



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101246122 B

(45) 授权公告日 2010.07.14

(21) 申请号 200810102271.2

(22) 申请日 2008.03.19

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100080 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 靳刚 孟永宏

(74) 专利代理机构 北京中创阳光知识产权代理有限公司 11003
代理人 尹振启

(51) Int. Cl.

G01N 21/21 (2006.01)

G01B 11/06 (2006.01)

G06T 1/00 (2006.01)

审查员 郑振

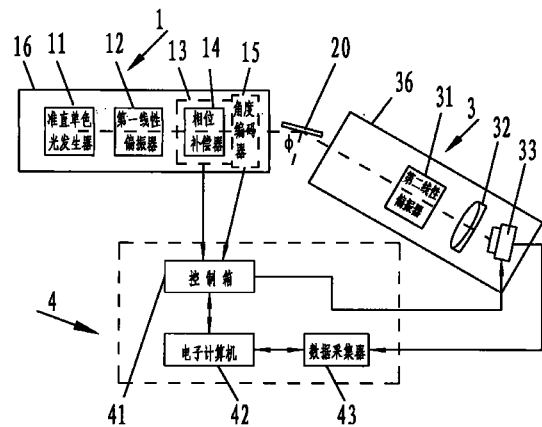
权利要求书 5 页 说明书 15 页 附图 3 页

(54) 发明名称

采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及一种采用旋转补偿器和时间积分采样的椭偏成像方法和装置。所述方法包括如下步骤：对系统进行设置；图像传感器进行时间积分曝光；对数据进行转换、传输、处理和存储；对采集到的数据进行计算。所述装置包括：入射单元；出射单元；数据采集处理单元；数据采集处理单元通过硬触发的方式来触发出射单元获得样品的椭偏图像。本发明利用时间积分方法进行采样大幅度提高了系统的时间分辨率即减少了采样时间；采用匀速旋转相位补偿器达到了稳定的目的，能够保证操控精度。



1. 一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

步骤 A:对系统进行设置;

步骤 A 具体包括:

a. 设置 1 个采样周期 180° 内角度均分的采样单元个数 N ;

b. 设置测量中需要重复的采样次数 M ;

步骤 B:图像传感器进行时间积分曝光;

步骤 B 具体包括:

c. 电子计算机 (42) 通过驱动控制箱 (41) 驱动相位补偿器旋转台 (13) 进行匀速旋转;

d. 角度编码器 (15) 等角度间隔 $180^\circ / N$ 地输出位置信号脉冲经控制箱 (41) 处理后的脉冲信号同步触发图像传感器 (33) 进行光学图像的时间积分曝光,然后形成电子图像;

步骤 C:对数据进行转换、传输、处理和存储;

步骤 C 具体包括:

e. 数据采集器 (43) 把来自图像传感器 (33) 的数字信号传输给电子计算机 (42),然后由电子计算机 (42) 进行图像数据的运算、处理和 / 或存储;

f. 重复步骤 d. -e.,直至完成采样个数 $N \times M$;

步骤 D:对采集到的数据进行计算;

步骤 D 具体为:

g. 根据图像中每个像素测量到的光能量值与椭偏参数的关系,计算样品上对应区域的椭偏参数值。

2. 一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像装置,所述装置包括:

入射单元 (1),用于产生准直、单色、偏振态可控的偏振光波,倾斜入射到样品表面上;

出射单元 (3),所述出射单元 (3) 的光轴与所述入射单元 (1) 的光轴用于接收来自样品 (20) 的反射光,并对其偏振态进行调制,并获得样品 (20) 的椭偏图像;

数据采集处理单元 (4),用于采集所述出射单元 (3) 产生的数据并进行处理;

其特征在于,入射单元 (1) 具体包括:

入射臂 (16),用于承载各种元件,使其共轴布置;

准直单色光发生器 (11),与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂 (16) 上,用于产生并扩展准直的准单色光输出;

第一线性偏振器 (12),与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂 (16) 上,位于所述准直单色光发生器 (11) 后面,用于将探测光束变换为线性偏振光;

旋转台 (13),与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂 (16) 上,位于第一线性偏振器 (12) 之后的光路上,可绕入射单元光轴旋转,用于使固定在其上的元件围绕入射单元光轴旋转;

相位补偿器 (14),与入射单元光轴共轴地安装于旋转台 (13) 上,可随旋转台 (13) 共同绕入射单元光轴旋转,用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差,从而改变偏振光的偏振态;

角度编码器 (15),与入射单元光轴共轴地安装于所述旋转台 (13) 上,可随旋转台 (13) 共同绕入射单元光轴旋转,用于记录相位补偿器 (14) 的方位角;

所述出射单元 (3) 具体包括：

出射臂 (36)，用于承载各种元件，使其共轴布置；

第二线性偏振器 (31)，与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 (36) 上，用于将样品 (20) 的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光；

成像镜头 (32)，与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 (36) 上，该成像镜头 (32) 根据成像放大率的要求，共轴安放在出射光轴上第二线性偏振器 (31) 之后，或放置在样品 (20) 与第二线性偏振器 (31) 之间，用于对样品进行成像；

图像传感器 (33)，用于接收样品经成像镜头所成的光学实像，并将其转化为电信号；

所述数据采集处理单元 (4) 具体包括：

控制箱 (41)，与旋转台 (13) 电连接，用于驱动旋转台 (13) 带动相位补偿器 (14) 进行匀速旋转；控制箱 (41) 与角度编码器 (15) 电连接，用于接收来自角度编码器 (15) 的位置信号；控制箱 (41) 与图像传感器 (33) 电连接，用于把角度编码器 (15) 的角度信号转化成能够触发图像传感器 (33) 开始进行曝光积分的脉冲信号，从而对图像传感器 (33) 进行硬触发控制；

数据采集器 (43)，和图像传感器 (33) 电连接，用于把图像传感器 (33) 采集到的图像信号转换成电子计算机 (42) 能够接收的电子信号；

电子计算机 (42)，用于整个系统的运动控制和数据处理；电子计算机 (42) 与数据采集器 (43) 电连接，一方面发出数据采集的控制指令，另一方面接收来自数据采集器 (43) 的图像数据；电子计算机 (42) 与控制箱进行电连接，控制系统中部件的运动，并接收来自器件的状态反馈信息；

所述数据采集处理单元 (4) 通过硬触发的方式来触发出射单元 (3) 获得样品 (20) 的椭圆图像。

3. 按照权利要求 2 所述的椭圆成像装置，其特征在于：所述控制箱 (41) 至少包括运动控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置；其中运动控制卡分别与电子计算机 (42)、电机驱动器、和位置反馈器的接收装置电连接，运动控制卡把来自电子计算机 (42) 的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制，并把来自位置反馈器的位置指令传给计算机；电机驱动器与电机电连接，驱动电机产生运动；位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号，并将信号传给运动控制卡。

4. 按照权利要求 2 所述的椭圆成像装置，其特征在于：所述相位补偿器 (14) 为可以在两个互相垂直的方向上产生一定相位延迟差的光学各向异性器件。

5. 按照权利要求 4 所述的椭圆成像装置，其特征在于：所述相位补偿器 (14) 为云母波片、石英波片、液晶波片。

6. 按照权利要求 2 所述的椭圆成像装置，其特征在于：所述第一线性偏振器 (12) 和第二线性偏振器 (31) 为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件。

7. 按照权利要求 6 所述的椭圆成像装置，其特征在于：所述第一线性偏振器 (12) 和第二线性偏振器 (31) 为二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。

8. 按照权利要求 2 所述的椭圆成像装置，其特征在于：所述图像传感器 (33) 为可以利用时间积分方式把入射到其像敏面上的光强分布信号转化成电信号的阵列式光电转换图

像传感器。

9. 按照权利要求 8 所述的椭偏成像装置,其特征在于:所述图像传感器(33)为电荷耦合器件、互补金属氧化物半导体图像传感器。

10. 按照权利要求 2 所述的椭偏成像装置,其特征在于:所述准直单色光发生器由连续光谱光源与分光器件和准直透镜组合而成,或由单色发光器件和准直透镜组合而成。

11. 按照权利要求 10 所述的椭偏成像装置,其特征在于:所述分光器件为光谱仪或滤光片,所述单色发光器件为激光器或发光二极管。

12. 按照权利要求 2 所述的椭偏成像装置,其特征在于:所述角度编码器(15)是可以把圆周等分为若干个等角度间距的单元,并且将位置信号通过编码方式进行输出的编码器。

13. 按照权利要求 12 所述的椭偏成像装置,其特征在于:所述角度编码器(15)是光电编码器、磁编码器。

14. 一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像装置,所述装置包括:

入射单元(1),用于产生准直、单色、偏振态可控的偏振光波,倾斜入射到样品表面上;

出射单元(3),所述出射单元(3)的光轴与所述入射单元(1)的光轴用于接收来自样品(20)的反射光,并对其偏振态进行调制,并获得样品(20)的椭偏图像;

