 以及两个信号的差 V_{diff} ,从而得到克尔椭圆率 $\varepsilon = -\frac{V_{diff}}{2V_{sum}}$,

物镜固定在位移台上且能够在zx平面内移动,精度100nm,通过移动位移台能够改变光束在样品表面的入射角,所述样品管嵌套于两个拾波线圈内且与拾波线圈共轴,所述样品位于样品管内且长度与样品管长度一致。

[0006] 获得线材样品中磁化磁畴分布的三维矢量图方法的步骤如下:

[0007] 一.通过照像机观察激光器发出的激光束在样品表面的光点位置,不同的光点位置对应于光在样品表面的不同入射角;

[0008] 二.调节位移台使得激光束从物镜的不同位置穿过物镜,定义激光束入射到物镜中心位置的情况下,位移台上的坐标为 $x=0, y=0$;

[0009] 三.调节位移台坐标 $x=1.0\text{mm}, y=2.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为40度,测量 m_x 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{+\gamma}$;

[0010] 四.调节位移台坐标 $x=3.0\text{mm}, y=2.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为-40度,测量 m_x 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{-\gamma}$;

[0011] 五.由公式 $\varepsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} + \varepsilon^{-\gamma})$ 和 $\varepsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} - \varepsilon^{-\gamma})$ 分别得到极向和纵向克尔效应的椭圆率 ε_1^{Pol} 和 ε_1^{Long} ;

[0012] 六.调节位移台坐标 $x=2.0\text{mm}, y=3.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为-40度,测量 m_y 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{-\gamma}$;

[0013] 七.调节位移台坐标 $x=2.0\text{mm}, y=1.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为40度,测量 m_y 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I和光电探测器II的输出信号分别输入计算机处理后得到 $\varepsilon^{+\gamma}$;

[0014] 八.由公式 $\varepsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} + \varepsilon^{-\gamma})$ 和 $\varepsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} - \varepsilon^{-\gamma})$ 分别得到极向和纵向克尔效应的

椭圆率 ε_2^{Pol} 和 ε_2^{Long} ;

[0015] 九.由公式 $k = -\frac{n_i \sin \gamma_i}{n_m \cos \gamma_m}$ 计算极向和纵向克尔效应的校准系数,并画出磁化的

三维矢量图,图中x、y、z方向信号强度的比例为 $\varepsilon_1^{Long} : \varepsilon_2^{Long} : \frac{k(\varepsilon_1^{Pol} + \varepsilon_2^{Pol})}{2}$;

[0016] m_x 、 m_y 和 m_z 分别为x、y、z三个方向的磁化矢量, n_i 是非磁性环境氛围的折射率, n_m 是磁性材料的折射率, γ_m 是折射角;

[0017] 磁畴壁是磁畴之间的交界面,磁畴壁的形状反映不同磁畴之间的相互作用,因此,既需要测量磁畴分布,也需要测量并判别磁畴壁形状,才能够全面了解磁化特征,所述磁畴壁形状为在外磁场下磁性线材中传播的磁畴壁的形状。

[0018] 磁畴壁形状判别方法:

[0019] 一.磁体产生周期性的斜坡磁场,当样品中的磁畴壁通过拾波线圈时会在拾波线圈中形成电流突变,拾波线圈组中产生的电流通过前置放大器放大后输入示波器,在示波器中得到电流突变,并标记相邻两个电流突变之间的时间 t_1 ;

[0020] 二.开启激光器,激光束在样品表面反射后,最终进入光电探测器I和光电探测器II,当样品中的磁畴壁通过激光在样品上的光点时,样品表面磁化的克尔效应会在反射光中产生突变,分别记录光电探测器I和光电探测器II中相邻的信号突变之间的时间 t_2 和 t_3 ;

[0021] 三.由于拾波线圈组测量的是样品中心附近的磁化,而光电探测器I和光电探测器II中得到的克尔信号反映的是样品表面附近的磁化,因此 t_1 和 $(t_2+t_3)/2$ 的比值能够反映磁畴壁在传播过程中的曲率。

[0022] 本发明的有益效果是:

[0023] 本发明采用特殊结构的物镜,能够控制入射光束从物镜任意位置入射,以改变光在样品表面的入射角,从而能够同时探测纵向克尔效应以及极化克尔效应的信号,并能够直接得到磁化矢量的三个正交的分量,得到磁化的三维矢量图,分辨率较高,操作过程简便。另外,通过将拾波线圈中得到的样品中磁畴壁传播的信号与克尔信号相结合,能够研究传播的磁畴壁的形状。

附图说明

[0024] 下面结合本发明的图形进一步说明:

[0025] 图1是本发明示意图。

[0026] 图中,1.激光器,2.滤光片I,3.棱镜偏振器,4.白光源,5.分束器I,6.分束器II,7.1/2波片,8.1/4波片,9.分束器III,10.照像机,11.非球面镜I,12.滤光片II,13.沃拉斯顿棱镜,14.光电探测器I,15.光电探测器II,16.位移台,17.物镜,18.非球面镜II,19.样品,20.样品管,21.拾波线圈组,22.磁体,23.前置放大器,24.示波器,25.计算机。

具体实施方式

[0027] 如图1是本发明示意图,左下角具有xyz三维方向标,xyz为空间直角坐标系,zx为水平面,xy平面与水平面垂直,测量装置主要包括激光器1、滤光片I2、棱镜偏振器3、白光源4、分束器I5、分束器II6、1/2波片7、1/4波片8、分束器III9、照像机10、非球面镜I11、滤光片

II12、沃拉斯顿棱镜13、光电探测器I14、光电探测器II15、位移台16、物镜17、非球面镜II18、样品19、样品管20、拾波线圈组21、磁体22、前置放大器23、示波器24、计算机25,所述激光器1的波长在400纳米到800纳米范围可调,所述激光器1、滤光片I2、棱镜偏振器3、分束器I5、分束器II6、物镜17、非球面镜II18、样品19组成入射光路,所述样品19、非球面镜II18、物镜17、分束器II6、1/2波片7、1/4波片8、分束器III9、沃拉斯顿棱镜13、光电探测器I14、光电探测器II15组成反射光路,所述白光源4、分束器I5、分束器II6、物镜17、非球面镜II18、样品19、1/2波片7、1/4波片8、分束器III9、滤光片II12、非球面镜I11、照像机10组成照明光路,使得能够通过照像机10观察激光器1发出的激光束在样品19表面的光点位置,所述拾波线圈组21由一对拾波线圈组成且通过电缆与前置放大器23连接,前置放大器23、示波器24、计算机25之间依次电缆连接,光电探测器I14、光电探测器II15均分别电缆连接计算机25,将激光器1发射的激光的偏振角设置为45度,当棱镜偏振器3的偏振角设置为0度,则光束为S偏振,当棱镜偏振器3的偏振角设置为90度,则光束为P偏振,所述1/2波片7可旋转,能够用于补偿装置光路中的偏振畸变,其角度设置条件是,使得在非磁性样品表面的反射光通过1/2波片7后的S偏振与P偏振的比例为1:2,所述1/4波片8能够测量克尔椭圆率,在测量克尔旋转时再将1/4波片8从光路中移除,光束的主要部分通过沃拉斯顿棱镜13后分成S偏振光束和P偏振光束,分别进入光电探测器I14和光电探测器II15,光电探测器I14和光电探测器II15的输出信号分别输入计算机25,得到两个信号的和 V_{sum} 以及两个信号的差 V_{diff} ,从而得到克尔椭圆率 $\epsilon = -\frac{V_{diff}}{2V_{sum}}$,物镜17固定在位移台16上且能够在zx平面内移动,精度100nm,通过移动位移台16能够改变光束在样品19表面的入射角,所述样品管20嵌套于两个拾波线圈内且与拾波线圈21共轴,所述样品19位于样品管20内且长度与样品管长度一致。

[0028] 技术原理如下:

