



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113218625 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202110245352.3

(22) 申请日 2021.03.05

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113218625 A

(43) 申请公布日 2021.08.06

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院  
地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街  
道高新技术产业园南区粤兴一道18号  
香港理工大学产学研大楼205室  
专利权人 复旦大学  
哈尔滨工业大学(深圳)

(72) 发明人 陈沐谷 赵茂雄 石磊 肖淑敏  
蔡定平

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事  
务所(普通合伙) 44268  
专利代理师 朱阳波

(51) Int. Cl.  
G01M 11/02 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 111722399 A, 2020.09.29  
CN 104236857 A, 2014.12.24

CN 105806493 A, 2016.07.27  
EP 3595195 A1, 2020.01.15  
JP 2007226224 A, 2007.09.06  
CN 104006891 A, 2014.08.27  
CN 104916918 A, 2015.09.16  
CN 109709784 A, 2019.05.03  
CN 110007451 A, 2019.07.12  
CN 110442007 A, 2019.11.12  
CN 112327475 A, 2021.02.05  
CN 206556842 U, 2017.10.13  
KR 101833245 B1, 2018.03.02  
WO 2013031901 A1, 2013.03.07  
WO 9623387 A1, 1996.08.01

崔永俊等. 基于FFT的高精度相位测量系统设计. 电子器件. 2019, 第42卷(第05期), 第1190-1194页.

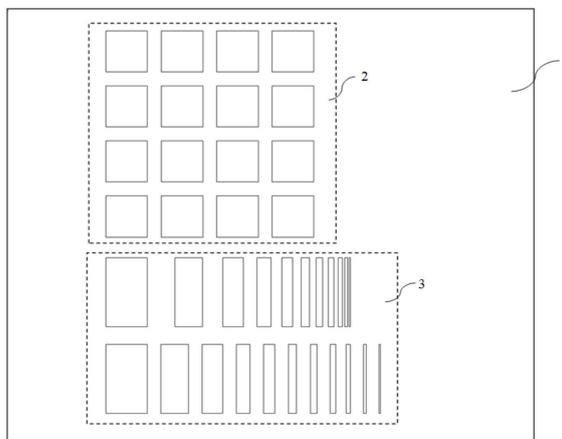
孙志猛. 双频激光干涉仪非线性误差测量技术研究. 中国优秀硕士学位论文全文数据库(电子期刊)工程科技II辑. 2014, (第06期), C030-28. (续)

审查员 刘园

权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称  
一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件

(57) 摘要  
本发明公开了一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件, 包括: 基板和设置于所述基板上的相位精准度检测模块和空间分辨率检测模块, 所述相位精准度检测模块由具有不同旋转角度的若干第一超构表面组成, 所述空间分辨率检测模块由具有不同尺寸和不同间距的若干第二超构表面组成。本发明通过集成不同旋转角度的超构表面来产生多阶相位分布, 实现相位测量系统的相位测量精准度检测, 通过调节超构表面的整体尺寸和超构表面之间的间距, 实现相位测量系统的空间解析度检测。



CN 113218625 B

[接上页]

(56) 对比文件

Huang YW.Structured semiconductor

interfaces:active functionality on light  
manipulation.Proceedings of the  
IEEE.2020,第108卷(第05期),第772-794页.

1. 一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其特征在于,包括:基板和设置于所述基板上的相位精准度检测模块和空间分辨率检测模块,所述相位精准度检测模块由具有不同旋转角度的若干第一超构表面组成,所述空间分辨率检测模块由具有不同尺寸和不同间距的若干第二超构表面组成;

各个所述第一超构表面分别由若干超构表面单元组成,每个所述超构表面单元具有预设的第一旋转角度;

属于相同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度相同,属于不同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度不同;

属于不同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度从 $0^\circ$ 开始依次递增,且递增角度为 $180^\circ/N$ ;其中, $N$ 为组成所述相位精准度检测模块的第一超构表面的个数;

所述空间分辨率检测模块包括第一空间分辨率检测单元和第二空间分辨率检测单元,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面之间的距离不同,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面之间的距离相同。

2. 根据权利要求1所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其特征在于,所述标准相位检测元件具有预设的第二旋转角度。

3. 根据权利要求1所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其特征在于,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面沿水平方向依次排列,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面之间的间距不同。

4. 根据权利要求3所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其特征在于,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面长度相等,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面宽度沿水平方向依次减小。

5. 根据权利要求3所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其特征在于,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面沿水平方向依次排列,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面之间的间距相同。

6. 根据权利要求5所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其特征在于,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面长度相等,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面宽度沿水平方向依次减小。

## 一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学技术领域,尤其涉及一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件。

