



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104864815 B

(45)授权公告日 2018.02.09

(21)申请号 201410057946.1

(22)申请日 2014.02.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104864815 A

(43)申请公布日 2015.08.26

(73)专利权人 睿励科学仪器(上海)有限公司
地址 201203 上海市浦东新区华佗路68号
张江创业园6幢

(72)发明人 钟凤娇 高海军 党江涛

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256
代理人 郑立柱 邵桂礼

(51)Int.Cl.
G01B 11/06(2006.01)
G01N 21/21(2006.01)

(56)对比文件

CN 101936774 A,2011.01.05,
CN 102878940 A,2013.01.16,
CN 101666626 A,2010.03.10,
US 5581350 A,1996.12.03,
US 2005/0036143 A1,2005.02.17,
侯俊峰等.自校准法测量波片相位延迟.《中国激光》.2012,第39卷(第4期),

审查员 黄莉

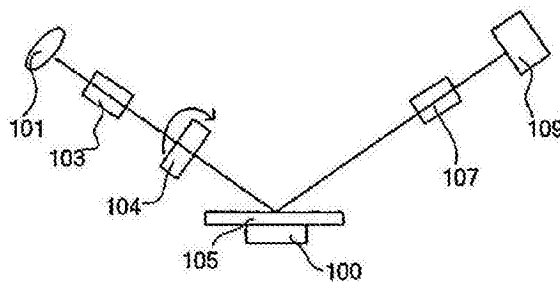
权利要求书2页 说明书10页 附图1页

(54)发明名称

校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法

(57)摘要

本发明提供一种校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,该方法包括如下步骤:
i)找出应力元件的本征坐标系;ii)测量出应力元件在本征坐标系下的Mueller矩阵;iii)将应力元件装调到目标椭偏仪中。通过对硬件装调的设计,物理上减小了应力元件的作用,应力元件引入的误差降到最小;通过硬件装调,使得定标变得简单,定标量减少,降低了数学算法的复杂度。



1. 一种校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,包括如下步骤:
 - i) 找出所述应力元件的本征坐标系;
 - ii) 测量出所述应力元件在所述本征坐标系下的Mueller矩阵;
 - iii) 将所述应力元件装调到目标椭偏仪中,其中将所述应力元件装调成其本征坐标系与所述目标椭偏仪的系统坐标系成一夹角C,其中该夹角C与所述目标椭偏仪的转动部件以及所述应力元件在所述目标椭偏仪中的位置有关。
2. 如权利要求1所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,所述步骤i)包括如下子步骤:
 - 1) 将样品和应力元件分别装载到实验椭偏仪中,并将应力元件布置成位于样品和实验椭偏仪的转动部件之间且可旋转;
 - 2) 控制应力元件旋转,每旋转一个角度后固定,然后通过测量获取经过样品反射后的光强信号;
 - 3) 对所获取的光强信号进行傅立叶分析,计算得到傅立叶系数;
 - 4) 根据傅立叶系数在实验椭偏仪的特定系统参数下的特征值来判定此时应力元件的本征坐标系与实验椭偏仪的系统坐标系是否一致,如一致则进行下一步骤,如不一致则回到步骤2);
 - 5) 标定应力元件的本征坐标系。
3. 如权利要求2所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述子步骤1)中,所述应力元件被装载在所述实验椭偏仪中的可旋转部件上从而实现可旋转。
4. 如权利要求3所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,所述可旋转部件是驱动电机。
5. 如权利要求1至4任一项所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,所述应力元件是带有双折射的元件。
6. 如权利要求5所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,所述带有双折射的元件是聚焦透镜或滤波元件。
7. 如权利要求2至4任一项所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,所述实验椭偏仪的转动部件是起偏器、验偏器或补偿器。
8. 如权利要求7所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述子步骤4)中,当所述转动部件是起偏器且测量的方位角 $A=0^\circ$ 时,或者当所述转动部件是验偏器且测量的方位角 $P=0^\circ$ 时,如果计算得到的傅立叶系数满足 $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$,则判定此时所述应力元件的本征坐标系与所述实验椭偏仪的系统坐标系一致。
9. 如权利要求7所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述子步骤4)中,当所述转动部件是补偿器,并且当测量的方位角 $P=0^\circ$ 和 $A=0^\circ$ 时,如果计算得到的傅立叶系数满足 $\beta_4 \approx 0$,则判定此时所述应力元件的本征坐标系与所述实验椭偏仪的系统坐标系一致。
10. 如权利要求1至4任一项所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述步骤ii)中,将所述应力元件当作透射样品在直通光路型椭偏仪中进行所述测量。

11. 如权利要求1所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述步骤iii)中,当所述目标椭偏仪的转动部件为验偏器时,装调所述目标椭偏仪中的样品与起偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系的方向与起偏器的方位角 P 一致,即 $C=P$;和/或装调所述目标椭偏仪中的样品与验偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系方向与所述目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