数据采集处理单元(4),用于采集所述出射单元(3)产生的数据并进行处理;

其特征在于,所述入射单元(1)具体包括:

入射臂(16),用于承载各种元件,使其共轴布置;

准直单色光发生器(11),与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂(16)上,用于产生并扩展准直的准单色光输出;

第一线性偏振器(12),与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂(16)上,位于所述准直单色光发生器(11)后面,用于将探测光束变换为线性偏振光;

所述出射单元(3)具体包括:

出射臂(36),用于承载各种元件,使其共轴布置;

旋转台(13),与出射单元光轴共轴地安装于所述出射臂(36)上,可绕出射单元光轴旋转,用于使固定在其上的元件围绕出射单元光轴旋转;

相位补偿器(14),与出射单元光轴共轴地安装于所述旋转台(13)上,可随旋转台(13)共同绕出射单元光轴旋转,用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差,从而改变偏振光的偏振态;

角度编码器(15),与出射单元光轴共轴地安装于所述旋转台(13)上,可随旋转台(13)共同绕出射单元光轴旋转,用于记录相位补偿器(14)的方位角;

第二线性偏振器(31),与出射单元光轴共轴地安装于出射臂(36)上,用于将样品(20)的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光;

成像镜头(32),与出射单元光轴共轴地安装于出射臂(36)上,该成像镜头(32)根据成像放大率的要求,共轴安放在出射光轴上第二线性偏振器(31)之后,或放置在样品(20)与第二线性偏振器(31)之间,用于对样品进行成像;

图像传感器(33),用于接收样品经成像镜头所成的光学实像,并将其转化为电信号;

所述数据采集处理单元(4)具体包括:

控制箱 (41), 与旋转台 (13) 电连接, 用于驱动旋转台 (13) 带动相位补偿器 (14) 进行匀速旋转; 控制箱 (41) 与角度编码器 (15) 电连接, 用于接收来自角度编码器 (15) 的位置信号; 控制箱 (41) 与图像传感器 (33) 电连接, 用于把角度编码器 (15) 的角度信号转化成能够触发图像传感器 (33) 开始进行曝光积分的脉冲信号, 从而对图像传感器 (33) 进行硬触发控制;

数据采集器 (43), 和图像传感器 (33) 电连接, 用于把图像传感器 (33) 采集到的图像信号转换成电子计算机 (42) 能够接收的电子信号;

电子计算机 (42), 用于整个系统的运动控制和数据处理; 电子计算机 (42) 与数据采集器 (43) 电连接, 一方面发出数据采集的控制指令, 另一方面接收来自数据采集器 (43) 的图像数据; 电子计算机 (42) 与控制箱进行电连接, 控制系统中部件的运动, 并接收来自器件的状态反馈信息; 所述数据采集处理单元 (4) 通过硬触发的方式来触发出射单元 (3) 获得样品 (20) 的椭圆偏图像。

15. 按照权利要求 14 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述控制箱 (41) 至少包括运动控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置; 其中运动控制卡分别与电子计算机 (42)、电机驱动器、和位置反馈器的接收装置电连接, 运动控制卡把来自电子计算机 (42) 的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制, 并把来自位置反馈器的位置指令传给计算机; 电机驱动器与电机电连接, 驱动电机产生运动; 位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号, 并将信号传给运动控制卡。

16. 按照权利要求 14 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述相位补偿器 (14) 为可以在两个互相垂直的方向上产生一定相位延迟差的光学各向异性器件。

17. 按照权利要求 16 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述相位补偿器 (14) 为云母波片、石英波片、液晶波片。

18. 按照权利要求 14 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述第一线性偏振器 (12) 和第二线性偏振器 (31) 为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件。

19. 按照权利要求 18 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述第一线性偏振器 (12) 和第二线性偏振器 (31) 为二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。

20. 按照权利要求 14 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述图像传感器 (33) 为可以利用时间积分方式把入射到其像敏面上的光强分布信号转化成电信号的阵列式光电转换图像传感器。

21. 按照权利要求 20 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述图像传感器 (33) 为电荷耦合器件、互补金属氧化物半导体图像传感器。

22. 按照权利要求 14 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述准直单色光发生器由连续光谱光源与分光器件和准直透镜组合而成, 或由单色发光器件和准直透镜组合而成。

23. 按照权利要求 22 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述分光器件为光谱仪或滤光片, 所述单色发光器件为激光器或发光二极管。

24. 按照权利要求 14 所述的椭圆偏成像装置, 其特征在于: 所述角度编码器 (15) 是可以把圆周等分为若干个等角度间距的单元, 并且将位置信号通过编码方式进行输出的编码器。

25. 按照权利要求 24 所述的椭偏成像装置,其特征在于:所述角度编码器(15)是光电编码器、磁编码器。

采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种对表面和薄膜样品,尤其是对纳米薄膜进行快速表征的椭偏成像测量方法和装置,特别涉及一种采用旋转补偿器和时间积分采样,对具有复杂横向结构的纳米薄膜材料表面的各点同时进行快速测量的椭偏成像方法和装置。

背景技术

[0002] 椭偏(椭圆偏振光)成像技术是近年来发展的一种新型的大面积纳米薄膜表征方法,可用于人工生物膜、新型传感器、半导体集成电路、光量子器件、生物芯片、高密度存储等纳米薄膜实用化材料和表面器件的测量。该技术是在传统单点椭偏测量技术的基础上,结合了显微成像技术和数字图像采集处理技术而发展起来的(参考文献1:Harland G. Tompkins and Eugene A. Irene, Handbook of ellipsometry, New York: William Andrew Inc., 2005)。它利用光波在样品表面发生反射时,探测光波的偏振态受样品的调制发生变化的特性,通过探测光波反射前后偏振态的变化和有效物理模型,获得样品的折射率、吸收系数、厚度等信息。即使固体表面上只有纳米厚度的薄膜,也会引起偏振态的显著变化。所以,该技术具有极高的探测灵敏度,膜厚的解析水平可达原子层量级。由于具有显微成像技术,故可以获得大面积平面样品上各点的信息,横向分辨率可达到光学衍射极限的水平。该技术已在无标记蛋白质芯片、生物分子检测、微区表面物性分析等领域获得重要的应用(参考文献2: Danny van Noort, Jens Rumberg, Edwin W H Jager and Carl Fredrik Mandenius, Silicon based affinity biochips viewed with imaging ellipsometry, Meas. Sci. Technol. 2000, 11: 801-808; 参考文献3: Jin G, Wang ZH, Micro-systems for optical protein-chip, International journal of nonlinear sciences and numerical simulation, 2002, 3: 191-194)。

[0003] 在椭偏成像系统中,为了获得样品(表面样品或薄膜)的性质,已发展了多种采样方法,包括零椭偏方法(参考文献4: Teruhito Mishima, Kwan C. Kao, Detection of thickness uniformity of film layers in semiconductor devices by spatially resolved ellipsointerferometry, Optical Engineering, 1982, 21(6): 1074-1078)、旋转偏振器件方法(参考文献5: A. Albersdorfer, G. Elender, G. Mathe, K. R. Neumaier, P. Paduschek and E. Sackmann, High resolution imaging microellipsometry of soft surfaces at 3mm lateral and 5 Å normal resolution, Applied physics Letters, 1998, 72(23): 2930-2932; 参考文献6: D. Beaglehole, Performance of a microscopic imaging ellipsometer, Rev. Sci. Instrum., 1988, 59(12): 2557-2559)、相位调制方法(参考文献7: Chieh-Yuan Han and Yu-Faye Chao, Photoelastic modulated imaging ellipsometry by stroboscopic illumination technique, Rev. Sci. Instrum., 2006, 77: 023107-1-5)、非消光方法(参考文献8: Gang Jin, Roger Jansson, and Hans Arwin, Imaging ellipsometry revisited: Developments for visualization of thin transparent layers on silicon substrates, Rev. Sci. Instrum., 1996, 67(8):

2930-2936)、彩色实时方法(参考文献9:Adachi, Eiki ;Yoshimura, Hideyuki ;Nagayama, Kuniaki Color ellipsoscope for real-time imaging of nanometer-scale surface phenomena, Applied Optics, 1995, 34(4) :729-731)等。其中,旋转偏振器件方法应用较为普遍,其中的旋转补偿器方法能够对低偏振态进行高精度高准确度的测量,可确定椭偏角 Δ 的符号,而且能消除器件旋转时由光源偏振态或光探测器件的偏振灵敏度对测量结果产生的影响。目前旋转补偿器方法已成为一种重要的纳米薄膜检测方法。