### 背景技术

[0002] 光学和电磁波的特性中包含了振幅、偏振和相位,光学系统的能力需要通过标准分析片来检测,分辨率测试卡是光学成像系统能力检测的标准,可以对光的振幅进行分析,提供实际成像情况在振幅方面的垂直分辨率和水平分辨率等辅助测试。

[0003] 目前用于测量光学成像元件的分辨率测试卡包含了垂直解像力条、对比指示条、对角线解像力条、中央对焦区、水平解像力条,分别用于测量光学成像元件的垂直影像的解像力,不同空间频率的对比,45度倾斜的对角线解像力,对焦同心圆以及对水平影像的解像力。随着科技的进步以及微纳光学与光学元件的发展,相位测量系统也被发展出来用于检测光学元件的相位信息,但目前缺乏针对相位检测的标准分析元件来检测相位测量系统的相位精准度。

[0004] 因此,现有技术有待于进一步地改进。

### 发明内容

[0005] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,以解决现有缺乏用于检测相位测量系统的相位精准度的标准分析元件问题。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,包括:基板和设置于所述基板上的相位精准度检测模块和空间分辨率检测模块,所述相位精准度检测模块由具有不同旋转角度的若干第一超构表面组成,所述空间分辨率检测模块由具有不同尺寸和不同间距的若干第二超构表面组成。

[0008] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,各个所述第一超构表面分别由若干超构表面单元组成,每个所述超构表面单元具有预设的第一旋转角度。

[0009] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,属于相同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度相同,属于不同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度不同。

[0010] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,属于不同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度从 $0^{\circ}$ 开始依次递增,且递增角度为 $180^{\circ}/N$ ;其中, $N$ 为组成所述相位精准度检测模块的第一超构表面的个数。

[0011] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,所述标准相位检测元件具有预设的第二旋转角度。

[0012] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,所述空间分辨率检测

模块包括第一空间分辨率检测单元和第二空间分辨率检测单元,所述第一空间分辨率检测单元和所述第二空间分辨率检测单元均由具有不同尺寸的若干第二超构表面组成。

[0013] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面沿水平方向依次排列,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面之间的间距不同。

[0014] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面长度相等,组成所述第一空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面宽度沿水平方向依次减小。

[0015] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面沿水平方向依次排列,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面之间的间距相同。

[0016] 所述的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,其中,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面长度相等,组成所述第二空间分辨率检测单元的若干所述第二超构表面的横截面宽度沿水平方向依次减小。

[0017] 有益效果:本发明通过集成不同旋转角度的超构表面来产生多阶相位分布,实现相位测量系统的相位测量精准度检测,通过调节超构表面的整体尺寸和超构表面之间的间距,实现相位测量系统的空间解析度检测。

## 附图说明

[0018] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图示出的结构获得其他的附图。

[0019] 图1是本发明实施例中提供的基于几何相位超构表面的标准相位检测元件的结构示意图;

[0020] 图2是本发明实施例中提供的超构表面单元的立体图;

[0021] 图3是本发明实施例中提供的超构表面单元的俯视图;

[0022] 图4是本发明实施例中提供的相位精准度检测模块的结构示意图;

[0023] 图5是本发明实施例中提供的第一旋转角度 $\theta_1$ 与输出相位角度 $\Phi$ 之间的关系图;

[0024] 图6是本发明实施例中提供的标准相位检测元件的第二旋转角度 $\theta_2$ 的结构示意图;

[0025] 图7是本发明实施例中提供的等效 $\theta_1$ 与输出相位角度 $\Phi$ 之间的关系图;

[0026] 图8是本发明实施例中提供的空间分辨率检测模块的结构示意图。

[0027] 附图中各标记:1、基板;2、相位精准度检测模块;3、空间分辨率检测模块;21、第一超构表面;31、第一空间分辨率检测单元;32、第二空间分辨率检测单元;211、超构表面单元;311、第二超构表面。

## 具体实施方式

[0028] 本发明提供一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,该标准相位检测元

件通过集成不同旋转角度的超构表面来产生多阶相位分布,实现相位检测,通过调节超构表面的整体尺寸和超构表面之间的间距来实现空间解析度的检测。为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下参照附图并举实例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0029] 在实施方式和申请专利范围中,除非文中对于冠词有特别限定,否则“一”与“所述”可泛指单一个或复数个。

[0030] 另外,若本发明实施例中有涉及“第一”、“第二”等的描述,则该“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。另外,各个实施例之间的技术方案可以相互结合,但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础,当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在,也不在本发明要求的保护范围之内。