12. 如权利要求1所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述步骤iii)中,当所述目标椭偏仪的转动部件为起偏器时,装调所述目标椭偏仪中的样品与验偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系的方向与验偏器的方位角 A 一致,即 $C=A$;和/或装调所述目标椭偏仪中的样品与起偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系方向与所述目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

13. 如权利要求1所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,在所述步骤iii)中,当所述目标椭偏仪的转动部件为补偿器、固定部件为验偏器和起偏器时,将所述目标椭偏仪中的样品与固定部件之间的所述应力元件装调成其本征坐标系的方向与相应的所述固定部件的方位角一致;和/或将所述目标椭偏仪中的样品与所述补偿器之间的所述应力元件装调成其本征坐标系方向与所述目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

14. 如权利要求2至4任一项所述的校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其特征在于,所述实验椭偏仪与所述目标椭偏仪为同一个椭偏仪。

校准椭圆偏测量中应力元件带来的误差影响的方法

技术领域

[0001] 本专利涉及椭圆偏测量技术,尤其涉及到光谱型椭圆偏仪中光学元件应力影响的校准。

背景技术

[0002] 在大多数物理、化学和材料领域的研究中,测量材料的光学特性和薄膜厚度非常重要。椭圆偏振法是一种测量和研究材料表面及其膜层特性的先进方法,其具有测量灵敏,精度高,快速和非接触等特点,广泛应用于半导体制造,光学镀膜和材料分析中。椭圆偏测量根据测量方式分为反射型测量和透射型测量,根据测量波段分为光谱型和单波长型,其中光谱型椭圆偏仪的应用更为广泛。

[0003] 椭圆偏测量中,将由入射光所在的与样品表面垂直的面定为入射面,将垂直于入射面的光的电矢量称为S光,在入射面内的电矢量称为P光,测量样品对它们的反射率 R_p 和 R_s 的复数比率,并由此定义椭圆偏参量 φ, Δ 。将测量获得的反射率 R_p 和 R_s 代入如下公式:

$$[0004] \quad \frac{R_p}{R_s} = \left| \frac{R_p}{R_s} \right| \exp[i(\delta_p - \delta_s)] = \tan \varphi \exp i\Delta$$

$$[0005] \quad \text{从而可以得出: } \tan \varphi = \left| \frac{R_p}{R_s} \right|, \Delta = \delta_p - \delta_s$$

[0006] 其中, $\tan \varphi$ 为反射系数的振幅比,而 Δ 为经过样品反射后P光与S光的相位差。

[0007] 经过上述测量计算得到椭圆偏参量后,即可根据椭圆偏参量与样品参数的关系得到样品的膜厚、折射率等信息。

[0008] 在实际的测量系统中,椭圆偏仪一般由光源,起偏器,补偿器,透镜,样品,验偏器,探测器等组成,其他的元件可能还有各种滤波元件比如光阑,样品室的入射出射玻璃窗口等。组成系统的元件的非理想会引入不同程度不同类型的误差,比如光源的部分偏振性,起偏器的非理想等。因此,误差的修正对于椭圆偏测量的准确性和精确度非常重要。

[0009] 尽管现有技术中出现了各种各样的对椭圆偏仪的校准方法,但这些校准方法中往往忽略掉透镜、光阑、玻璃窗口等通常被认为是各向同性的透射元件所带来的误差。而实际上,这些元件都存在应力(因而可称为应力元件),体现出不同程度的各向异性,在测量中会影响椭圆偏参量的值,尤其对于超薄的膜厚测量,其带来的误差对测量结果影响很大,应力的校准就显得至关重要。关于元件应力的校准,Woolam公司的专利US6,804,004利用纯数学的回归方法来定标窗口元件的应力影响,把窗口作为一个波片模型来处理,需要很多的数学模型假设和复杂的数学拟合计算过程,且实际情况也可能更复杂。因此,能否更方便、更精确地校准应力带来的误差影响,对于椭圆偏仪器的设计与制造具有现实意义。

发明内容

[0010] 本发明的目的是提供一种新的校准椭圆偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,

硬件设计与数学算法相结合,显著提高椭偏仪测量精度和准确度。

[0011] 为此,根据本发明的一个方面,提供一种校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,其包括如下步骤:

[0012] i) 找出所述应力元件的本征坐标系;

[0013] ii) 测量出所述应力元件在所述本征坐标系下的Mueller矩阵;

[0014] iii) 将所述应力元件装调到目标椭偏仪中。

[0015] 在本发明的该方面,通过步骤i) 中对本征坐标系的确定,应力元件的Mueller矩阵中的总共16个未知量可以减少到8个未知量;而经过步骤ii),可通过测量确定上述8个未知量;在应力元件的未知量都明确的情况下,在通过步骤iii) 硬件装调后的目标椭偏仪中,应力元件带来的误差影响即可实现校准。

[0016] 优选地,上述步骤i) 包括如下子步骤:

[0017] 1) 将样品和应力元件分别装载到实验椭偏仪中,并将应力元件布置成位于样品和实验椭偏仪的转动部件之间且可旋转;