[0029] 在测量任意方向的磁化的磁光克尔效应时,如果样品的磁化方向是任意的,克尔信号通常为三个克尔效应的混合,能够通过测量中使用S偏振光来排除横向克尔效应,即当磁化平行于光的电场矢量时不存在克尔效应,但是,对于斜入射的S偏振光,测得的信号总是极向和纵向克尔效应的贡献的总和,为了将极向和纵向克尔效应分离开来,本发明利用极向和纵向克尔效应的对称性,对于右旋和左旋偏振的探测光,磁化媒介的折射系数具有不同的值 $n = n_0(1 \mp \frac{1}{2}Q \cdot e_k)$,其中 n_0 是非磁性层的复折射率, Q 是与磁化成正比的Voigt矢量, e_k 是光传播方向的单位矢量。右旋和左旋偏振的不同的折射率导致了由样品磁化引起的光偏振的变化,由 $\Theta = \theta + i\epsilon$ 表示,其中 θ 为克尔旋转,即产生的椭圆偏振的方位角, ϵ 为克尔椭圆率,即产生的椭圆偏振的椭圆率,根据单个非磁性-磁性界面和S偏振光的菲涅尔反射系数,对正负入射角分别得到两个克尔椭圆率 $\epsilon^{+\gamma} = \epsilon^{Pol} + \epsilon^{Long}$ 和 $\epsilon^{-\gamma} = \epsilon^{Pol} - \epsilon^{Long}$,其中, ϵ^{Pol} 为极向克尔效应引起的克尔椭圆率, ϵ^{Long} 为纵向克尔效应引起的克尔椭圆率,为了将两个效应分离,需要进行两个实验来测量包含极向和纵向克尔效应混合的克尔椭圆率。 m_x 、 m_y 和 m_z 分别为x、y、z三个方向的磁化矢量,首先,以入射角 $+\gamma$ 测量 $\epsilon^{+\gamma}$,其次以入射角 $-\gamma$ 测量 $\epsilon^{-\gamma}$,从这两个测量,能够分离极向椭圆率 $\epsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\epsilon^{+\gamma} + \epsilon^{-\gamma})$ 和纵向椭圆率 $\epsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\epsilon^{+\gamma} - \epsilon^{-\gamma})$

的克尔贡献,得到三个磁化矢量中的 m_x 和 m_z ,为了得到 m_y ,将入射光束相对于面外方向旋转90度后重复上述测量流程;为了合并单独测量的 m_x 、 m_y 和 m_z 成分,需要保证三者有同样的尺度,现有技术通常通过使得样品在每个方向(x,y,z)的磁化达到饱和来测量克尔椭圆最大值以得到每个方向磁化成分校准系数。

[0030] 本发明无需样品磁化饱和来测量 m_x 、 m_y 和 m_z 成分,方法为:如果在所有测量中光束的入射角保持一定且偏振为S,那么 m_x 和 m_y 成分能够直接合并,因为都是通过纵向克尔效应测量的,为了将 m_z 成分与 m_x 和 m_y 联系起来,需要知道极向和纵向克尔效应的校准系数,从已知的块状磁性材料的光学常数来计算校准系数

$$[0031] \quad k = \frac{\Theta^{Pol}}{\Theta^{Long}} = \frac{\theta^{Pol} + i\varepsilon^{Pol}}{\theta^{Long} + i\varepsilon^{Long}} = -\frac{n_i \sin \gamma_i}{n_m \cos \gamma_m},$$

[0032] 其中 n_i 是非磁性环境氛围的折射率, n_m 是磁性材料的折射率, γ_i 是入射角, γ_m 是折射角。 Θ^{Pol} 是极向克尔效应引起的光偏振变化, Θ^{Long} 是纵向克尔效应引起的光偏振变化, θ^{Pol} 是极向克尔效应引起的克尔旋转, θ^{Long} 是纵向克尔效应引起的克尔旋转。

[0033] 获得线材样品中磁化磁畴分布的三维矢量图方法的步骤如下:

[0034] 一.通过照像机10观察激光器1发出的激光束在样品19表面的光点位置,不同的光点位置对应于光在样品表面的不同入射角;

[0035] 二.调节位移台16使得激光束从物镜17的不同位置穿过物镜17,定义激光束入射到物镜17中心位置的情况下,位移台上的坐标为 $x=0, y=0$;