[0031] 请参阅图1~图8,本发明提供了一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件。

[0032] 如图1所示,本发明所提供的一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,用于检测相位测量系统的相位测量精准度,通过集成不同旋转角度的超构表面来产生多阶相位分布,实现相位检测,通过调节超构表面的整体尺寸和超构表面之间的间距来实现空间解析度的检测。其中,所述标准相位检测元件包括:基板1和设置于所述基板1上的相位精准度检测模块2和空间分辨率检测模块3,所述相位精准度检测模块2由具有不同旋转角度的若干第一超构表面21组成,所述空间分辨率检测模块3由具有不同尺寸和不同间距的若干第二超构表面311组成。超构表面是由微纳米结构阵列组成的二维平面,当入射的光或电磁波与微纳结构发生耦合交互作用,超构表面元件包含的每个微纳结构可逐个视为一个新的二次点光源,将波前重新建构,产生全新的光学或电磁波特性,用来调控振幅、偏振和相位。当进行相位测量精准度的检测时,调控若干第一超构表面21的旋转角度产生多阶的相位分布数据,通过相位测量系统对相位分布数据进行数据处理,可以呈现不同的颜色即代表不同的相位,当无法区分相邻区块的颜色时即代表相位测量系统无法识别该相位,从而实现相位测量系统相位测量精准度的检测。当进行空间解析度的检测时,调节若干第二超构表面311的整体尺寸和若干第二超构表面311之间的间距产生空间解析度数据,通过相位测量系统对空间解析度数据进行数据处理,可以判断相位测量系统能解析出的线宽,即实现相位测量系统空间解析度的检测。

[0033] 如图2~图4所示,各个所述第一超构表面21由若干超构表面单元211组成,各个所述超构表面单元211具有预设的第一旋转角度 $\theta_1$ ,所述第一旋转角度 $\theta_1$ 为所述超构表面单元211的水平横截面的长轴相对于y轴的旋转角度。例如,当超构表面单元211对应的第一旋转角度为 $0^\circ$ 时,该超构表面单元211的水平横截面的长轴与y轴平行;当超构表面单元211对应的第一旋转角度为 $90^\circ$ 时,该超构表面单元211的水平横截面的长轴与y轴垂直。

[0034] 继续参照图3所示,为了实现不同第一超构表面21具有不同的旋转角度,本实施例中设置属于相同第一超构表面21的超构表面单元211对应的第一旋转角度相同,属于不同第一超构表面21的超构表面单元211对应的第一旋转角度不同。例如,当第一超构表面21对应的第一旋转角度为 $0^\circ$ 时,组成第一超构表面21的若干超构表面单元211的第一旋转角度均

为 $0^\circ$ ;当第一超构表面21对应的第一旋转角度为 $15^\circ$ 时,组成第一超构表面21的若干超构表面单元211的第一旋转角度均为 $15^\circ$ 。

[0035] 在一具体实施方式中,属于不同第一超构表面的超构表面单元对应的第一旋转角度从 $0^\circ$ 开始依次递增,且递增角度为 $180^\circ/N$ ;其中, $N$ 为组成所述相位精准度检测模块2的第一超构表面21的个数。例如,当组成所述相位精准度检测模块2的第一超构表面21的个数为12时,组成各个所述第一超构表面21的超构表面单元211的第一旋转角度 $\theta_1$ 从 $0^\circ$ 开始依次递增,且递增角度为 $15^\circ$ ,即12个第一超构表面21中的超构表面单元211对应的第一旋转角度 $\theta_1$ 分别为 $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 和 $165^\circ$ 。

[0036] 进一步参照图5所示,当组成所述相位精准度检测模块2的第一超构表面21的个数为12时,各个第一超构表面21中的超构表面单元211对应的第一旋转角度 $\theta_1$ 分别为 $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 和 $165^\circ$ ,各个第一超构表面21对应的输出相位角度 $\Phi$ 为第一旋转角度 $\theta_1$ 的2倍,即各个第一超构表面21对应的输出相位角度 $\Phi$ 分别为 $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $210^\circ$ 、 $240^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $300^\circ$ 和 $330^\circ$ 。因 $0^\circ$ 和 $360^\circ$ 是相同的相位,因而通过将各个所述第一超构表面21中的超构表面单元211对应的第一旋转角度 $\theta_1$ 从 $0^\circ$ 开始依次递增,且递增角度为 $180^\circ/N$ ,可以使各个第一超构表面21输出涵盖 $0^\circ$ 到 $360^\circ$ 的相位分布阵列,实现完整 $2\pi$ 的相位检测。