[0018] 2) 控制应力元件旋转,每旋转一个角度后固定,然后通过测量获取经过样品反射后的光强信号;

[0019] 3) 对所获取的光强信号进行傅立叶分析,计算得到傅立叶系数;

[0020] 4) 根据傅立叶系数在实验椭偏仪的特定系统参数下的特征值来判定此时应力元件的本征坐标系与实验椭偏仪的系统坐标系是否一致,如一致则进行下一步骤,如不一致则回到步骤2);

[0021] 5) 标定应力元件的本征坐标系。

[0022] 进一步优选地,在上述子步骤1) 中,所述应力元件被装载在所述实验椭偏仪中的可旋转部件上从而实现可旋转。

[0023] 再进一步优选地,上述可旋转部件是驱动电机。

[0024] 优选地,上述应力元件是带有双折射的元件。

[0025] 进一步优选地,上述带有双折射的元件是聚焦透镜或滤波元件。

[0026] 优选地,上述实验椭偏仪的转动部件是起偏器、验偏器或补偿器。

[0027] 进一步优选地,在上述子步骤4) 中,当所述转动部件是起偏器且测量的方位角 $A=0^\circ$ 时,或者当所述转动部件是验偏器且测量的方位角 $P=0^\circ$ 时,如果计算得到的傅立叶系数满足 $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$,则判定此时所述应力元件的本征坐标系与所述实验椭偏仪的系统坐标系一致。

[0028] 或者,在上述子步骤4) 中,当所述转动部件是补偿器且测量的方位角 $P=0^\circ$ 和 $A=0^\circ$ 时,如果计算得到的傅立叶系数满足 $\beta_4 \approx 0$,则判定此时所述应力元件的本征坐标系与所述实验椭偏仪的系统坐标系一致。

[0029] 优选地,在上述步骤ii) 中,将所述应力元件当作透射样品在直通光路型椭偏仪中进行所述测量。

[0030] 优选地,在上述步骤iii) 中,将所述应力元件装调成其本征坐标系与所述目标椭偏仪的系统坐标系成一夹角 C ,该夹角 C 与所述目标椭偏仪的转动部件以及所述应力元件在所述目标椭偏仪中的位置有关。

[0031] 进一步优选地,在上述步骤iii) 中,当所述目标椭偏仪的转动部件为验偏器时,装

调所述目标椭偏仪中的样品与起偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系的方向与起偏器的方位角 P 一致,即 $C=P$;和/或装调所述目标椭偏仪中的样品与验偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系方向与所述目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

[0032] 这样的设置使得应力元件的影响变小,也就是应力元件的Mueller矩阵中的未知量变少。

[0033] 或者,在上述步骤iii)中,当所述目标椭偏仪的转动部件为起偏器时,装调所述目标椭偏仪中的样品与验偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系的方向与验偏器的方位角 A 一致,即 $C=A$;和/或装调所述目标椭偏仪中的样品与起偏器之间的所述应力元件使其本征坐标系方向与所述目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

[0034] 或者,在上述步骤iii)中,当所述目标椭偏仪的转动部件为补偿器、固定部件为验偏器和起偏器时,将所述目标椭偏仪中的样品与固定部件之间的所述应力元件装调成其本征坐标系的方向与相应的所述固定部件的方位角一致;和/或将所述目标椭偏仪中的样品与所述补偿器之间的所述应力元件装调成其本征坐标系方向与所述目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

[0035] 优选地,上述实验椭偏仪与所述目标椭偏仪为同一个椭偏仪。

[0036] 通过参考下面所描述的实施方式,本发明的这些方面和其他方面将会得到清晰地阐述。

附图说明

[0037] 本发明的结构和操作方式以及进一步的目的和优点将通过下面结合附图的描述得到更好地理解,其中,相同的参考标记标识相同的元件:

[0038] 图1是典型光谱型椭偏仪中椭偏测量系统的示意性原理图;

[0039] 图2是根据本发明的优选实施方式的实验椭偏仪的椭偏测量系统的示意性原理图,该椭偏测量系统用于定标应力元件的本征坐标系方向;

[0040] 图3是根据本发明的优选实施方式的直通光路型椭偏仪的椭偏测量系统的示意性原理图,在该椭偏测量系统中通过直通光路双波片旋转来测量应力元件的Mueller矩阵的系统示意图,其中应力元件当作透射样品。

具体实施方式

[0041] 根据要求,这里将披露本发明的具体实施方式。然而,应当理解的是,这里所披露的实施方式仅仅是本发明的典型例子而已,其可体现为各种形式。因此,这里披露的具体细节不被认为是限制性的,而仅仅是作为权利要求的基础以及作为用于教导本领域技术人员以实际中任何恰当的方式不同地应用本发明的代表性的基础,包括采用这里所披露的各种特征并结合这里可能没有明确披露的特征。

[0042] 根据本发明的一个方面,提供一种校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响的方法,该方法包括如下步骤:

[0043] i) 找出应力元件的本征坐标系;

[0044] ii) 测量出应力元件在本征坐标系下的Mueller矩阵;

[0045] iii) 将应力元件装调到目标椭偏仪中。

[0046] 在本发明的该方面,通过步骤i)中对本征坐标系的确定,应力元件的Mueller矩阵中的总共16个未知量可以减少到8个未知量;而经过步骤ii),可通过测量确定上述8个未知量;在应力元件的未知量都明确的情况下,在通过步骤iii)硬件装调后的目标椭偏仪中,应力元件带来的误差影响即可实现校准。

[0047] 其中,上述步骤i)包括如下子步骤:

[0048] 1)将样品和应力元件分别装载到实验椭偏仪中,并将应力元件布置成位于样品和实验椭偏仪的转动部件之间且可旋转;

[0049] 2)控制应力元件旋转,每旋转一个角度后固定,然后通过测量获取经过样品反射后的光强信号;

[0050] 3)对所获取的光强信号进行傅立叶分析,计算得到傅立叶系数;

[0051] 4)根据傅立叶系数在实验椭偏仪的特定系统参数下的特征值来判定此时应力元件的本征坐标系与实验椭偏仪的系统坐标系是否一致,如一致则进行下一步骤,如不一致则回到步骤2);

[0052] 5)标定应力元件的本征坐标系。

[0053] 优选地,在上述子步骤1)中,上述应力元件被装载在实验椭偏仪中的可旋转部件上从而实现可旋转,例如上述可旋转部件可以是驱动电机,特别是可精确旋转的驱动电机。另外,上述应力元件可以是例如聚焦透镜、滤波元件等带有双折射的元件。

[0054] 应当理解的是,上述实验椭偏仪的转动部件可以是起偏器、验偏器或补偿器。在子步骤4)中,当实验椭偏仪的转动部件是起偏器且测量的方位角 $A=0^\circ$ 时,或者当转动部件是验偏器且测量的方位角 $P=0^\circ$ 时,如果计算得到的傅立叶系数满足 $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$,则判定此时应力元件的本征坐标系与实验椭偏仪的系统坐标系一致。或者,在上述子步骤4)中,当实验椭偏仪的转动部件是补偿器且测量的方位角 $P=0^\circ$ 和 $A=0^\circ$ 时,如果计算得到的傅立叶系数满足 $\beta_4 \approx 0$,则判定此时应力元件的本征坐标系与实验椭偏仪的系统坐标系一致。

[0055] 优选地,在上述步骤ii)中,将应力元件当作透射样品在直通光路型椭偏仪中进行测量。

[0056] 优选地,在上述步骤iii)中,将应力元件装调成其本征坐标系与目标椭偏仪的系统坐标系成一夹角 C ,该夹角 C 与目标椭偏仪的转动部件以及应力元件在目标椭偏仪中的位置有关。当目标椭偏仪的转动部件为验偏器时,装调目标椭偏仪中的样品与起偏器之间的应力元件使其本征坐标系的方向与起偏器的方位角 P 一致,即 $C=P$;和/或装调目标椭偏仪中的样品与验偏器之间的应力元件使其本征坐标系方向与目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

[0057] 或者,当目标椭偏仪的转动部件为起偏器时,装调目标椭偏仪中的样品与验偏器之间的应力元件使其本征坐标系的方向与验偏器的方位角 A 一致,即 $C=A$;和/或装调目标椭偏仪中的样品与起偏器之间的应力元件使其本征坐标系方向与目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

[0058] 或者,当目标椭偏仪的转动部件为补偿器、固定部件为验偏器和起偏器时,将目标椭偏仪中的样品与固定部件之间的应力元件装调成其本征坐标系的方向与相应的固定部件的方位角一致;和/或将目标椭偏仪中的样品与补偿器之间的应力元件装调成其本征坐标系方向与目标椭偏仪的系统坐标系一致,即 $C=0$ 。

[0059] 应当理解的是,在目标椭圆偏仪中应力元件可能是一个或两个或多个,其在目标椭圆偏仪中安装的位置可能在样品和转动部件之间也可能在样品和固定部件之间,或者既在样品和转动部件之间有应力元件,又在样品和固定部件之间有应力元件。

[0060] 优选地,上述实验椭圆偏仪与目标椭圆偏仪可以是同一个椭圆偏仪。也就是说,上述步骤 i) 可以在实验椭圆偏仪中进行,这时目标椭圆偏仪即该实验椭圆偏仪;或者,上述步骤 i) 直接在目标椭圆偏仪中进行,找到应力元件的本征坐标系并测量出本征坐标系下的Mueller矩阵后,直接在目标椭圆偏仪中装调该应力元件。