[0004] 采用旋转补偿器方法进行椭偏测量的椭偏成像的基本光学结构是起偏器-旋转补偿器-样品-检偏器(P-rC-S-A)结构,或者起偏器-样品-补偿器-检偏器结构(P-S-rC-A)结构。利用 Stokes 矢量和 Muller 矩阵对系统进行椭偏测量分析,可以得到图像上任一像素上获得的光强信号的形式为(参考文献1:Harland G. Tompkins and Eugene A. Irene, Handbook of ellipsometry, New York:William Andrew Inc., 2005)

$$[0005] \quad I(C) = I_0(1 + \alpha_2' \cos 2C + \beta_2' \sin 2C + \alpha_4' \cos 4C + \beta_4' \sin 4C) \quad (1)$$

[0006] 其中, I_0 为信号的直流分量, C 为补偿器的方位角,其它各系数均为系统参数(起偏器方位角 P , 检偏器方位角 A 、补偿器相位延迟差 δ 等)以及样品参数(椭偏参数 ψ 和 Δ)等的函数,其中,椭偏参数的定义为:

$$[0007] \quad \tan \psi * e^{j\Delta} = \frac{R_p}{R_s}$$

[0008] 其中, R_p 和 R_s 分别表示平行于入射面的 p 光波和垂直于入射面的 s 光波的复反射系数。

[0009] 在旋转补偿器方法中,就是通过改变补偿器的方位角进行测量得到一系列的方程,通过方程获得式(1)中各系数,再利用各系数与椭偏参数(ψ 和 Δ)的关系递推椭偏参数。然后结合样品的物理模型,从椭偏参数中把样品的物理参数(如折射率、消光系数、膜层厚度等)解析出来。

[0010] 在单点测量的旋转补偿器椭偏测量系统中,采样器件(如硅探测器)的采样时间极短(通常为纳秒到微秒量级)。采样时,补偿器匀速旋转,在指定的补偿器方位角上进行采样,可实现较高的采样速度。但是在椭偏成像系统中,由于所采用的图像传感器(电荷耦合器件 CCD, 互补金属氧化物半导体 CMOS)均为光子时间积分器件,获得一幅图像需要经过积分曝光和数据传输两个顺序连接的时间段,一般在毫秒以上。因此,如果采用连续旋转补偿器的方法,会出现较大的方位角误差。为了适应图像传感器的这一特点,目前采用的方法是多点采样。基本步骤为:

[0011] (a) 固定起偏器和检偏器的方位角;

[0012] (b) 把补偿器的一个周期(180°)分成 N 个等角度的区间;

[0013] (c) 旋转台从零开始加速到某一角速度 ω , 然后运行一段时间后再减速到速度为 0 后停止在补偿器方位角为 ($C = C_0 + i * 180^\circ / N$) 处,其中 C_0 为初始位置, $i = 0, 1, \dots, N-1$;

[0014] (d) 在每个方位角处,图像传感器进行时间曝光积分,然后把数据传送到计算机中进行运算和存储;

[0015] (e) 反复 N 次进行步骤(c)-(d),直至一个周期结束;

[0016] (f) 对每个像素得到的 N 个数据进行数据处理(通常利用傅里叶分析方法进行),得到式(1)中各系数的值;

[0017] (g) 利用各系数与样品椭偏参数 (ψ 和 Δ) 的关系式得到样品上对应区域上各微区的椭偏参数 (ψ 和 Δ)。

[0018] 以上过程中, 在一个采样单元内补偿器的旋转角速度、图像传感器的数据采集以及计算机的数据处理和分析的时序图如图 1 所示。可以看出, 这种方法用于椭偏成像采样时, 一个采样周期内所需要的时间为:

$$[0019] \quad t = N(t_{i+1} - t_i) \geq N(t_{\text{start}} + t_{\text{run}} + t_{\text{stop}} + t_{\text{sensor}} + t_{\text{cal}}) \quad (2)$$

[0020] 其中 t_{start} 为补偿器的旋转台的启动时间, 通常是从角速度 0 增加到某一角速度 ω ; t_{run} 为补偿器的旋转台以速度 ω 匀速进行运行的时间; t_{stop} 为补偿器的旋转台的停止时间, 通常是从角速度 ω 减小到 0; t_{sensor} 为图像传感器的曝光积分时间和信号输出所用的时间; t_{cal} 为图像信号在计算机中的计算和存储时间。在式 (2) 中, 前三项所用的时间通常与后两项的时间相当或更大。

[0021] 通过以上分析, 可以看出采用多点采样方法的旋转补偿器的椭偏成像系统存在如下不足:

[0022] (1) 器件频繁启动、停止, 导致操控精度困难, 带来系统的不稳定;

[0023] (2) 采样时间较长, 强烈受制于电机的启停性能、运行速度。这些问题限制了进一步提高系统的时间分辨率, 无法用于快速变化的样品条件。

[0024] 如图 3 所示, 目前采用的一种多点采样方法的旋转补偿器的椭偏成像装置包括入射单元 1、出射单元 3、数据采集处理单元 4。其中, 入射单元 1 具体包括入射臂 16 及依次与入射单元光轴共轴地安装在入射臂 16 上的准直单色光发生器 11、第一线性偏振器 12 和旋转台 13。旋转台 13 可绕入射单元光轴旋转, 旋转台 13 上依次与入射单元光轴共轴地安装有相位补偿器 14 与角度编码器 15, 相位补偿器 14 与角度编码器 15 可随旋转台 13 一起绕入射单元光轴同步旋转。入射臂 16 用于承载各种元件, 使其共轴布置。准直单色光发生器 11 用于产生并扩展准直的准单色光输出。第一线性偏振器 12 用于将探测光束变换为线性偏振光。旋转台 13 用于使固定在其上的元件围绕入射单元光轴旋转。相位补偿器 14 用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差, 从而改变偏振光的偏振态。角度编码器 15 用于记录相位补偿器 14 的方位角。

[0025] 出射单元 3 具体包括出射臂 36 及依次与出射单元光轴共轴地安装在出射臂 36 上的第二线性偏振器 31、成像镜头 32 和图像传感器 33。出射臂 36 用于承载各种元件, 使其共轴布置。第二线性偏振器 31 用于将样品 20 的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光。成像镜头 32 用于对样品进行成像。图像传感器 33 用于接收样品经成像镜头所成的光学实像, 并将其转化为电信号。

[0026] 数据采集处理单元 4 具体包括控制箱 41、数据采集器 43 和电子计算机 42。图像传感器 33 与数据采集器 43 电连接, 数据采集器 43 用于把图像传感器 33 采集到的图像信号转换成电子计算机 42 能够接收的电子信号。控制箱 41 与旋转台 13 电连接, 用于驱动旋转台 13 带动相位补偿器 14 进行匀速旋转; 控制箱 41 与角度编码器 15 电连接, 用于接收来自角度编码器 15 的位置信号。数据采集器 43, 和图像传感器 33 电连接, 用于把图像传感器 33 采集到的图像信号转换成电子计算机 42 能够接收的电子信号; 电子计算机 42, 用于整个系统的运动控制和数据处理; 电子计算机 42 与数据采集器 43 电连接, 一方面发出数据采集的控制指令, 另一方面接收来自数据采集器 43 的图像数据; 电子计算机 42 与控制箱进行电

连接,控制系统中部件的运动,并接收来自器件的状态反馈信息。

[0027] 如图 5 所示,目前采用的另一种多点采样方法的旋转补偿器的椭偏成像装置包括入射单元 1、出射单元 3、数据采集处理单元 4。其中,入射单元 1 具体包括入射臂 16 及依次与入射单元光轴共轴地安装在入射臂 16 上的准直单色光发生器 11、第一线性偏振器 12。入射臂 16 用于承载各种元件,使其共轴布置。准直单色光发生器 11 用于产生并扩展准直的准单色光输出。第一线性偏振器 12 用于将探测光束变换为线性偏振光。

[0028] 出射单元 3 具体包括出射臂 36 及依次与出射单元光轴共轴地安装在出射臂 36 上的旋转台 13 和第二线性偏振器 31、成像镜头 32 和图像传感器 33。出射臂 36 用于承载各种元件,使其共轴布置。旋转台 13 可绕出射单元光轴旋转,旋转台 13 上依次与出射单元光轴共轴地安装有相位补偿器 14 与角度编码器 15,相位补偿器 14 与角度编码器 15 可随旋转台 13 一起绕出射单元光轴同步旋转。第二线性偏振器 31 用于将样品 20 的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光。成像镜头 32 用于对样品进行成像。图像传感器 33 用于接收样品经成像镜头所成的光学实像,并将其转化为电信号。

[0029] 数据采集处理单元 4 具体包括控制箱 41、数据采集器 43 和电子计算机 42。图像传感器 33 与数据采集器 43 电连接,数据采集器 43 用于把图像传感器 33 采集到的图像信号转换成电子计算机 42 能够接收的电子信号。控制箱 41 与旋转台 13 电连接,用于驱动旋转台 13 带动相位补偿器 14 进行匀速旋转;控制箱 41 与角度编码器 15 电连接,用于接收来自角度编码器 15 的位置信号。数据采集器 43,和图像传感器 33 电连接,用于把图像传感器 33 采集到的图像信号转换成电子计算机 42 能够接收的电子信号;电子计算机 42,用于整个系统的运动控制和数据处理;电子计算机 42 与数据采集器 43 电连接,一方面发出数据采集的控制指令,另一方面接收来自数据采集器 43 的图像数据;电子计算机 42 与控制箱进行电连接,控制系统中部件的运动,并接收来自器件的状态反馈信息。