[0037] 如图6和图7所示,所述标准相位检测元件具有预设的第二旋转角度 $\theta_2$ ,所述第二旋转角度为所述标准相位检测元件的水平横截面的长轴相对于y轴的旋转角度,通过调控整个标准相位检测元件的第二旋转角度,可以进一步地精细调控各个第一超构表面21的输出相位,从而得到更连续的输出相位变化。例如,各个第一超构表面21中的超构表面单元211对应的第一旋转角度 $\theta_1$ 分别为 $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 等,当标准相位检测元件对应的第二旋转角度 $\theta_2$ 为 $2^\circ$ 时,从观察面可以看到“等效 $\theta_1$ ”所呈现的角度变为 $2^\circ$ 、 $32^\circ$ 、 $62^\circ$ 、 $92^\circ$ 等,通过第二旋转角度 $\theta_2$ 可以将第一旋转角度 $\theta_1$ 之间的差异补齐,实现更精细的相位差异。

[0038] 如图8所示,所述空间分辨率检测模块3包括第一空间分辨率检测单元31和第二空间分辨率检测单元32,所述第一空间分辨率检测单元31和所述第二空间分辨率检测单元32均由具有不同尺寸的若干第二超构表面311组成,且组成所述第一空间分辨率检测单元31的若干第二超构表面311和组成所述第二空间分辨率检测单元32的若干第二超构表面311均沿水平方向依次排列。组成所述第一空间分辨率检测单元31的若干所述第二超构表面311之间的距离不同,而组成所述第二空间分辨率检测单元32的若干所述第二超构表面311之间的距离相同。具体检测过程中,通过光或电磁波照射标准相位检测元件获取空间解析度数据,通过相位测量系统对空间解析度数据进行数据处理,可以确定相位测量系统能解析出的线宽,即实现相位测量系统空间解析度的检测。

[0039] 在一具体实施方式中,组成第一空间分辨率检测单元31的若干所述第二超构表面311的尺寸和间距如表1所示,其中,第一空间分辨率检测单元31由11个第二超构表面311组成, $w_1\sim w_{11}$ 分别为11个第二超构表面311的水平横截面的宽度值, $g_2\sim g_{11}$ 分别为11个第二超构表面311之间的距离值。由表1可以看出,组成所述第一空间分辨率检测单元31的若干所述第二超构表面311的水平横截面的长度相等,组成所述第一空间分辨率检测单元31的若干所述第二超构表面311的水平横截面的宽度沿水平方向依次减小,且相邻所述第二超构表面311之间的间距等于相邻所述第二超构表面311。

[0040] 表1若干第二超构表面的尺寸和间距

|             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| [0041] 参数名称 | w1 | w2 | w3 | w4 | w5 | w6 | w7 | w8 | w9 | w10 | w11 |
| 参数名称        | -  | g2 | g3 | g4 | g5 | g6 | g7 | g8 | g9 | g10 | g11 |
| 长度(μm)      | 30 | 20 | 15 | 10 | 8  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2   | 1   |

[0042] 在一具体实施方式中,组成第二空间分辨率检测单元32的若干所述第二超构表面311的尺寸和间距如表1所示,与第一空间分辨率检测单元31类似,组成所述第二空间分辨率检测单元32的若干所述第二超构表面311的横截面长度相等,组成所述第二空间分辨率检测单元32的若干所述第二超构表面311的横截面宽度沿水平方向依次减小。组成所述第二空间分辨率检测单元32的若干所述第二超构表面311的尺寸与组成所述第一空间分辨率检测单元31的若干所述第二超构表面311的尺寸对应相同。例如,组成第一空间分辨率检测单元31的若干所述第二超构表面311的水平横截面的宽度分别为w1~w11,则组成第二空间分辨率检测单元32的若干所述第二超构表面311的水平横截面的宽度也分别为w1~w11。

[0043] 综上所述,本发明提供了一种基于几何相位超构表面的标准相位检测元件,包括:基板和设置于所述基板上的相位精准度检测模块和空间分辨率检测模块,所述相位精准度检测模块由具有不同旋转角度的若干第一超构表面组成,所述空间分辨率检测模块由具有不同尺寸和不同间距的若干第二超构表面组成。本发明通过集成不同旋转角度的超构表面来产生多阶相位分布,实现相位测量系统的相位测量精准度检测,通过调节超构表面的整体尺寸和超构表面之间的间距,实现相位测量系统的空间解析度检测。