[0061] 下面参照附图1-3来介绍一下根据本发明优选实施方式的校准椭圆偏测量中应力元件带来的误差影响的方法的具体过程。

[0062] 典型光谱型椭圆偏仪中椭圆偏测量系统的测量原理如图1所示:由光源101(如氙灯)发出的光依次通过起偏器103(方位角为P)、样品105、验偏器107(方位角为A),最后进入探测器109。如果需要小光斑测量,在起偏器103与样品105之间以及样品105与验偏器107之间还会有聚焦元件,一般会为聚焦透镜,光路中可能还有光阑等滤波元件,样品需要放置在样品室则会有样品室窗口,这些可能的元件统一称为应力元件。在图1中,起偏器103与样品105之间有应力元件104,样品105与验偏器107之间有应力元件106。

[0063] 根据椭圆偏测量原理,椭圆偏测量系统里的光可以用斯托克斯向量来表示,光路上的元件可以用Mueller矩阵来表示,入射光的斯托克斯量与元件的Mueller矩阵相乘即可得到出射光的斯托克斯量,从而得到出射的光强表达式。一般的椭圆偏测量,考虑的主要是起偏器103、样品105、验偏器107,而应力元件104和106则通常会被视为普通的透射元件而忽略其影响。

[0064] 入射光的斯托克斯量为:

$$[0065] \quad s_i = [1 \ 0 \ 0 \ 0]'$$

[0066] 起偏器103与验偏器107的理想Mueller矩阵为:

$$[0067] \quad M_P, M_A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0068] 样品105的理想Mueller矩阵为:

$$[0069] \quad M_S = \begin{bmatrix} 1 & -\cos 2\varphi & 0 & 0 \\ -\cos 2\varphi & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin 2\varphi \cos \Delta & \sin 2\varphi \sin \Delta \\ 0 & 0 & -\sin 2\varphi \sin \Delta & \sin 2\varphi \cos \Delta \end{bmatrix}$$

[0070] 如果R矩阵表示光学元件(包括应力元件)坐标系与系统坐标系之间的坐标变换转动矩阵, θ 表示两者的转动角,沿着光的传播方向逆时针的方向为正,则当转动角为 θ 时,光学元件坐标系与系统坐标系之间的坐标变换转动矩阵为:

$$[0071] \quad R(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0072] 出射的斯托克斯量 s_o 计算公式为： $s_o = R(-A) M_A R(A) M_S R(-P) M_P R(P) s_i$

[0073] 如果旋转的是验偏器107,则测量得到的光强 $I(A)$ 为(光强是斯托克斯向量的第一个元素):

$$[0074] \quad I(A) = s_o[1] = I_0(1 + \alpha_2 \cos 2A + \beta_2 \sin 2A) \quad (\text{式1})$$

[0075] 其中, I_0 为直流分量, A 表示验偏器的方位角, α_2, β_2 为傅立叶系数,且傅立叶系数满足:

$$[0076] \quad \alpha_2 = \frac{\tan^2 \psi - \tan^2 P}{\tan^2 \psi + \tan^2 P}, \quad \beta_2 = \frac{2 \cos \Delta \tan \psi \tan P}{\tan^2 \psi + \tan^2 P} \quad (\text{式2})$$

[0077] 实验测量中,光谱型椭偏仪采集的能量(因为旋转的是验偏器107,也就是验偏器107的方位角 A 在不停地变,式1里面的 A 是个变量)为

$$[0078] \quad I = \int_{A_1}^{A_2} I(A) dA \quad (\text{式3})$$

[0079] 其中 $I(A)$ 为式1所示,将式1代入式3并简化后即为

$$[0080] \quad I = I_0 \left\{ (A_2 - A_1) + \alpha_2 \int_{A_1}^{A_2} \cos 2A dA + \beta_2 \int_{A_1}^{A_2} \sin 2A dA \right\} \quad (\text{式4})$$

[0081] 假设傅立叶系统积分段为8段,积分段的角大小为 45° ,两次之间无间隔,起始角度 0° ,则可获得如下光强信号:

$$[0082] \quad \begin{aligned} I_1 &= \frac{I_0}{4}(\pi + 2(\alpha_2 + \beta_2)) & I_2 &= \frac{I_0}{4}(\pi - 2(\alpha_2 - \beta_2)) \\ I_3 &= \frac{I_0}{4}(\pi - 2(\alpha_2 + \beta_2)) & I_4 &= \frac{I_0}{4}(\pi + 2(\alpha_2 - \beta_2)) \\ I_5 &= \frac{I_0}{4}(\pi + 2(\alpha_2 + \beta_2)) & I_6 &= \frac{I_0}{4}(\pi - 2(\alpha_2 - \beta_2)) \\ I_7 &= \frac{I_0}{4}(\pi - 2(\alpha_2 + \beta_2)) & I_8 &= \frac{I_0}{4}(\pi + 2(\alpha_2 - \beta_2)) \end{aligned} \quad (\text{式5})$$

[0083] 通过对式5的计算,可求得傅立叶系数为:

$$[0084] \quad \begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 - I_6 - I_7 + I_8}{4I_s} \\ \beta_2 &= \frac{I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 + I_6 - I_7 - I_8}{4I_s} \end{aligned} \quad (\text{式6})$$