发明内容

[0030] 针对现有技术存在的问题,本发明的目的是提供一种能够保证操控精度且能够减少采样时间的采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法及装置。

[0031] 为解决上述技术问题,本发明的目的在于克服上述不足,采用匀速旋转补偿器和利用时间积分方法和装置进行采样,实现快速采样并且可以保证操控精度。

[0032] 本发明提供了一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法,所述方法包括如下步骤:

[0033] 步骤 A:对系统进行设置;

[0034] 步骤 B:图像传感器进行时间积分曝光;

[0035] 步骤 C:对数据进行转换、传输、处理和存储;

[0036] 步骤 D:对采集到的数据进行计算。

[0037] 进一步,所述步骤 A 具体包括:

[0038] a. 设置 1 个采样周期内均分的采样单元个数 N ;

[0039] b. 设置测量中需要重复的采样次数 M 。

[0040] 进一步,所述步骤 B 具体包括:

[0041] c. 电子计算机 42 通过驱动控制箱 41 驱动相位补偿器旋转器 15 进行匀速旋转;

[0042] d. 角度编码器 15 等角度间隔 ($180^\circ / N$) 地输出位置信号脉冲, 经控制箱 41 处理后的脉冲信号同步触发图像传感器 33 进行光学图像的时间积分曝光, 然后形成电子图像。

[0043] 进一步, 所述步骤 C 具体包括:

[0044] e. 数据采集器 43 把来自图像传感器 33 的数字信号传输给电子计算机 42, 然后由电子计算机 42 进行图像数据的运算、处理和 / 或存储;

[0045] f. 重复步骤 d. -e., 直至完成采样个数 $N \times M$ 。

[0046] 进一步, 所述步骤 D 具体为:

[0047] 根据图像中每个像素测量到的光能量值与椭圆参数 (ψ 和 Δ) 的关系, 计算样品上对应区域的椭圆参数值。

[0048] 本发明还提供了一种采用旋转补偿器积分采样的椭圆成像装置, 所述装置包括:

[0049] 入射单元, 用于产生准直、单色、偏振态可控的偏振光波, 倾斜入射到样品表面上;

[0050] 出射单元, 所述出射单元的光轴与所述入射单元的光轴用于接收来自样品的反射光, 并对其偏振态进行调制, 并获得样品的椭圆图像;

[0051] 数据采集处理单元, 用于采集所述出射单元产生的数据并进行处理;

[0052] 所述数据采集处理单元通过硬触发的方式来触发出射单元获得样品的椭圆图像。

[0053] 一方面, 所述入射单元具体包括:

[0054] 入射臂, 用于承载各种元件, 使其共轴布置;

[0055] 准直单色光发生器, 与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂上, 用于产生并扩展准直的准单色光输出;

[0056] 第一线性偏振器, 与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂上, 位于所述准直单色光发生器后面, 用于将探测光束变换为线性偏振光;

[0057] 旋转台, 与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂上, 位于第一线性偏振器之后的光路上, 可绕入射单元光轴旋转, 用于使固定在其上的元件围绕入射单元光轴旋转;

[0058] 相位补偿器, 与入射单元光轴共轴地安装于旋转台上, 可随旋转台共同绕入射单元光轴旋转, 用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差, 从而改变偏振光的偏振态;

[0059] 角度编码器, 与入射单元光轴共轴地安装于所述旋转台上, 可随旋转台共同绕入射单元光轴旋转, 用于记录相位补偿器的方位角;

[0060] 所述出射单元具体包括:

[0061] 出射臂, 用于承载各种元件, 使其共轴布置;

[0062] 第二线性偏振器, 与出射单元光轴共轴地安装于出射臂上, 用于将样品的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光;

[0063] 成像镜头, 与出射单元光轴共轴地安装于出射臂上, 该成像镜头根据成像放大率的要求, 共轴安放在出射光轴上第二线性偏振器之后, 或放置在样品与第二线性偏振器之间, 用于对样品进行成像;

[0064] 图像传感器, 用于接收样品经成像镜头所成的光学实像, 并将其转化为电信号;

[0065] 所述数据采集处理单元具体包括:

[0066] 控制箱, 与旋转台电连接, 用于驱动旋转台带动相位补偿器进行匀速旋转; 控制箱

与角度编码器电连接,用于接收来自角度编码器的位置信号;控制箱与图像传感器电连接,用于把角度编码器的角度信号转化成能够触发图像传感器开始进行曝光积分的脉冲信号,从而对图像传感器进行硬触发控制;

[0067] 数据采集器,和图像传感器电连接,用于把图像传感器采集到的图像信号转换成电子计算机能够接收的电子信号;

[0068] 电子计算机,用于整个系统的运动控制和数据处理;电子计算机与数据采集器电连接,一方面发出数据采集的控制指令,另一方面接收来自数据采集器的图像数据;电子计算机与控制箱进行电连接,控制系统中部件的运动,并接收来自器件的状态反馈信息。

[0069] 另一方面,所述入射单元具体包括:

[0070] 入射臂,用于承载各种元件,使其共轴布置;

[0071] 准直单色光发生器,与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂上,用于产生并扩展准直的准单色光输出;

[0072] 第一线性偏振器,与入射单元光轴共轴地安装于所述入射臂上,位于所述准直单色光发生器后面,用于将探测光束变换为线性偏振光;

[0073] 所述出射单元具体包括:

[0074] 出射臂,用于承载各种元件,使其共轴布置;

[0075] 旋转台,与出射单元光轴共轴地安装于所述出射臂上,可绕出射单元光轴旋转,用于使固定在其上的元件围绕出射单元光轴旋转;

[0076] 相位补偿器,与出射单元光轴共轴地安装于所述旋转台上,可随旋转台共同绕出射单元光轴旋转,用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差,从而改变偏振光的偏振态;

[0077] 角度编码器,与出射单元光轴共轴地安装于所述旋转台上,位于相位补偿器之后,可随旋转台共同绕出射单元光轴旋转,用于记录相位补偿器的方位角;

[0078] 第二线性偏振器,与出射单元光轴共轴地安装于出射臂上,用于将样品的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光;

[0079] 成像镜头,与出射单元光轴共轴地安装于出射臂上,该成像镜头根据成像放大率的要求,共轴安放在出射光轴上第二线性偏振器之后,或放置在样品与第二线性偏振器之间,用于对样品进行成像;

[0080] 图像传感器,用于接收样品经成像镜头所成的光学实像,并将其转化为电信号;

[0081] 所述数据采集处理单元具体包括:

[0082] 控制箱,与旋转台电连接,用于驱动旋转台带动相位补偿器进行匀速旋转;控制箱与角度编码器电连接,用于接收来自角度编码器的位置信号;控制箱与图像传感器电连接,用于把角度编码器的角度信号转化成能够触发图像传感器开始进行曝光积分的脉冲信号,从而对图像传感器进行硬触发控制;

[0083] 数据采集器,和图像传感器电连接,用于把图像传感器采集到的图像信号转换成电子计算机能够接收的电子信号;

[0084] 电子计算机,用于整个系统的运动控制和数据处理;电子计算机与数据采集器电连接,一方面发出数据采集的控制指令,另一方面接收来自数据采集器的图像数据;电子计算机与控制箱进行电连接,控制系统中部件的运动,并接收来自器件的状态反馈信息。

[0085] 进一步,所述控制箱至少包括运动控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置;其中运动控制卡分别与电子计算机、电机驱动器、和位置反馈器的接收装置电连接,运动控制卡把来自电子计算机的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制,并把来自位置反馈器的位置指令传给计算机;电机驱动器与电机电连接,驱动电机产生运动;位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号,并将信号传给运动控制卡。

[0086] 进一步,所述相位补偿器为可以在两个互相垂直的方向上产生一定相位延迟差的光学各项异性器件。

[0087] 进一步,所述相位补偿器为云母波片、石英波片、液晶波片。

[0088] 进一步,所述第一线性偏振器或第二线性偏振器为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件。

[0089] 进一步,所述第一线性偏振器或第二线性偏振器为二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。

[0090] 进一步,所述图像传感器为可以利用时间积分方式把入射到其像敏面上的光强分布信号转化成电信号的阵列式光电转换图像传感器。

[0091] 进一步,所述图像传感器为电荷耦合器件、互补金属氧化物半导体图像传感器。

[0092] 进一步,所述准直单色光发生器由连续光谱光源与分光器件和准直透镜组合而成,或由单色发光器件和准直透镜组合而成。

[0093] 进一步,所述分光器件为光谱仪或滤光片,所述单色发光器件为激光器或发光二极管。

[0094] 进一步,所述角度编码器是可以把圆周等分为若干个等角度间距的单元,并且将位置信号通过编码方式进行输出的编码器。

[0095] 进一步,所述角度编码器是光电编码器、磁编码器。

[0096] 本发明的优点在于:利用时间积分方法进行采样大幅度提高了系统的时间分辨率,能够保证操控精度且能够减少采样时间;采用匀速旋转相位补偿器达到了稳定的目的。为快速测量大面积的纳米薄膜样品提供了一种有效的方法。