[0044] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

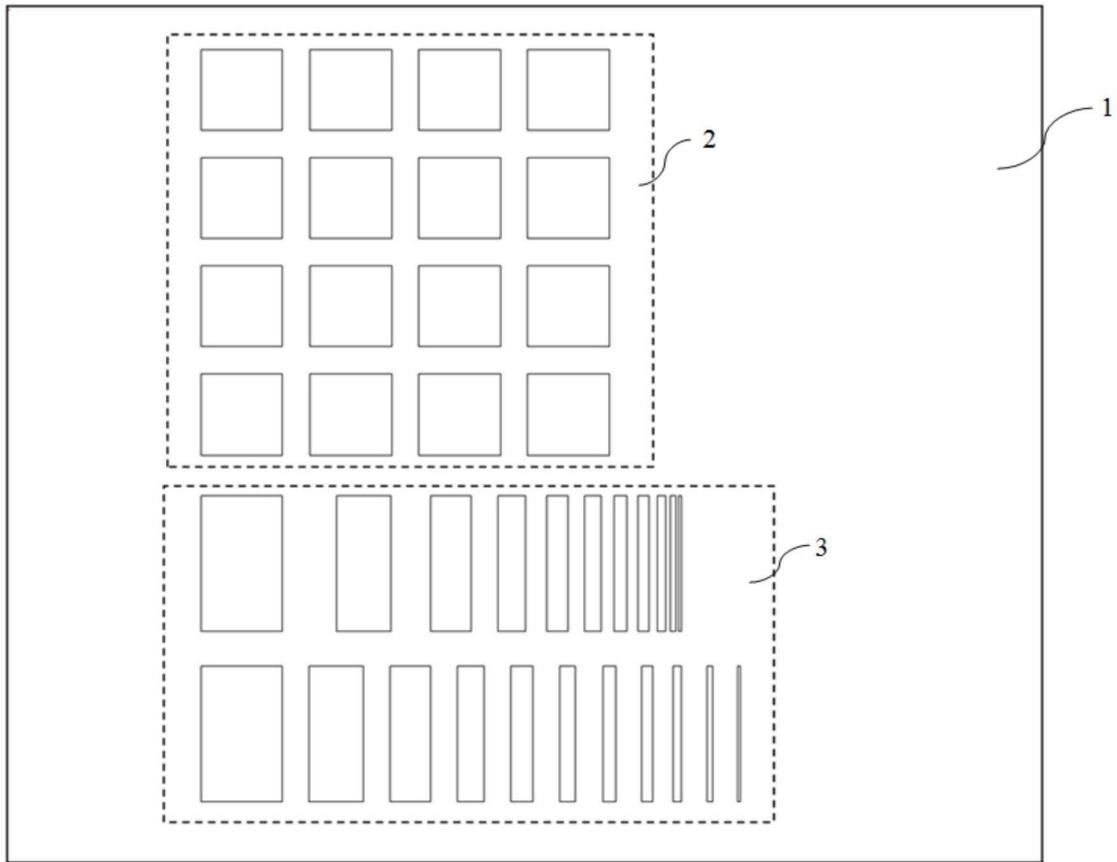


图1