[0085] 其中 $I_s = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^8 I_i$,

[0086] 最后,通过对由实验测量得到的傅立叶系数(见式6)与理论的傅立叶系数(见式2)进行回归分析得到样品105的信息。

[0087] 应当注意的是,上面的过程中没有考虑到其他光学元件尤其是应力元件的影响。然而,光路中往往不可避免地存在这些元件,而且这些元件并不是理想中的各向同性的透射元件。本发明方法的主旨思想就是不能简单地将应力元件当成理想中的各向同性的透射元件,即不忽略它们的存在,通过硬件装调设计和明确未知量(即明确其影响)的方式来校准椭偏测量中应力元件带来的误差影响。

[0088] 假设应力元件104、106存在着应力,它们的Mueller矩阵分别为 M_{C4} 、 M_{C6} ,则椭偏测量中出射的斯托克斯量为:

[0089] $s_o = R(-A) M_A R(A) M_{C6} M_S M_{C4} R(-P) M_P R(P) s_i$ (式7)

[0090] 由上面的式7可以看出,应力元件104、106的Mueller矩阵与样品105的矩阵相乘,应力元件104、106的信息会与样品105的信息纠缠在一起,如果不校准它们,就会被认为全部是样品105的信息,致使 $M_{C6} M_S M_{C4}$ 等同于一个新的样品,从而影响测量结果。

[0091] M_{C4} 、 M_{C6} 用全矩阵来表示(利用 M_{11} 归一化):

[0092]
$$M = \begin{bmatrix} 1 & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix}$$
 (式8)

[0093] 式8中的矩阵M分为4个方块,(1, M_{12} , M_{21} , M_{22})为一个方块,(M_{33} , M_{34} , M_{43} , M_{44})为一个方块,这两个方块是光学元件的主要作用区,而矩阵M中右上角和左下角2*2的两个方块主要表现的是应力元件的各向异性,在应力元件的本征坐标系里,各向异性量都是小量,有些很接近于零,如果应力元件的本征坐标系与系统的坐标系重合,则矩阵不会改变,这些量还是小量,故而影响会比较小。如果应力元件的本征坐标系与椭偏测量系统的系统坐标系有一个夹角,则这些应力元件矩阵需要经过坐标变换,则这些量就会变大,其给测量带来的误差就很明显,校准也比较困难。

[0094] 本发明校准应力影响的方法主要是:在硬件装调上,通过旋转应力元件,找到它的本征坐标系的方向,也就是找到应力原件各向异性影响最小的方向,设计它的本征坐标系的方向与椭偏仪测量的系统坐标系的夹角,先从测量上就使得应力元件的影响达到最小,大大减少定标应力元件的参数量,再定标需要的参数量加入测量的计算中去进一步校准。

[0095] 应当理解的是,找应力元件的本征坐标系的方法可不仅仅限于本文给出的方法。图2给出了根据本发明的优选实施方式的实验椭偏仪的椭偏测量系统的示意性原理图,该椭偏测量系统用于定标应力元件的本征坐标系方向。在图2所示的椭偏测量系统中,转动部件为验偏器。

[0096] 图2所示的椭偏测量系统与图1所示的椭偏测量系统一致,但只剩下一个应力元件104。在该图中,应力元件104放置在驱动电机(图未示)里,从而可以精确地控制应力元件104的旋转。光源101发出的光经过起偏器103、应力元件104,经过样品105反射再经过验偏

器107之后到达探测器109。通过实验测量并计算傅立叶系数 α_2, β_2 , 当测量的方位角 $P=0$ 度, 理论上, 没有应力元件的时候 $\alpha_2=1, \beta_2=0$, 而应力元件104的本征坐标系与椭偏测量系统的系统坐标系重合时, $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$ 。在测量的过程中, 当应力元件的本征坐标系与系统坐标系有夹角的时候, α_2, β_2 尤其是 β_2 会明显偏离理论值。通过驱动电机转动应力元件104, 每转一次通过测量光强信号计算得到一次 α_2, β_2 , 当得到 $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$ 时, 这个时候应力元件104的本征坐标系与系统坐标系重合, 而在图2所示实验椭偏仪中系统坐标系由入射面决定, 即系统坐标系在仪器中已经是确定的, 此时应力元件104的本征坐标系方向就是与系统系方向一致, 以此来标定应力元件104的本征坐标系方向。

[0097] 应当理解的是, 上面的椭偏测量系统只是一个例子, 可以用其它系统, 判断标准会根据系统的不同而有所不同。比如, 椭偏测量系统中转动部件可以改为起偏器(这时测量的方位角应是 $A=0$), 判断标准依然是 $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$ 。或者, 椭偏测量系统中转动部件改为补偿器, 则当测量的方位角 $P=0^\circ$ 和 $A=0^\circ$ 时, 如果计算得到的傅立叶系数满足 $\beta_4 \approx 0$, 则判定此时所述应力元件的本征坐标系与所述实验椭偏仪的系统坐标系一致。

