



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110118533 A

(43)申请公布日 2019.08.13

(21)申请号 201810112454.6

(22)申请日 2018.02.05

(71)申请人 上海微电子装备(集团)股份有限公司

地址 201203 上海市浦东新区自由贸易试验区张东路1525号

(72)发明人 张鹏黎 王帆

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司 11332

代理人 孟金喆

(51)Int.Cl.

G01B 11/06(2006.01)

G01B 11/00(2006.01)

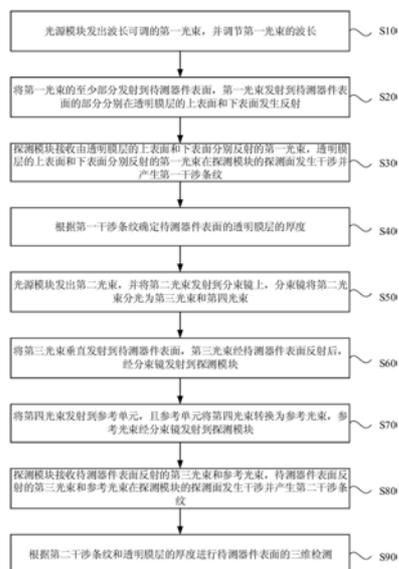
权利要求书3页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

一种三维检测方法及检测装置

(57)摘要

本发明公开了一种三维检测方法及检测装置。该方法包括:光源模块发出波长可调的第一光束;将部分第一光束分别在透明膜层的上下表面发生反射;探测模块接收由透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束,透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹;根据第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度;光源模块发出第二光束,并将第二光束发射到分束镜上,第二光束被分束镜分为第三、第四光束;将第三光束发射到待测器件表面并反射后发射到探测模块;将第四光束发射到参考单元并转换为参考光束发射到探测模块;探测模块接收被反射的第三光束和参考光束,并发生干涉产生第二干涉条纹;根据第二干涉条纹和透明膜层的厚度进行待测器件表面三维检测。本发明可实现待测器件表面精确三维测量。



CN 110118533 A

1. 一种三维检测方法,待测器件表面形成有透明膜层,其特征在于,包括:

光源模块发出波长可调的第一光束,并调节所述第一光束的波长;

将所述第一光束的至少部分发射到所述待测器件表面,所述第一光束发射到待测器件表面的部分分别在所述透明膜层的上表面和下表面发生反射;

探测模块接收由所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束,所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹;

根据所述第一干涉条纹确定所述待测器件表面的透明膜层的厚度;

光源模块发出第二光束,并将所述第二光束发射到分束镜上,所述分束镜将所述第二光束分光为第三光束和第四光束;

将所述第三光束垂直发射到待测器件表面,所述第三光束经所述待测器件表面反射后,经所述分束镜发射到探测模块;

将所述第四光束发射到参考单元,且所述参考单元将所述第四光束转换为参考光束,所述参考光束经所述分束镜发射到探测模块;

所述探测模块接收所述待测器件表面反射的第三光束和所述参考光束,所述待测器件表面反射的第三光束和所述参考光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹;

根据所述第二干涉条纹和所述透明膜层的厚度进行所述待测器件表面的三维检测。

2. 根据权利要求1所述的三维检测方法,其特征在于,所述光源模块包括第一光源和第二光源,所述第一光源发出第一光束,所述第二光源发出第二光束;所述探测模块包括第一探测模块和第二探测模块,所述第一探测模块接收所述第一干涉条纹,所述第二探测模块接收所述第二干涉条纹。

3. 根据权利要求1所述的三维检测方法,其特征在于,所述光源模块包括第一光源,所述第一光源发出第一光束和/或第二光束;所述探测模块包括第一探测模块,所述第一探测模块接收所述第一干涉条纹和/或所述第二干涉条纹;

所述第一光源发出的第一光束被所述分束镜分为发射到待测器件表面部分和发射向参考单元的部分,通过控制设置在所述参考单元之前的光开关以使吸收所述发射向参考单元的部分。

4. 根据权利要求1所述的三维检测方法,其特征在于,所述根据所述第一干涉条纹确定所述待测器件表面的透明膜层的厚度包括:

探测模块根据所述第一干涉条纹,记录所述第一干涉条纹强度出现极大值对应的所述第一光束的至少两个波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ;

利用迭代方法计算满足 $|M\lambda_1 - N\lambda_2| < \xi$ 的正整数M、N,且使 $\sum_{p=1}^2 (2nh - N_p \lambda_p)^2$ 取最小值对应的h作为透明膜层的厚度,其中 $\xi$ 为预设容差, $p=1,2$ ,n为透明膜层的折射率。

5. 根据权利要求4所述的三维检测方法,其特征在于,根据所述第二干涉条纹和所述透明膜层的厚度进行所述待测器件表面的三维检测包括:

根据如下公式确定所述待测器件表面相对于所述参考单元的参考面的高度:

$I = |A_1 \exp(ik_2 \Delta z) + A_2 \exp(ik_2 (\Delta z + nh)) + B \exp(iks \sin \theta x)|^2$ ; 其中,I表示所述探测模

块的探测面的第二干涉条纹强度,  $A_1$ 表示透明膜层上表面的反射相关系数,  $A_2$ 表示透明膜层下表面反射相关系数,  $n$ 表示透明膜层的折射率,  $h$ 表示透明膜层厚度,  $k=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$ 表示光的波长,  $\Delta z$ 表示待测器件表面和参考面的高度差,  $\theta$ 表示待测器件表面反射的第三光束与参考光束的夹角。

6. 一种三维检测装置, 待测器件表面形成有透明膜层, 其特征在于, 包括:

光源模块, 用于发出波长可调的第一光束, 并调节所述第一光束的波长, 所述第一光束的至少部分发射到所述待测器件表面, 所述第一光束发射到待测器件表面的部分分别在所述透明膜层的上表面和下表面发生反射;

探测模块, 用于接收由所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束, 所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹, 根据所述第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度;

光源模块, 还用于发出第二光束, 并将所述第二光束发射到分束镜上;

分束镜, 用于将所述第二光束分光为第三光束和第四光束, 所述第三光束垂直发射到待测器件表面, 所述第四光束发射到参考单元;

参考单元, 用于将所述第四光束转换为参考光束, 所述参考光束经所述分束镜发射到探测模块;

所述探测模块, 还用于接收所述参考光束, 以及经所述待测器件表面反射后, 经所述分束镜透射的第三光束, 所述经所述分束镜透射的第三光束和所述参考光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹, 根据所述第二干涉条纹和所述透明膜层的厚度进行所述待测器件表面的三维检测。

7. 根据权利要求6所述的三维检测装置, 其特征在于, 所述光源模块包括第一光源和第二光源, 所述第一光源发出第一光束, 所述第二光源发出第二光束; 所述探测模块包括第一探测模块和第二探测模块, 所述第一探测模块接收所述第一干涉条纹, 所述第二探测模块接收所述第二干涉条纹。

8. 根据权利要求6所述的三维检测装置, 其特征在于, 所述光源模块包括第一光源, 所述第一光源发出第一光束和/或第二光束; 所述探测模块包括第一探测模块, 所述第一探测模块接收所述第一干涉条纹和/或所述第二干涉条纹; 还包括:

光开关, 用于所述第一光源发出的第一光束被所述分束镜分为发射到待测器件表面部分和发射向参考单元的部分时, 吸收所述发射向参考单元的部分。

9. 根据权利要求6所述的三维检测装置, 其特征在于, 所述探测模块包括光电探测器和计算单元;

所述光电探测器用于接收所述第一干涉条纹和/或所述第二干涉条纹;