附图说明

[0097] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明:

[0098] 图 1 是现有技术采用旋转补偿器多点采样椭偏成像方法的一个采样单元的时序图;

[0099] 图 2 是本发明采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法的一个采样单元的时序图;

[0100] 图 3 是现有技术采用旋转补偿器多点采样椭偏成像装置的一种结构示意图;

[0101] 图 4 是本发明采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像装置的一种结构示意图;

[0102] 图 5 是现有技术采用旋转补偿器多点采样椭偏成像装置的另一种结构示意图;

[0103] 图 6 是本发明采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像装置的另一种结构示意图。

具体实施方式

[0104] 实施例 1:

[0105] 本发明实施例 1 提供了一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像方法,所述方法包括如下步骤:

[0106] 步骤 A:对系统进行设置;

[0107] 具体包括:

[0108] a. 设置 1 个采样周期 (180°) 内均分的采样单元个数 N ;

[0109] b. 设置测量中需要重复的采样次数 M 。

[0110] 步骤 B:图像传感器进行时间积分曝光;

[0111] 具体包括:

[0112] c. 电子计算机 42 通过驱动控制箱 41 驱动相位补偿器旋转器 15 进行匀速旋转;

[0113] d. 角度编码器 15 等角度间隔 ($180^\circ / N$) 地输出位置信号脉冲,经控制箱 41 处理后的脉冲信号同步触发图像传感器 33 进行光学图像的时间积分曝光,然后形成电子图像。

[0114] 步骤 C:对数据进行转换、传输、处理和存储;

[0115] 具体包括:

[0116] e. 数据采集器 43 把来自图像传感器 33 的数字信号传输给电子计算机 42,然后由电子计算机 42 进行图像数据的运算、处理和 / 或存储;

[0117] f. 重复步骤 d-e,直至完成采样个数 $N \times M$ 。

[0118] 步骤 D:对采集到的数据进行计算。

[0119] 具体为:

[0120] 根据图像中每个像素测量到的光能量值与椭偏参数 (ψ 和 Δ) 的关系,计算样品上对应区域的椭偏参数 (ψ 和 Δ) 的值。

[0121] 上述过程中,图像传感器 33 是由角度编码器 15 的输出信号作为同步触发信号进行工作的。图 2 给出了一个采样单元内补偿器的旋转角速度 ω 、图像传感器的数据采集以及计算机的数据处理和分析的时序图。可以看出,这种方法用于椭偏成像系统时,一个采样周期内所需要的时间包括:

$$[0122] \quad t = N(t_{i+1} - t_i) \geq N(t_{\text{sensor}} + t_{\text{cal}}) \quad (3)$$

$$[0123] \quad t_{i+1} - t_i \geq t_{\text{sensor}} + t_{\text{cal}}$$

[0124] 在上述过程中, $C = \omega_c t$ 代入 (1) 式中,得到图像传感器上任一像素的信号形式为

$$[0125] \quad I(\omega_c t) = I_0(1 + a_2' \cos 2\omega_c t + \beta_2' \sin 2\omega_c t + a_4' \cos 4\omega_c t + \beta_4' \sin 4\omega_c t) \quad (4)$$

[0126] 其中 ω_c 是相位补偿器 13 的角速度。

[0127] 因为相位补偿器旋转一个采样周期 (180°) 的时间为 $\frac{\pi}{\omega_c}$,所以每个等间隔的采样单元的时间为

$$[0128] \quad T = \frac{\pi}{N\omega_c}$$

[0129] 设图像传感器的曝光采样时间为 $t_e = XT$ (其中, $0 < X \leq 1$, 表示曝光采样时间与采样单元的占空比),那么,曝光积分时间为

$$[0130] \quad t_e = X \frac{\pi}{N\omega_c}$$

[0131] 那么,图像传感器在第 j ($j = 0, 1, 2, \dots, N-1$) 个采样单元中获得的光子积分信号

为

$$[0132] \quad S_j = I_0 \int_{\frac{j\pi}{N\omega_c}}^{\frac{j\pi}{N\omega_c} + t_e} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^2 \alpha'_{2n} \cos 2n\omega_c t + \beta'_{2n} \sin 2n\omega_c t \right\} dt \quad (5)$$

[0133] 可以推导得到

$$[0134] \quad \frac{S_j}{I_0'} - t_e = \sum_{n=1}^2 \frac{\sin(n\omega_c t_e)}{n\omega_c} \left\{ \alpha'_{2n} \cos \left[n\omega_c \left(\frac{2j\pi}{N\omega_c} + t_e \right) \right] + \beta'_{2n} \sin \left[n\omega_c \left(\frac{2j\pi}{N\omega_c} + t_e \right) \right] \right\} \quad (6)$$

[0135] 从上式来看,式中有 5 个未知数 I_0 , α_2' , β_2' , α_4' , β_4' , 所以至少需要进行 5 次采样 (即 $N \geq 5$) 就可以从获得的 N 个方程组中解出未知数。

[0136] 比如, $N = 8$ 时可以得到以下关系式:

$$[0137] \quad I_0 = (S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7) \frac{\omega_c}{X\pi}$$

$$[0138] \quad \alpha_2' = \left\{ (S_0 + S_1 - S_4 - S_5) \left[\frac{\cot \frac{X\pi}{8}}{2} - \frac{1}{2(1+\sqrt{2})} \right] - (S_2 + S_3 - S_6 - S_7) \left[\frac{\cot \frac{X\pi}{8}}{2(1+\sqrt{2})} + \frac{1}{2} \right] \right\} \frac{\omega_c}{2I_0}$$

[0139]

$$\beta_2' = \left\{ \left[\frac{\cot \frac{X\pi}{8}}{2(1+\sqrt{2})} + \frac{1}{2} \right] (S_0 + S_1 - S_4 - S_5) + \left[\frac{\cot \frac{X\pi}{8}}{2} - \frac{1}{2(1+\sqrt{2})} \right] (S_2 + S_3 - S_6 - S_7) \right\} \frac{\omega_c}{2I_0} \quad (7)$$

$$[0140] \quad \alpha_4' = \left[\cot \frac{X\pi}{4} (S_0 - S_2 + S_4 - S_6) - (S_1 - S_3 + S_5 - S_7) \right] \frac{\omega_c}{2I_0}$$

$$[0141] \quad \beta_4' = \left[(S_0 - S_2 + S_4 - S_6) + (S_1 - S_3 + S_5 - S_7) \right] \cot \frac{X\pi}{4} \frac{\omega_c}{2I_0}$$

[0142] 然后利用各表达式与系统设置 (包括,第一线性偏振器方位角、第二线性偏振器方位角、相位补偿器相位差等) 与样品的参数,就可以得到样品的椭偏参数 (Ψ , Δ)。比如,对于起偏器-补偿器-样品-检偏器结构的椭偏成像系统,当检偏器方位角 $A = \pm 45^\circ$, 可以利用如下公式得到样品的椭偏角 (参考文献 10: Kleim R, Kuntzler L, Elghemaz A, Systematic errors in rotating-compensator ellipsometry, Journal of theoptical society of America A A-Optics image science and vision, 1994, 11(9): 2550-2559):

$$[0143] \quad \tan 2\Psi = \frac{\sqrt{(\beta_2'^2 + \alpha_2'^2) \tan^2 \frac{\delta_c}{2} + 4(\beta_4' \cos 2P - \alpha_4' \sin 2P)^2}}{-2(\alpha_4' \cos 2P + \beta_4' \sin 2P)} \quad (8)$$

$$[0144] \quad \tan \Delta = \frac{1}{2} \tan \left(\frac{\delta_c}{2} \right) \frac{\alpha_2' \sin 2P - \beta_2' \cos 2P}{\alpha_4' \sin 2P - \beta_4' \cos 2P}$$

[0145] 其中, P 为起偏器方位角, δ_c 为补偿器相位延迟差。

[0146] 通过以上分析,采用积分方法采样具有如下的优点:(1) 采用器件匀速旋转达到了稳定,提高了系统的稳定性;(2) 采用时间积分方法,与图像传感器的积分时间同步,大大提高了采样速度。

[0147] 实施例 2:

[0148] 参考附图 4,本发明提供一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像装置,该装置包括:入射单元 1、出射单元 3 和数据采集处理单元 4。

[0149] 其中,入射单元 1,用于产生准直、单色、偏振态可控的偏振光波,倾斜入射到样品表面上;

[0150] 入射单元 1 具体包括:

[0151] 入射臂 16,用于承载各种元件,使其共轴布置;

[0152] 准直单色光发生器 11,与入射单元光轴共轴地安装于入射臂 16 的前端部,由连续光谱光源(如氙灯、卤素灯等)与分光器件(如光谱仪或滤光片等)和准直透镜组合而成,如宽光谱光源(如氙灯、卤素灯等)-聚光镜-单色仪-准直镜组成;或由单色发光器件(如激光器或发光二极管)和准直透镜组合而成,如激光器-扩束镜、发光二极管-滤光片-准直透镜;准直透镜的光轴与入射臂的光轴重合。用于产生并扩展准直的准单色光输出;

[0153] 第一线性偏振器 12,为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件,例如二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。第一线性偏振器 12 与入射单元光轴共轴地安装于入射臂 16 上,位于准直单色光发生器 11 后面,用于将探测光束变换为线性偏振光;

[0154] 旋转台 13,与入射单元光轴共轴地安装于角速度入射臂 16 上,位于第一线性偏振器 12 之后的光路上,可绕入射单元光轴 360° 旋转,用于使固定在其上的元件围绕入射单元光轴旋转;

[0155] 相位补偿器 14,为可以在两个互相垂直的方向上产生一定相位延迟差的光学各项异性器件,如云母波片、石英波片、液晶波片。相位补偿器 14,与入射单元光轴共轴地安装于旋转台 13 上,可随旋转台 13 共同绕入射单元光轴旋转,用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差,从而改变偏振光的偏振态;

[0156] 角度编码器 15,是可以把圆周等分为若干个等角度间距的单元,并且将位置信号通过编码方式进行输出的编码器,如光电编码器、磁编码器,与入射单元光轴共轴地安装于角速度旋转台 13 上,位于相位补偿器 14 之后,可随旋转台 13 绕入射单元光轴同步旋转,用于记录相位补偿器 14 的方位角。

[0157] 出射单元 3,用于接收来自样品 20 的反射光,并对其偏振态进行调制,并获得样品 20 的椭偏图像;

[0158] 出射单元 3 具体包括:

[0159] 出射臂 36,用于承载各种元件,使其共轴布置;

[0160] 第二线性偏振器 31,为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件,如二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。第二线性偏振器 31 与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 36 上,用于将样品 20 的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光;

[0161] 成像镜头 32,与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 36 上,该成像镜头 32 根据成像放大率的要求,共轴安放在出射光轴上第二线性偏振器 31 之后,或放置在样品 20 与第二线性偏振器 31 之间,用于对样品进行成像;

[0162] 图像传感器 33,用于接收样品经成像镜头 32 所成的光学实像,并将其转化为电信号;图像传感器 33 为可以利用时间积分方式把入射到其像敏面上的光强分布信号转化

成电信号的阵列式光电转换图像传感器,如电荷耦合器件 (CCD)、互补金属氧化物半导体 (CMOS) 图像传感器。

[0163] 数据采集处理单元 4,用于采集出射单元 3 产生的数据并进行处理;数据采集处理单元 4 通过硬触发的方式来触发出射单元 3 获得样品 20 的椭偏图像。

[0164] 数据采集处理单元 4 具体包括:

[0165] 控制箱 41,与旋转台 13 电连接,用于驱动旋转台 13 带动相位补偿器 14 进行匀速旋转;控制箱 41 与角度编码器 15 电连接,用于接收来自角度编码器 15 的位置信号;控制箱 41 与图像传感器 33 电连接,用于把角度编码器 15 的角度信号转化成能够触发图像传感器 33 开始进行曝光积分的脉冲信号,从而对图像传感器 33 进行硬触发控制;

[0166] 控制箱 41 至少包括运动控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置;其中运动控制卡分别与电子计算机 42、电机驱动器、和位置反馈器的接收装置电连接,运动控制卡把来自电子计算机 42 的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制,并把来自位置反馈器的位置指令传给电子计算机 42;电机驱动器与电机电连接,驱动电机产生运动;位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号,并将信号传给运动控制卡。

[0167] 数据采集器 43,和图像传感器 33 电连接,用于把图像传感器 33 采集到的图像信号转换成电子计算机 42 能够接收的电子信号;

[0168] 电子计算机 42,用于整个系统的运动控制和数据处理;电子计算机 42 与数据采集器 43 电连接,一方面发出数据采集的控制指令,另一方面接收来自数据采集器 43 的图像数据;电子计算机 42 与控制箱进行电连接,控制系统中部件的运动,并接收来自器件的状态反馈信息。

[0169] 准直单色光发生器 11、第一线性偏振器 12 与安装在旋转台 13 中的相位补偿器 14 先后依次共轴地安装在入射臂 16 上,其光轴为入射光轴。其中旋转台 13 可进行 360° 旋转。样品 20 为具有复杂横向结构的纳米薄膜材料(如无标记的多元蛋白质芯片),样品垂直于入射面,并且其表面通过中心轴,用于接收来自起偏部分产生的扩展准直、准单色偏振光波的倾斜照明,并对该光波的偏振态进行调制;旋转台 13 为由电机带动的蜗轮-蜗杆结构的精密传动装置,其上的电机与驱动控制箱 41 中的电机驱动器电连接。电子计算机 42 发出指令给驱动控制箱 41 中的电机控制卡,然后电机控制卡将此信号传递给电机驱动器后带动旋转台 13 匀速旋转,从而改变相位补偿器 14 的方位角。角度编码器 15 输出相位补偿器 14 的方位角信号,并通过控制箱 41 后变换成可以控制图像传感器 33 开始进行曝光积分的同步触发信号。图像传感器 33 产生的电子图像信号经数据采集器 43 变换成电子计算机 42 能够接收和处理的信号,此图像信号在电子计算机 42 中进行处理和存储。

[0170] 在光路出射部分,线性偏振器 31、成像物镜 32 和图像传感器 33 共轴依次安装在出射臂 3 上,其光轴与出射光轴重合。图像传感器 33 的安装保证其像敏面与样品 20 经成像物镜 32 所成的实像重合。

[0171] 入射臂 (1) 的光轴和出射臂 (36) 的光轴相交于样品表面上,二者形成的入射面垂直于样品的表面,入射臂 (1) 的光轴与样品法线形成的入射角等于出射臂 (36) 的光轴与样品法线形成的发射角。

[0172] 所述的驱动控制箱 41,包括电机控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置;其中电机控制卡分别与计算机 42、电机驱动器和位置反馈器的接收装置电连接,电机控制卡

把来自计算机 42 的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制,并把来自位置反馈器的位置指令传给计算机;电机驱动器与电机电连接,驱动电机产生运动;位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号,并将信号传给电机控制卡。

[0173] 本实施例所述的图像传感器 33 形成的图像的电信号进入数据采集器 43 进行处理后将图像的电子信号转化为计算机能够处理图像信号,之后进入电子计算机 42,利用电子计算机对这些图像进行分析,可以得到样品表面的椭偏参数分布情况,并据此得到样品的厚度、折射率、粗糙度等信息。

[0174] 电子计算机 42 与控制箱 41 中的电机控制卡电连接,通过向驱动控制箱 41 中的电机驱动器发出指令驱动旋转台 13 的电机,从而相位延迟器 14 的方位角,并且将其位置反馈回驱动控制箱 41,通过驱动控制箱 41 与电子计算机 42 通讯,将运动状态报告给电子计算机,以进行下一步的运动控制。

[0175] 为了定量测量一个样品,比如,样品为硅基底上制备的多单元的纳米量级厚度的蛋白质芯片,为了获得上述样品的椭偏参数 (ψ 和 Δ)。采用如下的步骤:

[0176] (a) 设置 1 个采样周期 (180°) 内均分的采样单元个数 N ;

[0177] (b) 设置测量中需要重复的采样次数 M ;

[0178] (c) 电子计算机 42 通过控制箱 41 驱动旋转器 13 带动相位补偿器 14 进行匀速旋转,角速度为 ω_c ;

[0179] (d) 角度编码器 15 等角度间隔 ($180^\circ / N$) 地输出一个位置信号脉冲进入控制箱 41,控制箱向图像传感器 33 发出一个同步触发信号,使其开始进行光学图像的时间积分曝光;

[0180] (e) 数据采集器 43 把来自图像传感器 33 的信号经转换后传输给电子计算机 42,然后进行图像数据的运算、处理和 / 或存储;

[0181] (f) 重复步骤 (d)-(e),直至采样个数达到 $N \times M$;

[0182] (g) 根据图像中每个像素测量到的光能量值计算得到样品上对应区域的椭偏参数值 (ψ 和 Δ)。

[0183] 由于相位补偿器 14 一直进行旋转,所以图像传感器 33 需要得到实时触发信号,通过将控制箱 41 与图像传感器 33 电连接,使控制箱 41 对图像传感器 33 进行硬触发,而不采用现有椭偏成像装置中电子计算机 42 对图像传感器 33 进行软触发的方式(现有椭偏成像装置是等相位补偿器 14 转到某一位置停止后,再触发图像传感器 33,使其开始进行光学图像的时间积分曝光,这种方式下采用软触发也不会产生触发延迟的问题),可以减少触发延迟的产生,保证操控精度。