[0098] 定标好光学元件104后, 不同的椭偏测量系统其硬件装调的设计稍有不同。

[0099] 如果目标椭偏仪是旋转验偏器的系统, 那么应力元件的装调则需满足如下要求:

[0100] 在样品与起偏器之间的应力元件其本征坐标系的方向与起偏器的方位角(P)一致, 设 C 为应力元件本征坐标系与系统坐标系的夹角, 则是 $C=P$;

[0101] 在样品与旋转的验偏器之间的应力元件其本征坐标系方向与系统坐标系一致, 即 $C=0$ 。

[0102] 如果目标椭偏仪中硬件装调的设计是旋转起偏器, 则应力元件的装调需满足如下要求:

[0103] 在样品与验偏器之间的应力元件其本征坐标系的方向与验偏器方位角(A)一致, 设 C 为应力元件的本征坐标系与系统坐标系的夹角, 则是 $C=A$;

[0104] 在样品与旋转的起偏器之间的应力元件其本征坐标系方向与系统坐标系一致, 即 $C=0$ 。

[0105] 如果目标椭偏仪中硬件装调的设计是旋转补偿器, 则应力元件的装调需满足如下要求:

[0106] 对于转动部件(即补偿器)与样品之间的应力元件, $C=0$;

[0107] 对于样品与固定部件(仅指起偏器或者验偏器)之间的应力元件, C 等于固定部件的方位角。

[0108] 需要说明的是, 上述三种方案可以概括为: 转动部件只是指起偏器、验偏器或补偿器(例如波片及具有代替波片作用的其他元件); 固定部件只是指起偏器或验偏器。处于转动部件与样品之间的应力元件的本征坐标系方向与系统坐标系一致, 即 $C=0$; 处于固定部件与样品之间的应力元件的本征坐标系方向与固定部件的方位角一致, 即 $C=P$ 或者 $C=A$ 。

[0109] 下面, 以旋转验偏器的椭偏测量系统为例介绍一下这么设计的原理。

[0110] 找到应力元件的本征坐标系后, 在本征坐标系内其非对角元的矩阵元很小, 可以忽略不计, 测量上应力元件的影响就达到最小, 需要定标的量减少, 即由原来矩阵中的16个未知量(参见式8)减少到下面的8个未知量(参见式9)。

[0111] 降低定标量的应力元件的矩阵为:

$$[0112] \quad M'_{C4} = \begin{bmatrix} 1 & M_{12} & 0 & 0 \\ M_{21} & M_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{33} & M_{34} \\ 0 & 0 & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix}, M'_{C6} = \begin{bmatrix} 1 & N_{12} & 0 & 0 \\ N_{21} & N_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{33} & N_{34} \\ 0 & 0 & N_{43} & N_{44} \end{bmatrix} \quad (式9)$$

[0113] 则上面式7中应力元件的矩阵则变为： $M_{C4} = R(-C_4) M'_{C4} R(C_4)$ ， $M_{C6} = R(-C_6) M'_{C6} R(C_6)$ ，其中 C_4, C_6 为应力元件各自与本征坐标系的夹角。

[0114] 那么，如图1所示的系统，当应力元件104的本征坐标与系统坐标系的夹角为 C 时，则

$$[0115] \quad s_o = R(-A) M_A R(A) M'_{C6} M_S R(-C) M'_{C4} R(C) R(-P) M_P R(P) s_i \quad (式10)$$

[0116] $C=P$ 时：

$$[0117] \quad R(-P) M'_{C4} R(P) R(-P) M_P R(P) s_i = \begin{bmatrix} 1 + M_{12} \\ \cos(2P) M_{21} + \cos(2P) M_{22} \\ \sin(2P) M_{21} + \sin(2P) M_{22} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (式11)$$

[0118] 而 $C=0$ 时：

$$[0119] \quad R(0) M'_{C4} R(0) R(-P) M_P R(P) s_i = \begin{bmatrix} 1 + M_{12} \cos(2P) \\ M_{21} + \cos(2P) M_{22} \\ \sin(2P) M_{33} \\ \sin(2P) M_{43} \end{bmatrix} \quad (式12)$$

[0120] 比较式12和式11可以看出，当样品105与固定元件一起偏器103之间的应力元件104满足 $C=P$ 的设置时，在去掉矩阵非对角元的基础上又去掉 M'_{C4} 中两个量 M_{43}, M_{33} 的影响，则进一步简化。

[0121] 因为是旋转验偏器，则 A 时刻在变的，故 M_{C6} 在为 M'_{C6} 时影响最小，即 $C=0$ 。

[0122] 可见，本发明的方法是硬件上装调后不仅先降低了应力元件的误差影响，而且减少了需要定标的未知量，降低了数学算法的难度。

[0123] 硬件这么装调后，应力元件的影响已经达到最小的状态，在找到应力元件的本征坐标系后硬件装调前可以先定标 M'_{C4}, M'_{C6} ，矩阵中需要定标的未知量定标后作为已知量供目标椭圆仪测量时应用即可。