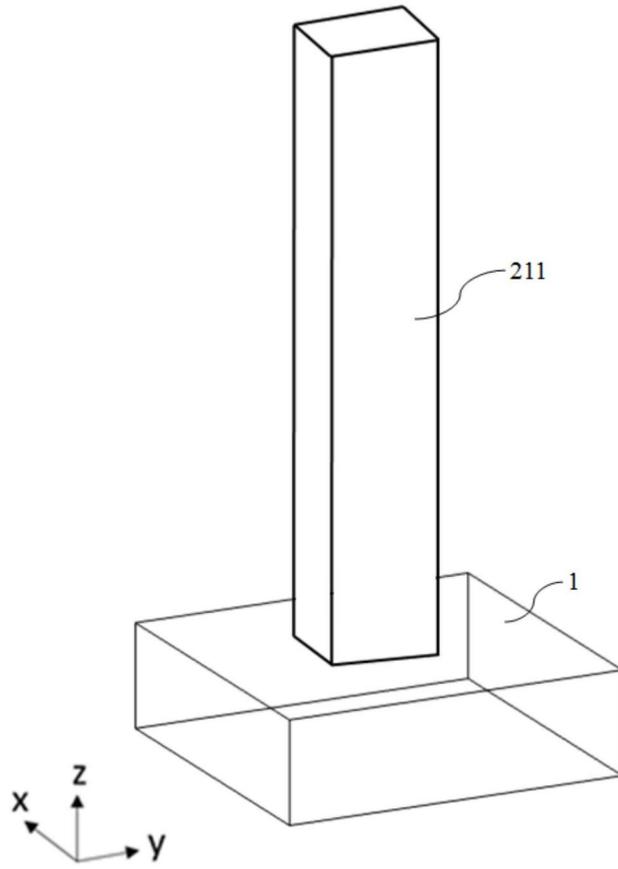


图2

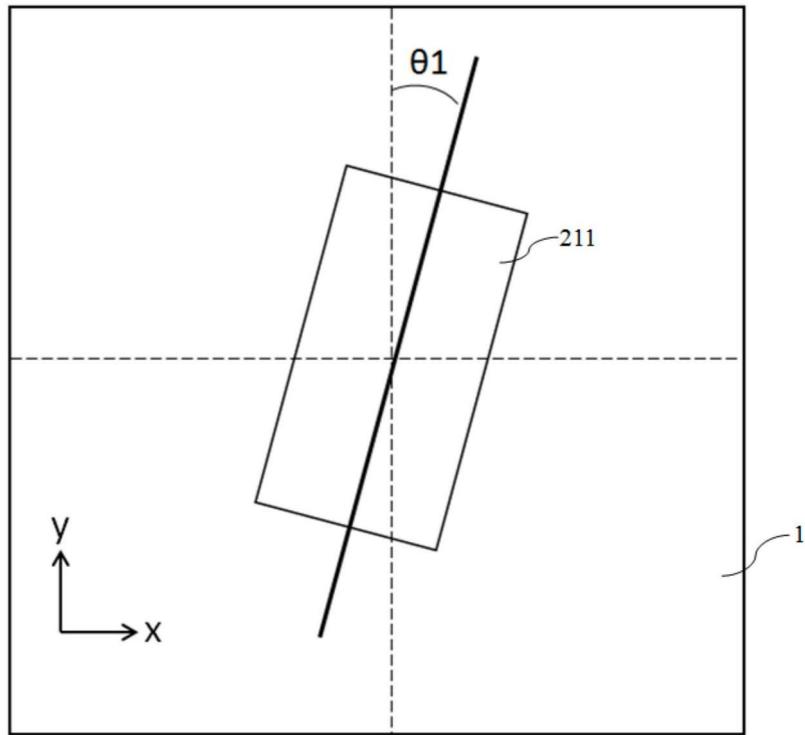


图3