[0184] 实施例 3:

[0185] 参考附图 6 本发明提供另一种采用旋转补偿器积分采样的椭偏成像装置,该装置包括:入射单元 1、出射单元 3 和数据采集处理单元 4。

[0186] 与图 4 在结构上的不同是相位旋转台 13、相位补偿器 14 和角度编码器的位置不是放在线性偏振器 12 和样品 20 之间,而是放在样品 20 和线性偏振器 31 之间,即不是放在入射臂 16 上,而是放在出射臂 36 上。

[0187] 入射单元 1 具体包括:

[0188] 入射臂 16,用于承载各种元件,使其共轴布置;

[0189] 准直单色光发生器 11, 与入射单元光轴共轴地安装于入射臂 16 的前端部, 由连续光谱光源 (如氙灯、卤素灯等) 与分光器件 (如光谱仪或滤光片等) 和准直透镜组合而成, 如宽光谱光源 (如氙灯、卤素灯等) - 聚光镜 - 单色仪 - 准直镜组成; 或由单色发光器件 (如激光器或发光二极管) 和准直透镜组合而成, 如激光器 - 扩束镜、发光二极管 - 滤光片 - 准直透镜; 准直透镜的光轴与入射臂的光轴重合。用于产生并扩展准直的准单色光输出;

[0190] 第一线性偏振器 12, 为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件, 例如二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。第一线性偏振器 12 与入射单元光轴共轴地安装于入射臂 16 上, 位于准直单色光发生器 11 后面, 用于将探测光束变换为线性偏振光;

[0191] 出射单元 3 具体包括:

[0192] 出射臂 36, 用于承载各种元件, 使其共轴布置;

[0193] 旋转台 13, 与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 36 上, 可绕出射单元光轴旋转, 用于使固定在其上的元件围绕出射单元光轴旋转;

[0194] 相位补偿器 14, 为可以在两个互相垂直的方向上产生一定相位延迟差的光学各项异性器件, 如云母波片、石英波片、液晶波片。与出射单元光轴共轴地安装于旋转台 13 上, 可随旋转台 13 共同绕出射单元光轴旋转, 用于在两个互相垂直的方向上产生一个相位延迟差, 从而改变偏振光的偏振态;

[0195] 角度编码器 15, 是可以把圆周等分为若干个等角度间距的单元, 并且将位置信号通过编码方式进行输出的编码器, 如光电编码器、磁编码器。角度编码器 15 与出射单元光轴共轴地安装于旋转台 13 上, 位于相位补偿器 14 之后, 可随旋转台 13 共同绕出射单元光轴旋转, 用于记录相位补偿器 14 的方位角;

[0196] 第二线性偏振器 31, 为可以将任意光波变换成线偏振光的偏振器件, 如二向色性线性偏振器、或 Glan-Taylor 偏振棱镜、或 Glan-Thompson 偏振棱镜。第二线性偏振器 31 与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 36 上, 用于将样品 20 的镜面反射光偏振态调制成线性偏振光;

[0197] 成像镜头 32, 与出射单元光轴共轴地安装于出射臂 36 上, 该成像镜头 32 根据成像放大率的要求, 共轴安放在出射光轴上第二线性偏振器 31 之后, 或放置在样品 20 与第二线性偏振器 31 之间, 用于对样品进行成像;

[0198] 图像传感器 33, 用于接收样品经成像镜头所成的光学实像, 并将其转化为电信号; 图像传感器 33 为可以利用时间积分方式把入射到其像敏面上的光强分布信号转化成电信号的阵列式光电转换图像传感器, 如电荷耦合器件 (CCD)、互补金属氧化物半导体 (CMOS) 图像传感器。

[0199] 数据采集处理单元 4 具体包括:

[0200] 控制箱 41, 与旋转台 13 电连接, 用于驱动旋转台 13 带动相位补偿器 14 进行匀速旋转; 控制箱 41 与角度编码器 15 电连接, 用于接收来自角度编码器 15 的位置信号; 控制箱 41 与图像传感器 33 电连接, 用于把角度编码器 15 的角度信号转化成能够触发图像传感器 33 开始进行曝光积分的脉冲信号, 从而对图像传感器 33 进行硬触发控制;

[0201] 控制箱 41 至少包括运动控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置; 其中运动控制卡分别与电子计算机 42、电机驱动器、和位置反馈器的接收装置电连接, 运动控制卡把

来自电子计算机 42 的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制,并把来自位置反馈器的位置指令传给电子计算机 42;电机驱动器与电机电连接,驱动电机产生运动;位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号,并将信号传给运动控制卡。

[0202] 数据采集器 43,和图像传感器 33 电连接,用于把图像传感器 33 采集到的图像信号转换成电子计算机 42 能够接收的电子信号;

[0203] 电子计算机 42,用于整个系统的运动控制和数据处理;电子计算机 42 与数据采集器 43 电连接,一方面发出数据采集的控制指令,另一方面接收来自数据采集器 43 的图像数据;电子计算机 42 与控制箱进行电连接,控制系统中部件的运动,并接收来自器件的状态反馈信息。

[0204] 准直单色光发生器 11、第一线性偏振器 12 先后依次共轴地安装在入射臂 16 上,其光轴为入射光轴。安装在旋转台 13 中的相位补偿器 14、角度编码器 15、第二线性偏振器 31、成像镜头 32、图像传感器 33 先后依次共轴地安装在出射臂 36 上,其光轴与出射光轴重合。图像传感器 33 的安装保证其像敏面与样品 20 经成像物镜 32 所成的实像重合。其中旋转台 13 可进行 360° 旋转。样品 20 为具有复杂横向结构的纳米薄膜材料(如无标记的多元蛋白质芯片),样品垂直于入射面,并且其表面通过中心轴,用于接收来自起偏部分产生的扩展准直、准单色偏振光波的倾斜照明,并对该光波的偏振态进行调制;旋转台 13 为由电机带动的蜗轮-蜗杆结构的精密传动装置,其上的电机与驱动控制箱 41 中的电机驱动器电连接。电子计算机 42 发出指令给驱动控制箱 41 中的电机控制卡,然后电机控制卡将此信号传递给电机驱动器后带动旋转台 13 匀速旋转,从而改变相位补偿器 14 的方位角。角度编码器 15 输出相位补偿器 14 的方位角信号,并通过控制箱 41 后变换成可以控制图像传感器 33 开始进行曝光积分的同步触发信号。图像传感器 33 产生的电子图像信号经数据采集器 43 变换成电子计算机 42 能够接收和处理的信号,此图像信号在电子计算机 42 中进行处理和存储。

[0205] 入射臂 (1) 的光轴和出射臂 (36) 的光轴相交于样品表面上,二者形成的入射面垂直于样品的表面,入射臂 (1) 的光轴与样品法线形成的入射角等于出射臂 (36) 的光轴与样品法线形成的发射角。

[0206] 所述的驱动控制箱 41,包括电机控制卡、电机驱动器、位置反馈器的接收装置;其中电机控制卡分别与计算机 42、电机驱动器和位置反馈器的接收装置电连接,电机控制卡把来自计算机 42 的指令通过电子转换后发给电机驱动器进行运动控制,并把来自位置反馈器的位置指令传给计算机;电机驱动器与电机电连接,驱动电机产生运动;位置反馈器的接收装置接收位置反馈器的探测信号,并将信号传给电机控制卡。

[0207] 本实施例所述的图像传感器 33 形成的图像的电信号进入数据采集器 43 进行处理后将图像的电子信号转化为计算机能够处理图像信号,之后进入电子计算机 42,利用电子计算机对这些图像进行分析,可以得到样品表面的椭偏参数分布情况,并据此得到样品的厚度、折射率、粗糙度等信息。

[0208] 电子计算机 42 与控制箱 41 中的电机控制卡电连接,通过向驱动控制箱 41 中的电机驱动器发出指令驱动旋转台 13 的电机,从而相位延迟器 14 的方位角,并且将其位置反馈回驱动控制箱 41,通过驱动控制箱 41 与电子计算机 42 通讯,将运动状态报告给电子计算机,以进行下一步的运动控制。

[0209] 为了定量测量一个样品,比如,样品为硅基底上制备的多单元的纳米量级厚度的蛋白质芯片,为了获得上述样品的椭偏参数(ψ 和 Δ)。采用如下的步骤:

[0210] (a) 设置 1 个采样周期(180°)内均分的采样单元个数 N ;

[0211] (b) 设置测量中需要重复的采样次数 M ;

[0212] (c) 电子计算机 42 通过控制箱 41 驱动旋转器 13 带动相位补偿器 14 进行匀速旋转,角速度为 ω_c ;