所述计算单元用于计算所述透明膜层的厚度和/或所述待测器件表面相对于所述参考单元的参考面的高度。

10. 根据权利要求9所述的三维检测装置, 其特征在于, 所述计算单元具体用于:

根据所述光电探测器接收的所述第一干涉条纹, 记录所述第一干涉条纹强度出现极大值对应的所述光源模块输出的至少两个波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ;

利用迭代方法计算满足 $|M\lambda_1 - N\lambda_2| < \xi$ 的正整数 $M$ 、 $N$ , 且使 $\sum_{p=1}^2 (2nh - N_p \lambda_p)^2$ 取最小值对应

的 $h$ 作为透明膜层的厚度,其中 $\xi$ 为预设容差, $p=1,2$ , $n$ 为透明膜层的折射率。

11. 根据权利要求9所述的三维检测装置,其特征在于,所述计算单元还用于:

根据如下公式确定所述待测器件表面相对于所述参考单元的参考面的高度:

$I = |A_1 \exp(ik_2 \Delta z) + A_2 \exp(ik_2 (\Delta z + nh)) + B \exp(ik \sin \theta x)|^2$ ; 其中 $I$ 表示所述探测模块的探测面的第二干涉条纹强度, $A_1$ 表示透明膜层上表面的反射相关系数, $A_2$ 表示透明膜层下表面反射相关系数, $n$ 表示透明膜层的折射率, $h$ 表示透明膜层厚度, $k=2\pi/\lambda$ , $\lambda$ 表示光的波长, $\Delta z$ 表示待测器件表面和参考面的高度差, $\theta$ 表示待测器件表面反射的第三光束与参考光束的夹角。

12. 根据权利要求9所述的三维检测装置,其特征在于,所述光电探测器为互补金属氧化物半导体或电荷耦合器件图像传感器。

13. 根据权利要求7所述的三维检测装置,其特征在于,所述第一光源和/或第二光源为光学参量振荡激光器,所述光学参量振荡激光器输出波长连续变化的信号光和闲频光。

14. 根据权利要求8所述的三维检测装置,其特征在于,所述第一光源为光学参量振荡激光器,所述光学参量振荡激光器输出波长连续变化的信号光和闲频光。

15. 根据权利要求13或14所述的三维检测装置,其特征在于,所述光学参量振荡激光器输出波长范围为450~900nm。

16. 根据权利要求8所述的三维检测装置,其特征在于,所述光开关为光快门,所述光快门用于在测量所述透明膜层厚度时关闭,吸收所述第一光束发射向参考单元的部分;

在进行所述待测器件表面的三维检测时打开,使所述第四光束和所述参考光束透过。

17. 根据权利要求6所述的三维检测装置,其特征在于,所述参考单元为反射镜,所述反射镜表面与所述待测器件表面之间具有预设夹角。

18. 根据权利要求8~14、16~17任一所述的三维检测装置,其特征在于,还包括放大物镜,所述放大物镜位于所述分束镜和所述待测器件表面之间。

19. 根据权利要求18所述的三维检测装置,其特征在于,还包括反射镜及照明透镜组,所述反射镜设置在所述光源模块和所述照明透镜组之间,用于将所述光源模块发出的第一光束发射到所述照明透镜组上,所述照明透镜组设置在所述反射镜和所述分束镜之间。

20. 根据权利要求19所述的三维检测装置,其特征在于,还包括管镜,位于所述分束镜与所述探测模块之间,用于收集射向所述探测模块的光束。

## 一种三维检测方法及检测装置

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及半导体技术,尤其涉及一种三维检测方法及检测装置。

### 背景技术

[0002] “超摩尔定律”等概念引领集成电路(IC)行业从追求工艺技术节点的时代,转向更多地依赖于芯片封装技术发展的全新时代。相比于传统封装,晶圆级封装(Wafer Level Packaging,WLP)在缩小封装尺寸、节约工艺成本方面有着显著的优势。因此,WLP将是未来支持IC不断发展的主要技术之一。

[0003] WLP主要包括Pillar/Gold/Solder Bump、重布线层(RDL)、硅通孔(TSV)等工艺技术。为了增加芯片制造的良率,在整个封装工艺过程都需要对芯片进行缺陷检测,早期的设备主要集中在表面二维的缺陷检测,例如污染、划痕、颗粒等。随着工艺控制要求的增加,越来越需要对表面三维特征进行检测,例如Bump高度、RDL厚度、TSV的孔深等。

[0004] 目前对芯片三维测量可以采用光的干涉方法测量,但当待测器件表面存在透明膜层时,由于透明膜层上下表面反射光对干涉条纹影响较大,易产生较大的测量误差。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例提供一种三维检测方法及检测装置,一方面可以测量出透明膜层的厚度;另一方面可以根据透明膜层厚度,校正透明膜层对测量结果的影响,实现待测器件表面精确三维测量。

[0006] 第一方面,本发明实施例提供一种三维检测方法,待测器件表面形成有透明膜层,该方法包括:

[0007] 光源模块发出波长可调的第一光束,并调节所述第一光束的波长;

[0008] 将所述第一光束的至少部分发射到所述待测器件表面,所述第一光束发射到待测器件表面的部分分别在所述透明膜层的上表面和下表面发生反射;

[0009] 探测模块接收由所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束,所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹;

[0010] 根据所述第一干涉条纹确定所述待测器件表面的透明膜层的厚度;

[0011] 光源模块发出第二光束,并将所述第二光束发射到分束镜上,所述分束镜将所述第二光束分光为第三光束和第四光束;

[0012] 将所述第三光束垂直发射到待测器件表面,所述第三光束经所述待测器件表面反射后,经所述分束镜发射到探测模块;

[0013] 将所述第四光束发射到参考单元,且所述参考单元将所述第四光束转换为参考光束,所述参考光束经所述分束镜发射到探测模块;

[0014] 所述探测模块接收所述待测器件表面反射的第三光束和所述参考光束,所述待测器件表面反射的第三光束和所述参考光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第二

干涉条纹；

[0015] 根据所述第二干涉条纹和所述透明膜层的厚度进行所述待测器件表面的三维检测。

[0016] 第二方面,本发明实施例还提供一种三维检测装置,待测器件表面形成有透明膜层,该装置包括:

[0017] 光源模块,用于发出波长可调的第一光束,并调节所述第一光束的波长,所述第一光束的至少部分发射到所述待测器件表面,所述第一光束发射到待测器件表面的部分分别在所述透明膜层的上表面和下表面发生反射;

[0018] 探测模块,用于接收由所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束,所述透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹,根据所述第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度;

[0019] 光源模块,还用于发出第二光束,并将所述第二光束发射到分束镜上;

[0020] 分束镜,用于将所述第二光束分光为第三光束和第四光束,所述第三光束垂直发射到待测器件表面,所述第四光束发射到参考单元;

[0021] 参考单元,用于将所述第四光束转换为参考光束,所述参考光束经所述分束镜发射到探测模块;

[0022] 所述探测模块,还用于接收所述参考光束,以及经所述待测器件表面反射后,经所述分束镜透射的第三光束,所述经所述分束镜透射的第三光束和所述参考光束在所述探测模块的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹,根据所述第二干涉条纹和所述透明膜层的厚度进行所述待测器件表面的三维检测。

[0023] 本发明实施例提供的三维检测方法,通过光源模块发出波长可调的第一光束,并调节第一光束的波长;将第一光束的至少部分发射到待测器件表面,第一光束发射到待测器件表面的部分分别在透明膜层的上表面和下表面发生反射;通过探测模块接收由透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束,透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在第一探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹;根据第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度;通过光源模块发出第二光束,并将第二光束发射到分束镜上,分束镜将第二光束分光为第三光束和第四光束;将第三光束垂直发射到待测器件表面,第三光束经待测器件表面反射后,经分束镜发射到探测模块;将第四光束发射到参考单元,且参考单元将第四光束为参考光束,参考光束经分束镜发射到探测模块;通过探测模块接收待测器件表面反射的第三光束和参考光束,待测器件表面反射的第三光束和参考光束在探测模块的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹;根据第二干涉条纹和透明膜层的厚度进行待测器件表面的三维检测。本发明实施例提供的技术方案,利用光的干涉方法,一方面可以测量出透明膜层的厚度;另一方面可以实现待测器件表面三维测量,而且根据透明膜层厚度,校正透明膜层对测量结果的影响,提高测量精度。