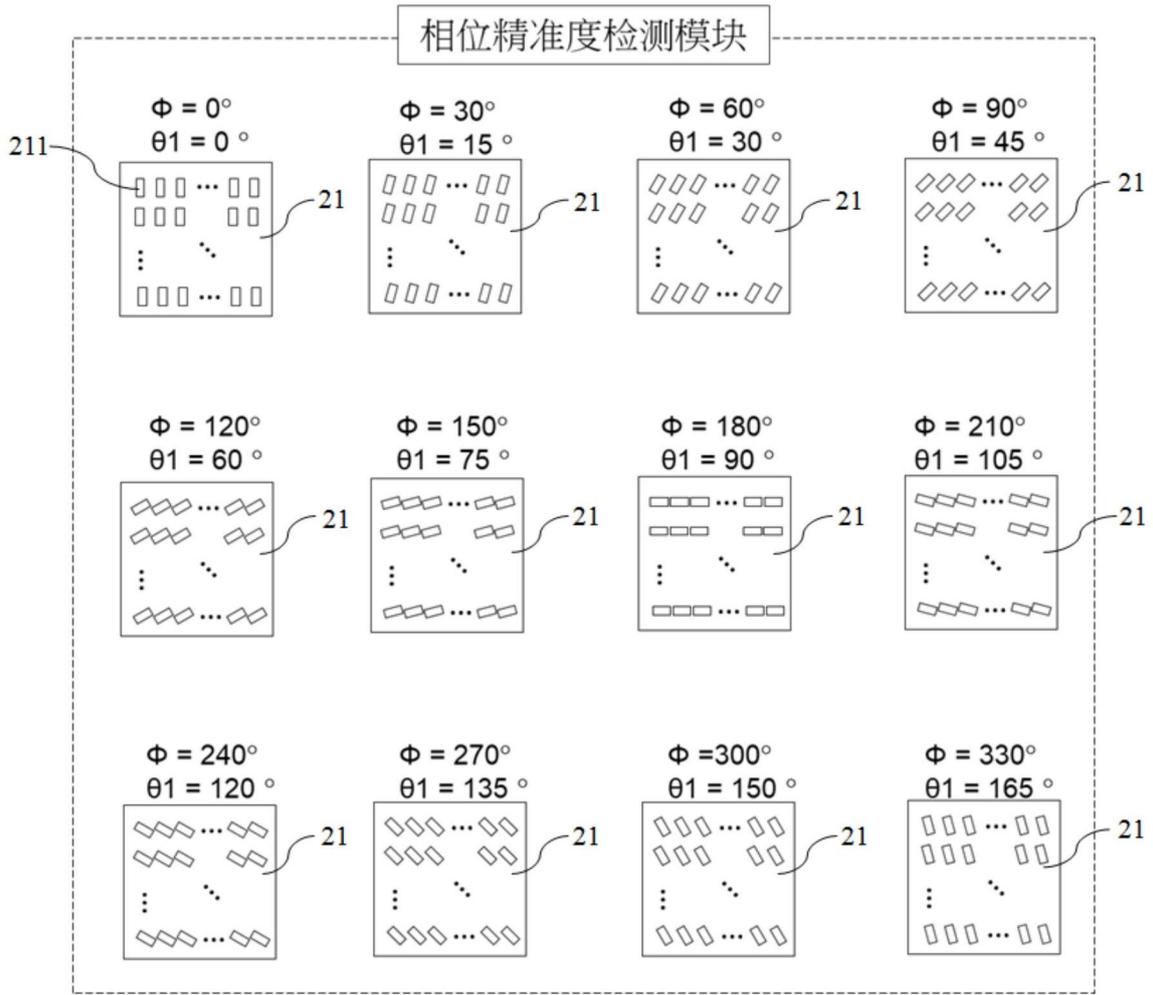


图4

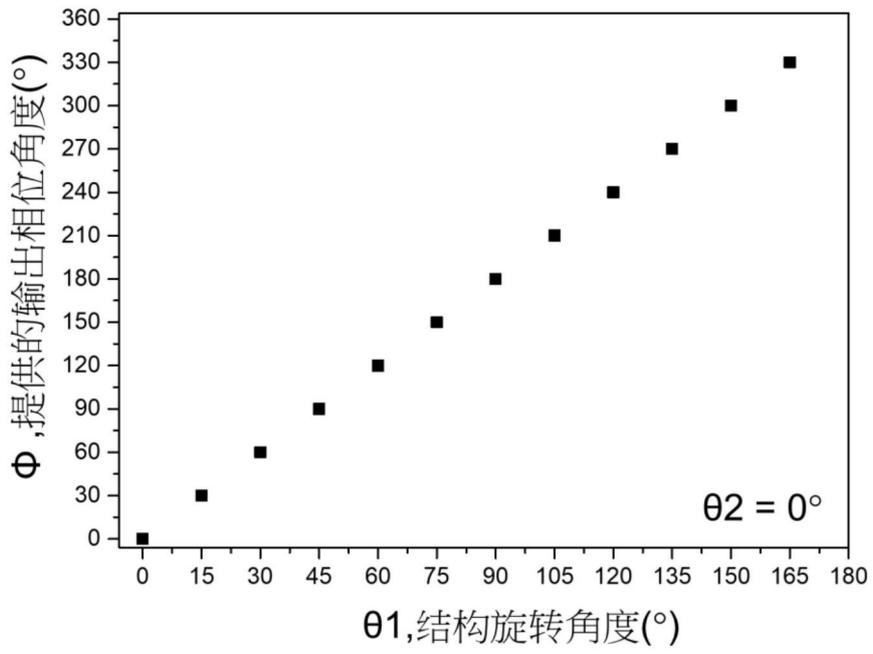


图5

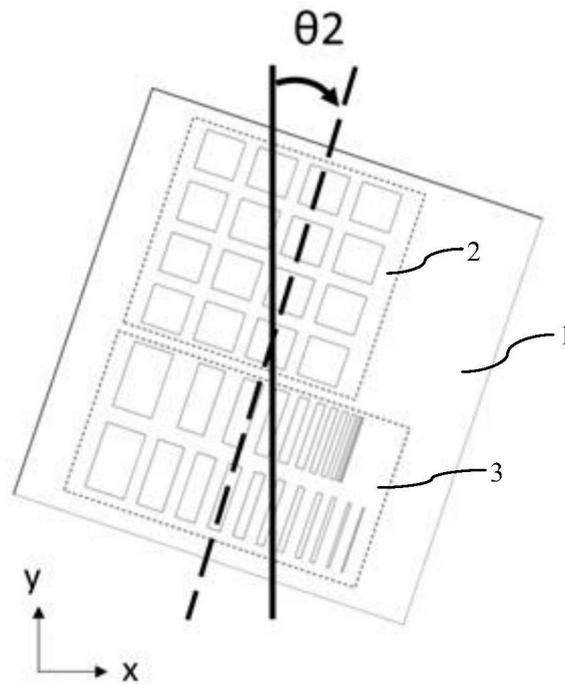