[0213] (d) 角度编码器 15 等角度间隔($180^\circ/N$)地输出一个位置信号脉冲进入控制箱 41,控制箱向图像传感器 33 发出一个同步触发信号,使其开始进行光学图像的时间积分曝光;

[0214] (e) 数据采集器 43 把来自图像传感器 33 的信号经转换后传输给电子计算机 42,然后进行图像数据的运算、处理和 / 或存储;

[0215] (f) 重复步骤 (d)-(e),直至采样个数达到 $N \times M$;

[0216] (g) 根据图像中每个像素测量到的光能量值计算得到样品上对应区域的椭偏参数值(ψ 和 Δ)。

[0217] 由于相位补偿器 14 一直进行旋转,所以图像传感器 33 需要得到实时触发信号,通过将控制箱 41 与图像传感器 33 电连接,使控制箱 41 对图像传感器 33 进行硬触发,而不采用现有椭偏成像装置中电子计算机 42 对图像传感器 33 进行软触发的方式(现有椭偏成像装置是等相位补偿器 14 转到某一位置停止后,再触发图像传感器 33,使其开始进行光学图像的时间积分曝光,这种方式下采用软触发也不会产生触发延迟的问题),可以减少触发延迟的产生,保证操控精度。

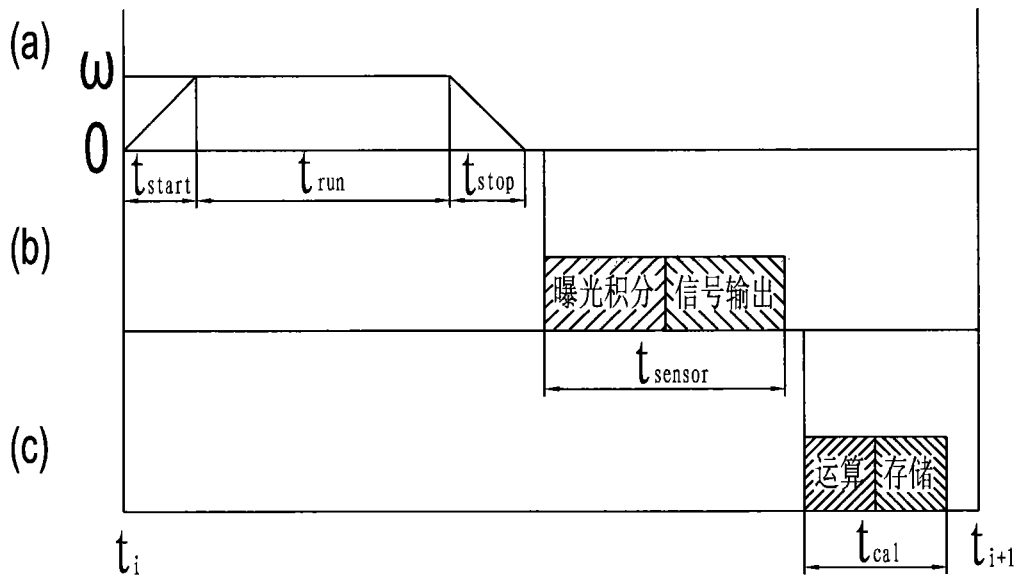


图 1

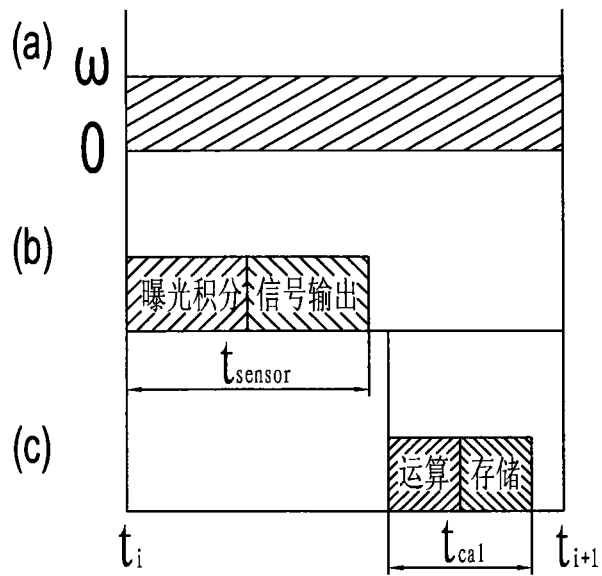


图 2

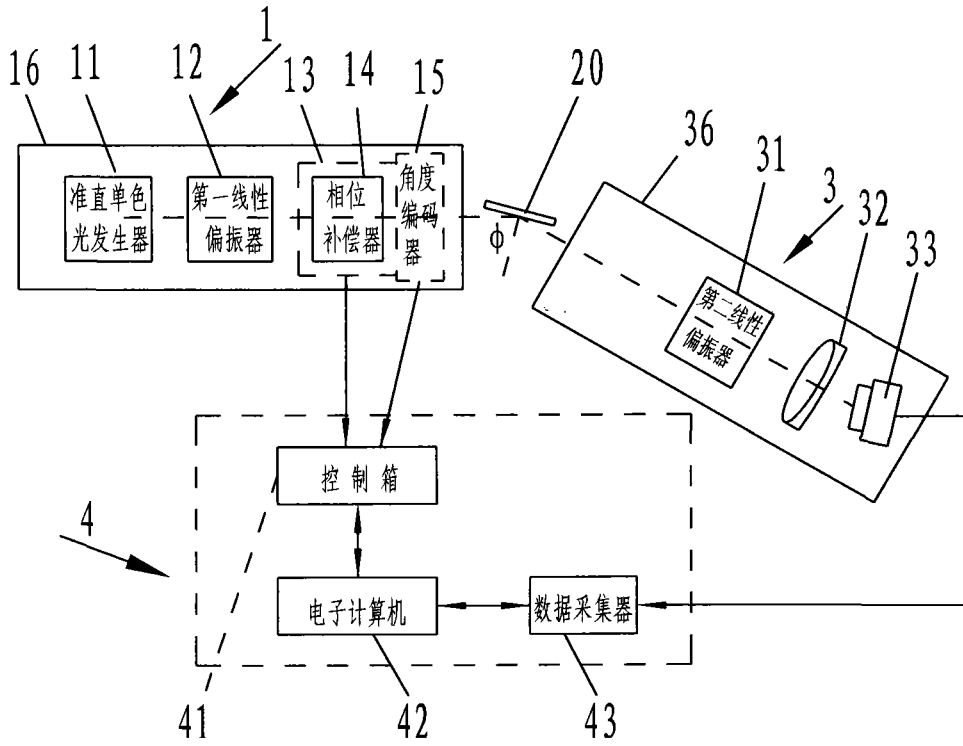


图 3

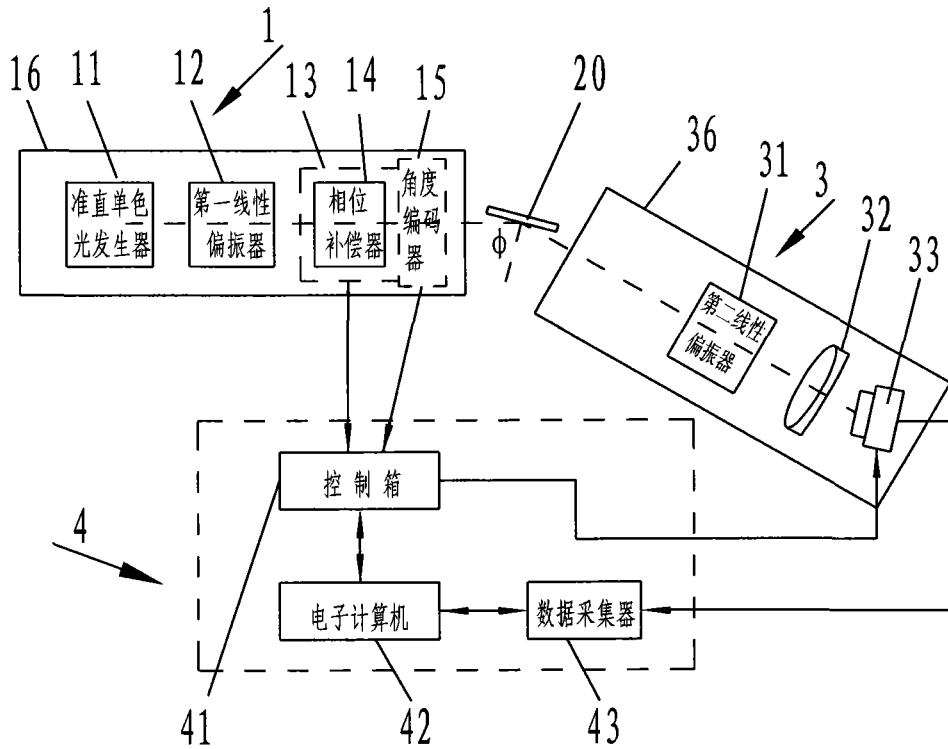


图 4