[0036] 三.调节位移台16坐标 $x=1.0\text{mm}, y=2.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为40度,测量 m_x 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I14和光电探测器II15的输出信号分别输入计算机25处理后得到 $\varepsilon^{+\gamma}$;

[0037] 四.调节位移台16坐标 $x=3.0\text{mm}, y=2.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为-40度,测量 m_x 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I14和光电探测器II15的输出信号分别输入计算机25处理后得到 $\varepsilon^{-\gamma}$;

[0038] 五.由公式 $\varepsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} + \varepsilon^{-\gamma})$ 和 $\varepsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} - \varepsilon^{-\gamma})$ 分别得到极向和纵向克尔效应的椭圆率 ε_1^{Pol} 和 ε_1^{Long} ;

[0039] 六.调节位移台16坐标 $x=2.0\text{mm}, y=3.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为-40度,测量 m_y 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I14和光电探测器II15的输出信号分别输入计算机25处理后得到 $\varepsilon^{-\gamma}$;

[0040] 七.调节位移台16坐标 $x=2.0\text{mm}, y=1.0\text{mm}$,对应光的入射角 γ_i 为40度,测量 m_y 方向的包含了极向和纵向克尔效应的信号,光电探测器I14和光电探测器II15的输出信号分别输入计算机25处理后得到 $\varepsilon^{+\gamma}$;

[0041] 八.由公式 $\varepsilon^{Pol} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} + \varepsilon^{-\gamma})$ 和 $\varepsilon^{Long} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{+\gamma} - \varepsilon^{-\gamma})$ 分别得到极向和纵向克尔效应的椭圆率 ε_2^{Pol} 和 ε_2^{Long} ;

[0042] 九.由公式 $k = -\frac{n_i \sin \gamma_i}{n_m \cos \gamma_m}$ 计算极向和纵向克尔效应的校准系数,并画出磁化的

三维矢量图,图中x、y、z方向信号强度的比例为 $\varepsilon_1^{Long} : \varepsilon_2^{Long} : \frac{k(\varepsilon_1^{Pol} + \varepsilon_2^{Pol})}{2}$;

[0043] m_x 、 m_y 和 m_z 分别为x、y、z三个方向的磁化矢量, n_i 是非磁性环境氛围的折射率, n_m 是磁性材料的折射率, γ_m 是折射角;

[0044] 磁畴壁是磁畴之间的交界面,磁畴壁的形状反映不同磁畴之间的相互作用,因此,既需要测量磁畴分布,也需要测量并判别磁畴壁形状,才能够全面了解磁化特征,所述磁畴壁形状为在外磁场下磁性线材中传播的磁畴壁的形状。

[0045] 磁畴壁形状判别方法:

[0046] 一.磁体22产生周期性的斜坡磁场,当样品中的磁畴壁通过拾波线圈时会在拾波线圈中形成电流突变,拾波线圈组21中产生的电流通过前置放大器23放大后输入示波器24,在示波器中得到电流突变,并标记相邻两个电流突变之间的时间 t_1 ;

[0047] 二.开启激光器1,激光束在样品19表面反射后,最终进入光电探测器I14和光电探测器II15,当样品中的磁畴壁通过激光在样品上的光点时,样品表面磁化的克尔效应会在反射光中产生突变,分别记录光电探测器I14和光电探测器II15中相邻的信号突变之间的时间 t_2 和 t_3 ;

[0048] 三.由于拾波线圈组测量的是样品中心附近的磁化,而光电探测器I14和光电探测器II15中得到的克尔信号反映的是样品表面附近的磁化,因此 t_1 和 $(t_2+t_3)/2$ 的比值能够反映磁畴壁在传播过程中的曲率。

[0049] 本发明通过位移台驱动的物镜,能够控制入射光束从物镜任意位置入射,以改变光在样品表面的入射角,能够同时探测纵向克尔效应产生的磁化矢量的面内分量以及极化克尔效应产生的面外分量,并通过分析极化和纵向克尔效应的对称性,能够将这两个分量分离开,通过连续的测量,能够直接得到磁化矢量的三个正交的分量,分量之间经过简单的校准过程,得到磁化的三维矢量图,分辨率较高,操作过程简便。另外,通过将拾波线圈中得到的样品中磁畴壁传播的信号与克尔信号相结合,能够研究传播的磁畴壁的形状。