## 附图说明

[0024] 图1是本发明实施例一提供的一种三维检测方法的流程图;

[0025] 图2是本发明实施例二提供的一种三维检测装置的结构示意图;

[0026] 图3A是本发明实施例二中测量透明膜层厚度的干涉光路示意图;

[0027] 图3B是本发明实施例二中待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路示意图；

[0028] 图4是本发明实施例三提供的三维检测装置的结构示意图；

[0029] 图5是本发明实施例三中不同波长时透明膜层干涉强度分布示意图。

### 具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明，而非对本发明的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本发明相关的部分而非全部结构，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。

[0031] 实施例一

[0032] 图1所示为本发明实施例一提供的一种三维检测方法的流程图，本实施例可适用于待测器件表面形成有透明膜层的情况，该方法包括如下步骤：

[0033] 步骤10、光源模块发出波长可调的第一光束，并调节第一光束的波长。

[0034] 其中，第一光束为相干光，例如可以是激光，光源模块可以包括激光器，输出波长可调的连续激光。

[0035] 步骤20、将第一光束的至少部分发射到待测器件表面，第一光束发射到待测器件表面的部分分别在透明膜层的上表面和下表面发生反射。

[0036] 步骤30、探测模块接收由透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束，透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹。

[0037] 可以理解的是，透明膜层上表面和下表面分别反射的第一光束满足干涉的条件，两束光在探测模块的探测面发生干涉，产生第一干涉条纹。

[0038] 步骤40、根据第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度。

[0039] 根据干涉条纹极大值公式： $2nh = m\lambda$ ，其中n表示透明膜层的折射率，m为正整数， $\lambda$ 表示光的波长，h表示透明膜层的厚度，对于特定材料的透明膜层，折射率n已知，求出对应波长 $\lambda$ 的正整数m，利用 $h = \frac{m\lambda}{2n}$ 即可得出透明膜层的厚度。

[0040] 步骤50、光源模块发出第二光束，并将第二光束发射到分束镜上，分束镜将第二光束分光为第三光束和第四光束。

[0041] 其中，第二光束为相干光，例如可以是激光，光源模块可以包括激光器，输出相干光发射到分束镜被分为两束。

[0042] 步骤60、将第三光束垂直发射到待测器件表面，第三光束经待测器件表面反射后，经分束镜发射到探测模块。

[0043] 步骤70、将第四光束发射到参考单元，且参考单元将第四光束转换为参考光束，参考光束经分束镜发射到探测模块。

[0044] 步骤80、探测模块接收待测器件表面反射的第三光束和参考光束，待测器件表面反射的第三光束和参考光束在探测模块的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹。

[0045] 可以理解的是，光源模块发出的第二光束经过分束镜分成第三光束和第四光束，

其中第三光束作为探测光发射到待测器件表面,第四光束作为参考光发射到参考单元,形成干涉仪结构,待测器件表面反射的第三光束(探测光束)经过分束镜透射后到达探测模块,参考单元反射的第四光束经过分束镜反射后到达探测模块,两束光在探测模块的探测面发生干涉,产生第二干涉条纹。

[0046] 步骤90、根据第二干涉条纹和透明膜层的厚度进行待测器件表面的三维检测。

[0047] 其中,待测器件表面的三维检测测量的是待测器件表面相对于参考单元的参考面的高度。

[0048] 本实施例的技术方案,通过光源模块发出波长可调的第一光束,并调节第一光束的波长;将第一光束的至少部分发射到待测器件表面,第一光束发射到待测器件表面的部分分别在透明膜层的上表面和下表面发生反射;通过探测模块接收由透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束,透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在探测模块的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹;根据第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度;通过光源模块发出第二光束,并将第二光束发射到分束镜上,分束镜将第二光束分光为第三光束和第四光束;将第三光束垂直发射到待测器件表面,第三光束经待测器件表面反射后,经分束镜发射到探测模块;将第四光束发射到参考单元,且参考单元将第四光束为参考光束,参考光束经分束镜发射到探测模块;通过探测模块接收待测器件表面反射的第三光束和参考光束,待测器件表面反射的第三光束和参考光束在探测模块的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹;根据第二干涉条纹和透明膜层的厚度进行待测器件表面的三维检测。本发明实施例提供的技术方案,利用光的干涉方法,一方面可以测量出透明膜层的厚度;另一方面可以实现待测器件表面三维测量,而且根据透明膜层厚度,校正透明膜层对测量结果的影响,提高测量精度。

[0049] 在上述技术方案的基础上,可选的,光源模块可以包括第一光源和第二光源,第一光源发出第一光束,第二光源发出第二光束;探测模块可以包括第一探测模块和第二探测模块,第一探测模块接收第一干涉条纹,第二探测模块接收第二干涉条纹。

[0050] 可以理解的是,在本发明实施例的一种实施方式中,测量透明膜层厚度的干涉光路和测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路可以为两个光路,即第一光源发射出波长可调的第一光束,第一光束被透明膜层的上表面和下表面反射后被第一探测模块接收,在第一探测模块的探测面产生第一干涉条纹;第二光源发出第二光束,经分束镜分为第三光束和第四光束,分别作为探测光和参考光在第二探测模块的探测面产生第二干涉条纹。

[0051] 可选的,光源模块可以只包括第一光源,第一光源发出第一光束和/或第二光束;探测模块可以只包括第一探测模块,第一探测模块接收所述第一干涉条纹和/或第二干涉条纹;第一光源发出的第一光束被分束镜分为发射到待测器件表面部分和发射向参考单元的部分,通过控制设置在参考单元之前的光开关以使吸收发射向参考单元的部分。

[0052] 可以理解的是,在本发明实施例的另一种实施方式中,测量透明膜层厚度的干涉光路和测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路可以复用在一起,仅使用第一光源和第一探测模块,通过在分束镜与参考单元之间设置光开关,在测量透明薄膜厚度时,光开关关闭,以遮挡并吸收发射到参考单元的光束,只允许透明膜层上表面和下表面反射的光束进入第一探测模块;在测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度时,

光开关打开,待测器件表面反射的光束和参考单元产生的参考光束都可以进入第一探测模块。通过仅利用第一光源和第一探测模块,可以简化光路结构,降低成本,提高待测器件表面三维测量的稳定性。

[0053] 可选的,步骤40具体包括:

[0054] 步骤401、探测模块根据第一干涉条纹,记录第一干涉条纹强度出现极大值对应的第一光束的至少两个波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ;

[0055] 步骤402、利用迭代方法计算满足 $|M\lambda_1 - N\lambda_2| < \xi$ 的正整数M、N,且使 $\sum_{p=1}^2 (2nh - N_p \lambda_p)^2$