[0124] 应当注意的是，上述对于 M'_{C4}, M'_{C6} 的定标，可以把应力元件当成透射的样品进行测量即可。

[0125] 本发明优选实施方式的一个优点是，通过硬件装调的设计，物理上减小了应力元件的作用，应力元件引入的误差降到最小。

[0126] 本发明优选实施方式的一个优点是，通过硬件装调，使得定标变得简单，定标量减少，降低了数学算法的复杂度。

[0127] 实施例1下面以光阑为应力元件104，裸硅片为样品105，由光源101、起偏器103、样品台100、验偏器107和探测器109组成的椭圆测量系统为实验椭圆仪，测量方式是旋转验偏器107测量。

[0128] 首先要确定应力元件104的本征坐标系方向。如图2所示,将应力元件104装载至实验椭偏仪中,光源101的光经过起偏器103、应力元件104、样品105、验偏器107到达探测器109,应力元件104由驱动电机带动可以实现精确转动。

[0129] 转动光阑构成的应力元件104,每转动一次,测量一次傅立叶系数 α_2, β_2 ,当转动得到 $\alpha_2 \approx 1, \beta_2 \approx 0$ 时,标定好应力元件104的本征坐标系方向。

[0130] 然后,将光阑构成的应力元件104放入一个直通光路型椭偏仪中,如图3所示,光源101的光经过起偏器103、补偿器102、应力元件104,补偿器108,验偏器107进入探测器109,并将应力元件104转动到其本征坐标系与实验椭偏仪的系统坐标系重合的角度。

[0131] 接着,在图3所示椭偏测量系统中以一定的转动速度比例转动两个补偿片102、108,可精确测量应力元件104的矩阵元,从而将应力元件104的矩阵中的未知量都变为已知量。

[0132] 最后,将应力元件104装调入目标椭偏仪(可以是不同于图2所示实验椭偏仪的另一个椭偏仪,也可以是该实验椭偏仪)的椭偏测量系统内,按照上面介绍的装调规则(旋转验偏器的情况是应力元件装载样品之前 $C=P$,装载样品之后是 $C=0$)来设计装调。

[0133] 这样,当使用目标椭偏仪来测量样品时,则只需将光阑构成的应力元件的的矩阵代入测量公式即可。因为应力元件的矩阵已知,所以应力元件的误差影响在使用目标椭偏仪进行的样品测量中得到校准,不会影响到样品参数的测量精度。

[0134] 本发明的技术内容及技术特点已揭示如上,然而可以理解,在本发明的创作思想下,本领域的技术人员可以对上述结构和形状作各种变化和改进,包括这里单独披露或要求保护的技术特征的组合,明显地包括这些特征的其它组合。这些变形和/或组合均落入本发明所涉及的技术领域内,并落入本发明权利要求的保护范围。需要注意的是,按照惯例,权利要求中使用单个元件意在包括一个或多个这样的元件。此外,不应该将权利要求书中的任何参考标记构造为限制本发明的范围。

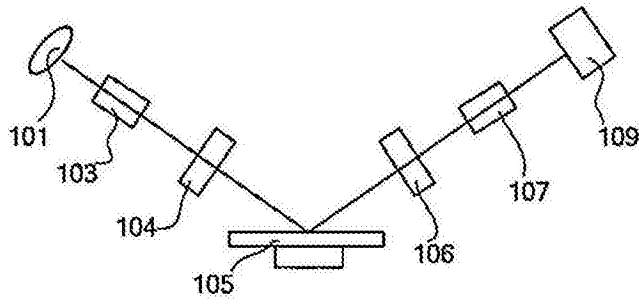


图1

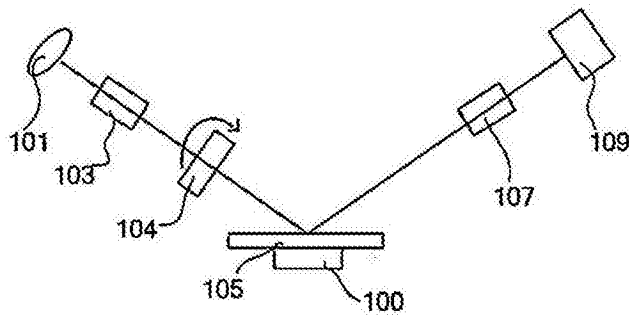


图2

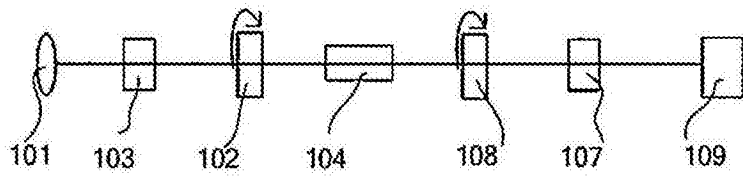


图3