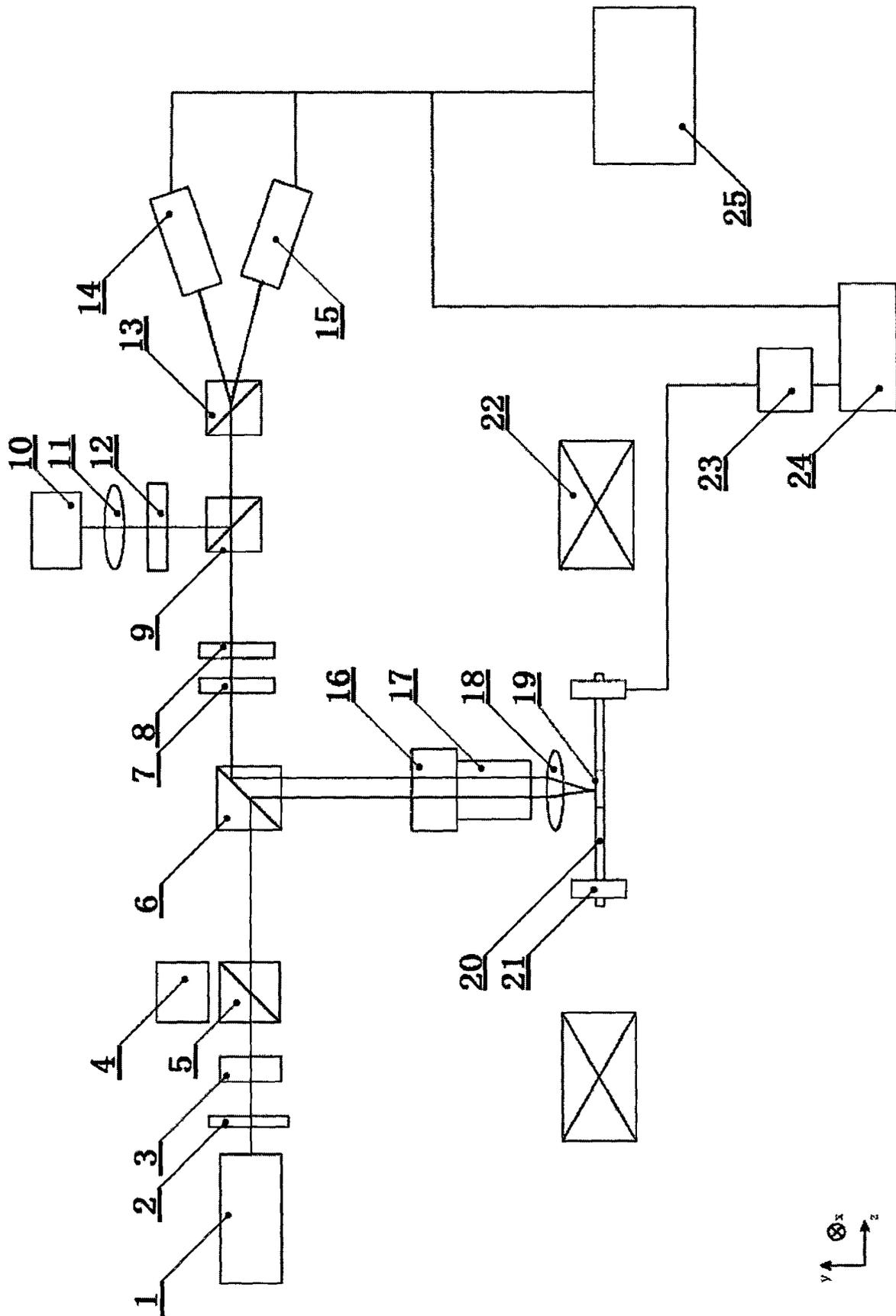


图1