取最小值对应的h作为透明膜层的厚度,其中 $\xi$ 为预设容差, $p=1, 2$ ,n为透明膜层的折射率。

[0056] 根据干涉条纹出现极大值的公式: $2nh = m\lambda$ ,当探测模块记录第一干涉条纹出现极大值对应的 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 满足:

$$[0057] \quad 2nh = M\lambda_1 \quad (1)$$

$$[0058] \quad 2nh = N\lambda_2 \quad (2)$$

[0059] 其中M、N都为正整数,利用迭代算法,求出满足:

$$[0060] \quad |M\lambda_1 - N\lambda_2| < \xi \quad (3)$$

[0061] 的正整数M、N,其中, $\xi$ 为预设容差,例如可以是 $\xi = 5\text{nm}$ ,然后令 $2nh$ 在区间 $[M\lambda_1 - \lambda_1/2, M\lambda_1 + \lambda_1/2]$ 范围内搜索,使得

$$[0062] \quad q = \sum_{p=1}^2 (2nh - N_p \lambda_p)^2, \quad p=1, 2 \quad (4)$$

[0063] 取值最小时对应的 $2nh$ ,即可求得透明膜层厚度 $h = 2nh/n$ 。其中, $\lambda_p$ 和 $N_p$ 表示对应的各个极值波长及各极值波长的整数倍。

[0064] 需要说明的是,以上透明膜层厚度的求解过程可以通过计算机程序执行,程序中还可以包括反向检验算法,以排除错误解。举例来说,某次测量时在波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 之间只得到两个对应干涉条纹出现极大值的波长,根据公式(3)和(4)解出多个透明薄膜厚度h的值,例如得到 $h_1$ 和 $h_2$ 两个解,其中 $h_1$ 为实际薄膜厚度,则将解得的 $h_1$ 和 $h_2$ 进行反向检验,可以得出当薄膜厚度为 $h_2$ 时,波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 之间还会出现其他波长满足干涉条纹极大的条件,但实际测量并没有这个波长,则可以将 $h_2$ 排除。

[0065] 可选的,步骤90具体包括:

[0066] 根据如下公式确定待测器件表面相对于参考单元的参考面的高度:

[0067]  $I = |A_1 \exp(ik2 \Delta z) + A_2 \exp(ik2(\Delta z + nh)) + B \exp(iks \sin \theta x)|^2$ ;其中,I表示探测模块的探测面的第二干涉条纹强度, $A_1$ 表示透明膜层上表面的反射相关系数, $A_2$ 表示透明膜层下表面反射相关系数,n表示透明膜层的折射率,h表示透明膜层厚度, $k = 2\pi/\lambda$ , $\lambda$ 表示光的波长, $\Delta z$ 表示待测器件表面和参考面的高度差, $\theta$ 表示探测光束与参考光束的夹角。

[0068] 实施例二

[0069] 图2所示为本发明实施例二提供了一种三维检测装置的结构示意图,本实施例可适用于待测器件表面形成有透明膜层的情况,该三维检测装置包括:

[0070] 光源模块10,用于发出波长可调的第一光束,并调节第一光束的波长,第一光束的至少部分发射到待测器件表面,第一光束发射到待测器件表面的部分分别在透明膜层的上表面和下表面发生反射;探测模块20,用于接收由透明膜层的上表面和下表面分别反射的

第一光束,透明膜层的上表面和下表面分别反射的第一光束在探测模块20的探测面发生干涉并产生第一干涉条纹,根据第一干涉条纹确定待测器件表面的透明膜层的厚度;光源模块10,还用于发出第二光束,并将第二光束发射到分束镜30上;分束镜30,用于将第二光束分光为第三光束和第四光束,第三光束垂直发射到待测器件表面,第四光束发射到参考单元40;参考单元40,用于将第四光束转换为参考光束,参考光束经分束镜30发射到探测模块20;探测模块20,还用于接收参考光束,以及经待测器件表面反射后,经分束镜30透射的第三光束,经分束镜30透射的第三光束和参考光束在探测模块20的探测面发生干涉并产生第二干涉条纹,根据第二干涉条纹和透明膜层的厚度进行待测器件表面的三维检测。

[0071] 其中,第一光束为相干光,例如可以是激光,光源模块10可以包括激光器,输出波长可调的连续激光。透明膜层上表面和下表面分别反射的第一光束满足干涉的条件,两束光在探测模块20的探测面发生干涉,产生第一干涉条纹。根据干涉条纹极大值公式: $2nh=m\lambda$ ,其中n表示透明膜层的折射率,m为正整数, $\lambda$ 表示光的波长,h表示透明膜层的厚度,对于特定材料的透明膜层,折射率n已知,求出对应波长 $\lambda$ 的正整数m,利用 $h=\frac{m\lambda}{2n}$ 即可得出透明

膜层的厚度。第二光束为相干光,例如可以是激光,光源模块10可以包括激光器,光源模块10发出的第二光束经过分束镜30分成第三光束和第四光束,其中第三光束作为探测光发射到待测器件表面,第四光束作为参考光发射到参考单元40,形成干涉仪结构,待测器件表面反射的第三光束(探测光束)经过分束镜30透射后到达探测模块20,参考单元40反射的第四光束经过分束镜30反射后到达探测模块20,两束光在探测模块20的探测面发生干涉,产生第二干涉条纹。待测器件表面的三维检测测量的是待测器件表面相对于参考单元40的参考面的高度。

[0072] 本实施例的技术方案,利用光的干涉方法,一方面可以测量出透明膜层的厚度;另一方面可以实现待测器件表面三维测量,而且根据透明膜层厚度,校正透明膜层对测量结果的影响,提高测量精度。

[0073] 图3A所示为测量透明膜层厚度的干涉光路示意图,图3B测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路示意图。可选的,光源模块10包括第一光源11和第二光源12,第一光源11发出第一光束,第二光源12发出第二光束;探测模块20包括第一探测模块21和第二探测模块22,第一探测模块21接收第一干涉条纹,第二探测模块22接收第二干涉条纹。

[0074] 可以理解的是,在本发明实施例的一种实施方式中,测量透明膜层厚度的干涉光路和测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路可以为两个光路,即第一光源11发射出波长可调的第一光束,第一光束被透明膜层的上表面和下表面反射后被第一探测模块21接收,在第一探测模块21的探测面产生第一干涉条纹;第二光源12发出第二光束,经分束镜30分为第三光束和第四光束,分别作为探测光和参考光在第二探测模块22的探测面产生第二干涉条纹。

[0075] 可选的,第一光源11和/或第二光源12可以为光学参量振荡激光器,光学参量振荡激光器输出波长连续变化的信号光和闲频光。光学参量振荡激光器输出波长范围可以为450~900nm。

[0076] 可选的,光源模块10可以仅包括第一光源11,第一光源11发出第一光束和第二光

束;探测模块20可以仅包括第一探测模块21,第一探测模块21接收第一干涉条纹和第二干涉条纹;该三维检测装置还包括:光开关50,用于第一光源11发出的第一光束被分束镜30分为发射到待测器件表面部分和发射向参考单元40的部分时,吸收发射向参考单元40的部分。

[0077] 可以理解的是,在本发明实施例的另一种实时方式中,测量透明膜层厚度的干涉光路和测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路可以复用在一起,仅使用第一光源11和第一探测模块20,通过在分束镜30与参考单元40之间设置光开关50,在测量透明薄膜厚度时,光开关50关闭,以遮挡并吸收发射到参考单元40的光束,只允许透明膜层上表面和下表面反射的光束进入第一探测模块20;在测量待测器件表面相对于参考单元40的参考面高度时,光开关50打开,待测器件表面反射的光束和参考单元40产生的参考光束都可以进入第一探测模块20。通过仅利用第一光源11和第一探测模块21可以简化光路结构,降低成本,提高待测器件表面三维测量的稳定性。

[0078] 继续参考图2,可选的,探测模块20包括光电探测器201和计算单元202;光电探测器201用于接收第一干涉条纹和/或第二干涉条纹;计算单元202用于计算透明膜层的厚度和/或待测器件表面相对于参考单元40的参考面的高度。

[0079] 可选的,计算单元202具体用于:

[0080] 根据光电探测器201接收的第一干涉条纹,记录第一干涉条纹强度出现极大值对应的光源模块10输出的至少两个波长 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ;

[0081] 利用迭代方法计算满足 $|M\lambda_1 - N\lambda_2| < \xi$ 的正整数M、N,且使 $\sum_{p=1}^2 (2nh - N_p \lambda_p)^2$ 取最小值对应的h作为透明膜层的厚度,其中 $\xi$ 为预设容差, $p=1,2$ ,n为透明膜层的折射率。

[0082] 计算单元202计算透明膜层厚度的具体方法详见上述实施例一中描述,在此不再累述。

[0083] 可选的,计算单元202还用于:

[0084] 根据如下公式确定待测器件表面相对于参考单元40的参考面的高度:

[0085]  $I = |A_1 \exp(ik2\Delta z) + A_2 \exp(ik2(\Delta z + nh)) + B \exp(iks \sin \theta_x)|^2$ ;其中I表示探测模块的探测面的第二干涉条纹强度, $A_1$ 表示透明膜层上表面的反射相关系数, $A_2$ 表示透明膜层下表面反射相关系数,n表示透明膜层的折射率,h表示透明膜层厚度, $k=2\pi/\lambda$ , $\lambda$ 表示光的波长, $\Delta z$ 表示待测器件表面和参考面的高度差, $\theta$ 表示探测光束与参考光束的夹角。

[0086] 实施例三

[0087] 图4为本发明实施例三提供的三维检测装置的结构示意图,本实施例可以以上述实施例为基础,提供一个具体实例。

[0088] 参考图4,本实施例中将测量透明膜层厚度的干涉光路和测量待测器件表面相对于参考单元的参考面高度的干涉光路复用在一起,仅使用第一光源11和第一探测模块21,其中第一探测模块21包括第一光电探测器211和第一计算单元212。具体的,第一光电探测器211可以为互补金属氧化物半导体或电荷耦合器件图像传感器,将发生干涉的光信号转换为电信号。

[0089] 可选的,第一光源11可以为光学参量振荡激光器,光学参量振荡激光器输出波长连续变化的信号光和闲频光。

[0090] 由于本发明实施例所需的光源为波长连续可调的相干光源,光学参量振荡(OPO)激光器是一种波长可调谐的相干光源,能将一个频率的激光转换为信号光和闲频光的相干输出,而且,可以在一个很宽的频率范围内实现调谐,是一种满足本实施例所需条件的相干光源。

[0091] 可选的,光学参量振荡激光器输出波长范围可以为450~900nm。

[0092] 可选的,光开关50可以为光快门,光快门用于在测量透明膜层厚度时关闭,吸收第一光束发射向参考单元40的部分;在进行待测器件表面的三维检测时打开,使第四光束和参考光束透过。

[0093] 可选的,参考单元40为反射镜,反射镜表面与待测器件表面之间具有预设夹角。

[0094] 参考图4,待测器件表面与水平面平行,反射镜表面与待测器件表面具有预设夹角,例如可以为 $89^\circ$ ,使第一探测模块21接收到的待测器件表面反射的光束和参考光束具有夹角 $\theta$ 。

[0095] 可选的,该三维检测装置还包括放大物镜60,放大物镜60位于分束镜30和待测器件表面之间。

[0096] 可选的,该三维检测装置还包括反射镜70及照明透镜组80,反射镜70设置在光源模块10和照明透镜组80之间,用于将光源模块10发出的第一光束发射到照明透镜组80上,照明透镜组80设置在反射镜70和分束镜30之间。

[0097] 可选的,该三维检测装置还包括管镜90,位于分束镜30与探测模块20之间,用于收集射向探测模块20的光束。

[0098] 本实施例测量透明膜层厚度h的具体过程如下:

[0099] 第一光源11选择OPO激光器,其可以同时输出信号光(signal light)和闲频光(idle light),通过调节谐振晶体,其signal light(和idle light)波长可连续变化。

[0100] 当待测器件表面形成有透明膜层时,光开关50闭合,遮挡并吸收第四光束,只允许透明膜层上表面和下表面反射的光束进入第一探测模块21,此时signal light和idle light分别在第一探测模块21的探测面产生干涉:

$$[0101] \quad I_s = |A_{1s} + A_{2s} \exp(ik_s 2nh)|^2 \quad (5)$$

$$[0102] \quad I_i = |A_{1i} + A_{2i} \exp(ik_i 2nh)|^2 \quad (6)$$

[0103] 其中, $A_{1s}$ 和 $A_{2s}$ 分别表示signal light在透明膜层上表面和下表面的反射系数, $A_{1i}$ 和 $A_{2i}$ 分别表示idle light在透明膜层上表面和下表面的反射系数。对一般介质而言,反射系数 $A_{1s}$ 、 $A_{2s}$ 、 $A_{1i}$ 和 $A_{2i}$ 可认为是连续缓变的。

[0104] 调节OPO谐振晶体,使OPO激光器输出的signal light和idle light连续变化,可获得第一探测模块21的探测面上干涉信号随波长的变化曲线。本实施例所用的OPO激光器输出波长的变化范围为450-900nm,图5所示为不同波长时透明膜层干涉强度分布示意图。其signal light获得干涉极大值时对应的波长为478nm、515nm、558nm、608nm和669nm;其idle light获得干涉极大值时对应的波长为744nm和837nm。根据公式(5)和(6)可知,干涉信号获得极大值时,透明膜层厚度需满足 $2nh = m_1 \lambda_s$ 或 $2nh = m_2 \lambda_i$ ,其中 $m_1, m_2$ 为正整数, $\lambda_s, \lambda_i$ 分别为signal light和idle light的波长。

[0105] 因此,对某一波段范围内,有且仅有若干个极大值时,而 $2nh$ 必定为所有极大值对应波长的整数倍。求取 $2nh$ 的方法如下:

[0106] 首先以极值中对应的最小波长(例如478nm)作为基数 $\lambda_{\min}$ ,M为正整数,使得 $M\lambda_{\min}$ 最接近其它波长的整数倍

$$[0107] \quad |M\lambda_{\min} - N\lambda_{\text{others}}| < \xi \quad (7)$$

[0108] 其中N也为正整数, $\xi$ 为定义允许的容差,例如可以设置 $\xi = 5\text{nm}$ 。

[0109] 然后令 $2nh$ 在区间 $[M\lambda_1 - \lambda_1/2, M\lambda_1 + \lambda_1/2]$ 范围搜索,使得

$$[0110] \quad q = \sum_{p=1}^n (2nh - N_p \lambda_p)^2, \quad p=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

[0111] 取值最小时对应的 $2nh$ ,即可求得透明膜层厚度 $h = 2nh/n$ 。其中, $\lambda_p$ 和 $N_p$ 表示对应的各个极值波长及各极值波长的整数倍。

[0112] 对于如图5所示的干涉信号,可获得极值时对应的波长为478nm、515nm、558nm、608nm、669nm、744nm和837nm,根据公式(7)和(8),通过计算机程序迭代计算,可求得 $2nh = 6693.3\text{nm}$ ,若透明膜层折射率 $n = 1.5$ ,可获得透明介质厚度为 $h = 2231.1\text{nm}$ 。

[0113] 求解出透明膜层厚度 $h$ 之后,光开关50打开,第一探测模块21的探测面接收第二干涉条纹,根据如下公式根据如下公式确定待测器件表面相对于参考单元的参考面的高度:

[0114]  $I = |A_1 \exp(ik_2 \Delta z) + A_2 \exp(ik_2 (\Delta z + nh)) + B \exp(iks \sin \theta_x)|^2$ ;其中,I表示探测模块的探测面的第二干涉条纹强度, $A_1$ 表示透明膜层上表面的反射相关系数, $A_2$ 表示透明膜层下表面反射相关系数, $n$ 表示透明膜层的折射率, $h$ 表示透明膜层厚度, $k = 2\pi/\lambda$ , $\lambda$ 表示光的波长, $\Delta z$ 表示待测器件表面和参考面的高度差, $\theta$ 表示探测光束与参考光束的夹角。