图6

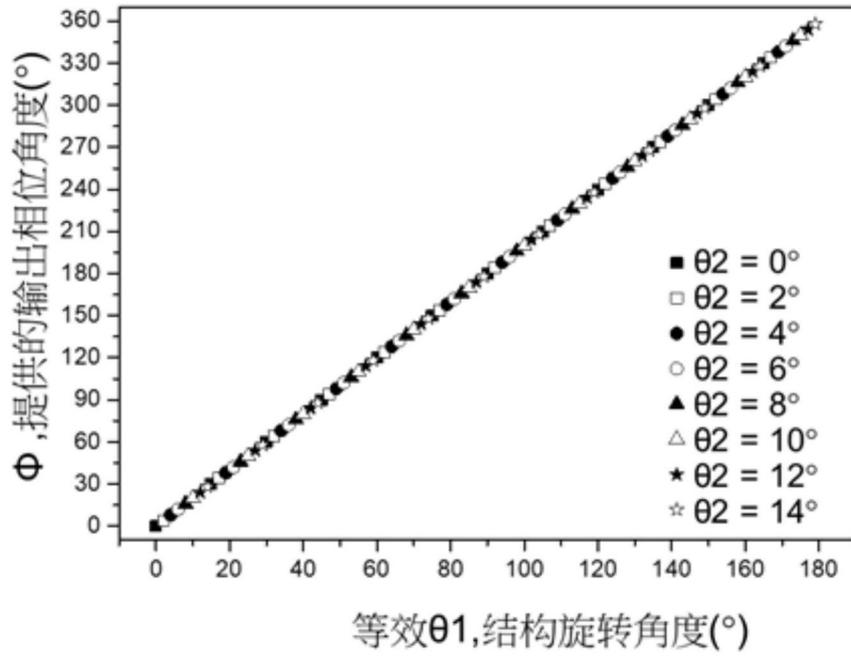


图7

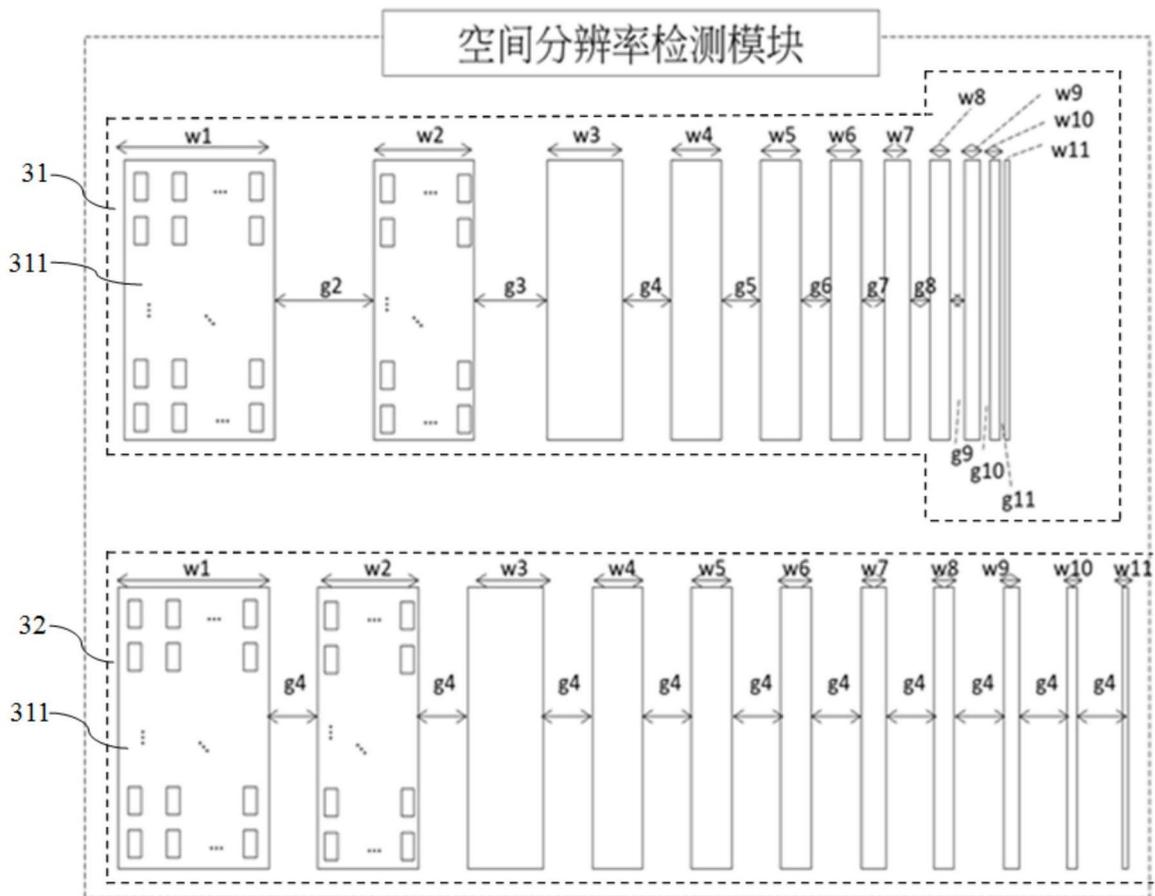


图8