[0115] 此外,当待测器件表面没有透明膜层时,单个波长 $\lambda$ 的探测光与参考光的干涉条纹描述如下

$$[0116] \quad I = |A \exp(ik_2 \Delta z) + B \exp(iks \sin \theta_x)|^2 \quad (9)$$

[0117] 其中 $k = 2\pi/\lambda$ , $\Delta z$ 表示待测器件面和参考单元的参考面的高度差, $\theta$ 表示探测光束与参考光束的夹角,A、B分别表示探测光路和参考光路的反射(或透射)系数。根据公式(9)可以确定待测器件表面相对于参考单元的参考面的高度。

[0118] 注意,上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解,本发明不限于这里所述的特定实施例,对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此,虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明,但是本发明不仅仅限于以上实施例,在不脱离本发明构思的情况下,还可以包括更多其他等效实施例,而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

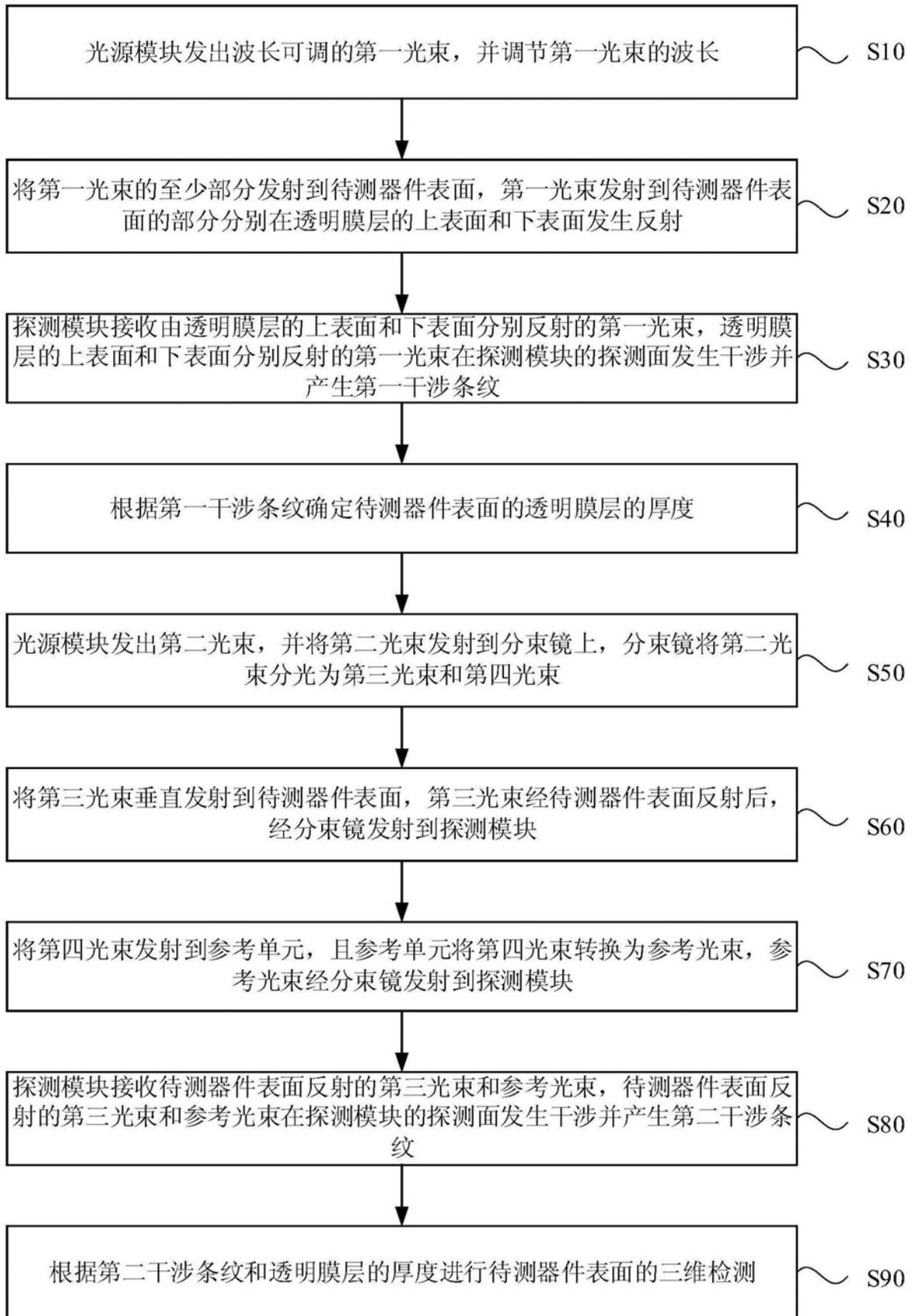


图1

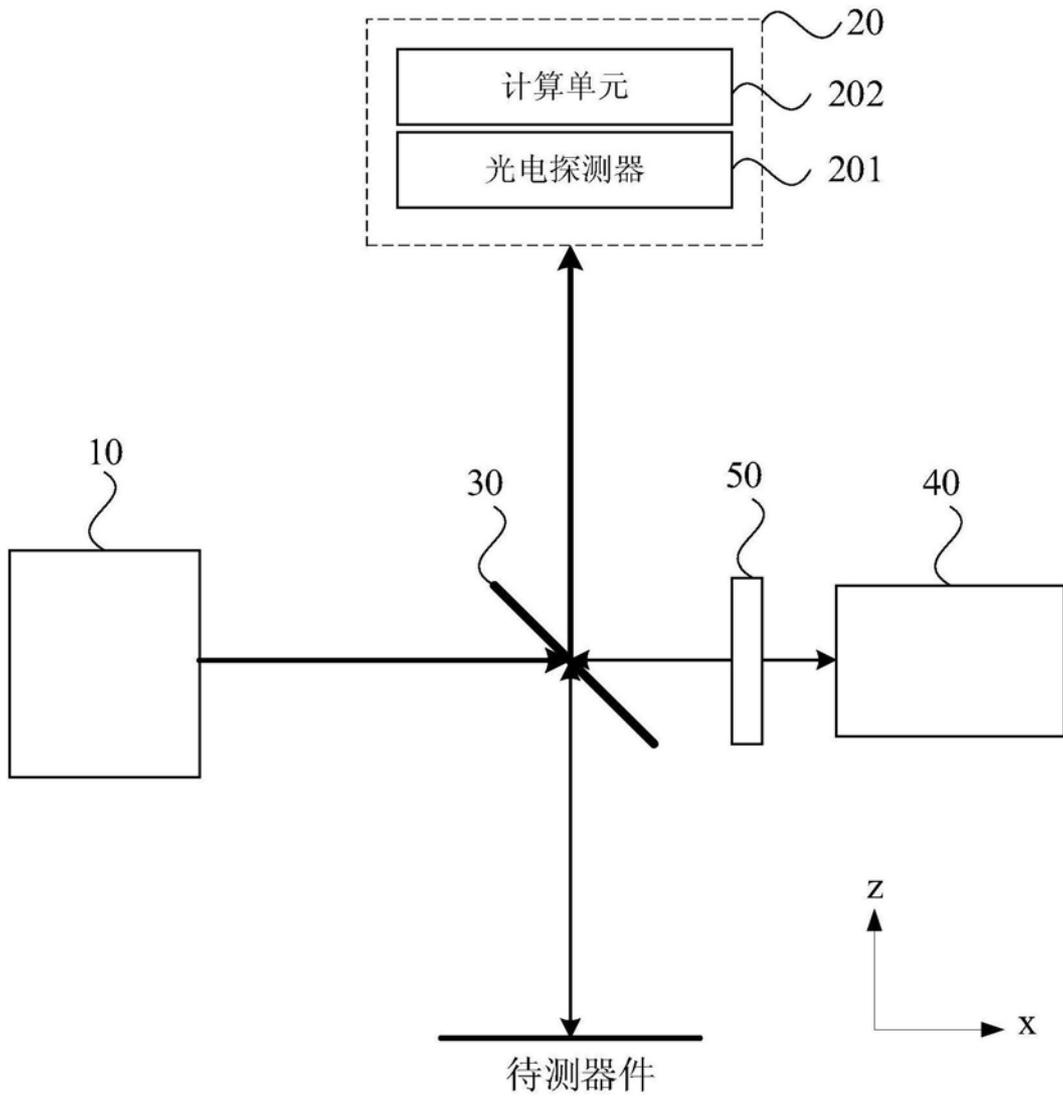


图2

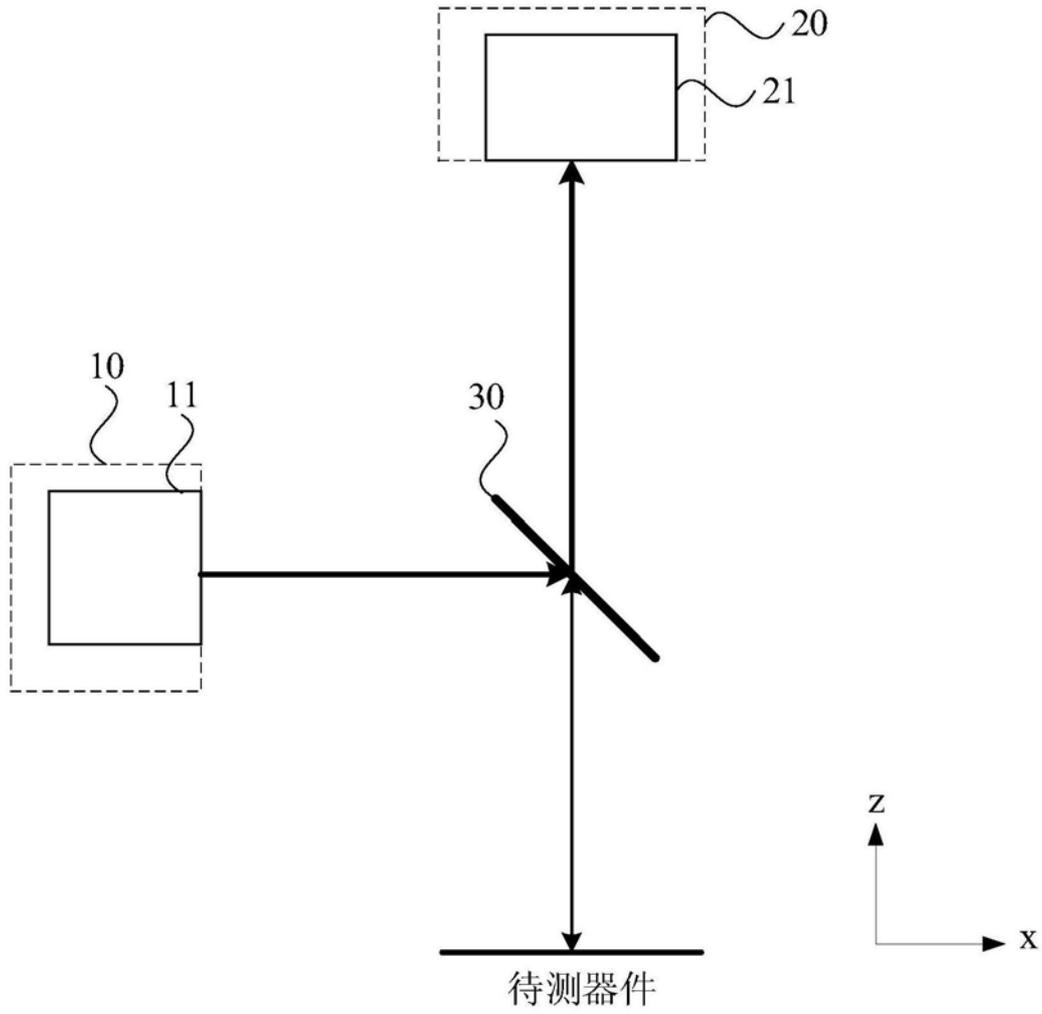


图3A

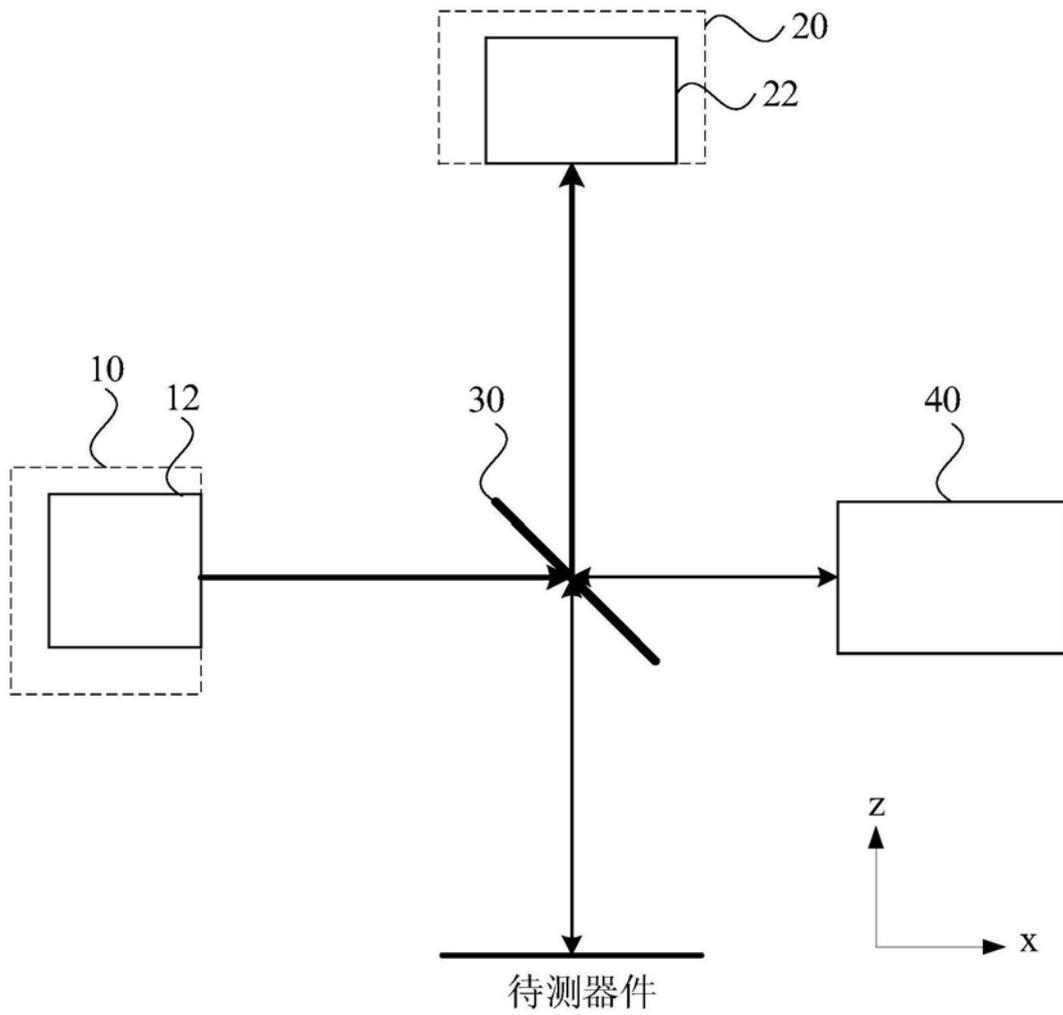


图3B

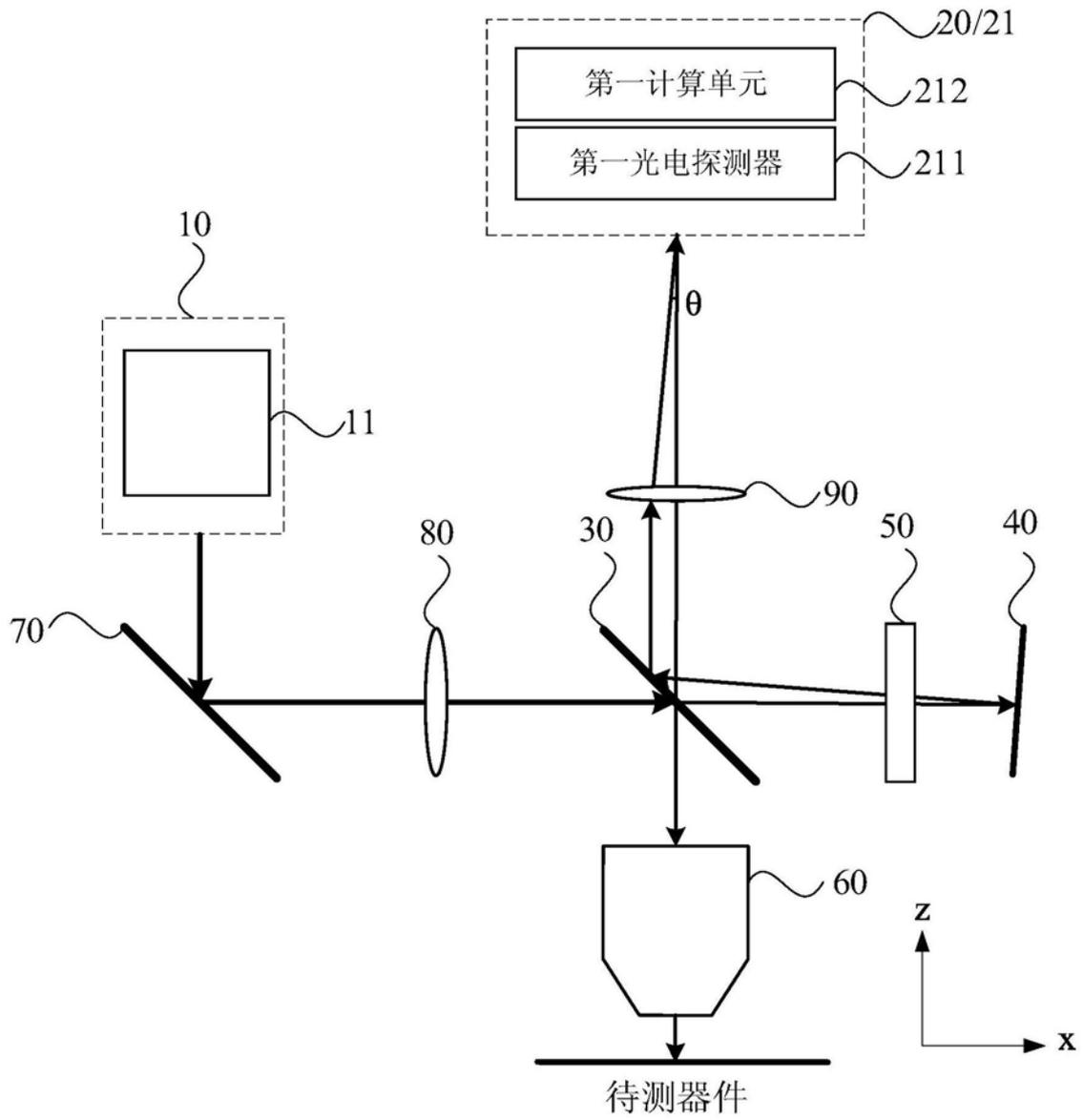


图4

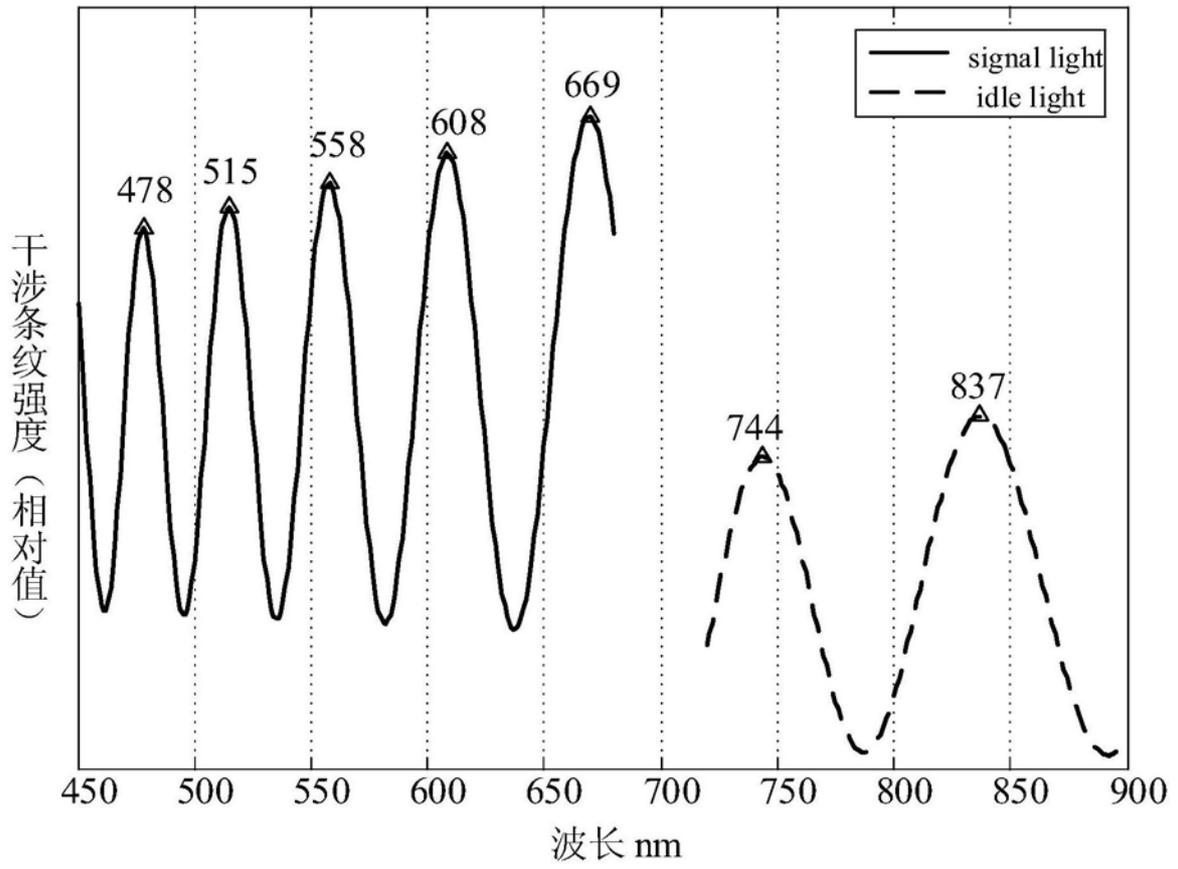


图5