



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103985653 B

(45)授权公告日 2017.03.08

(21)申请号 201310271765.4

(22)申请日 2013.02.07

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103985653 A

(43)申请公布日 2014.08.13

(62)分案原申请数据  
201310049375.2 2013.02.07

(73)专利权人 北京智朗芯光科技有限公司  
地址 102206 北京市昌平区昌平路97号新  
元科技园B座503室

(72)发明人 马铁中 刘健鹏 严冬 王林梓  
焦宏达

(74)专利代理机构 北京华沛德权律师事务所  
11302

代理人 刘丽君

(51)Int.Cl.

H01L 21/66(2006.01)

G01L 1/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 103985652 A, 2014.08.13, 权利要求4-9.

审查员 周辉辉

权利要求书3页 说明书5页 附图5页

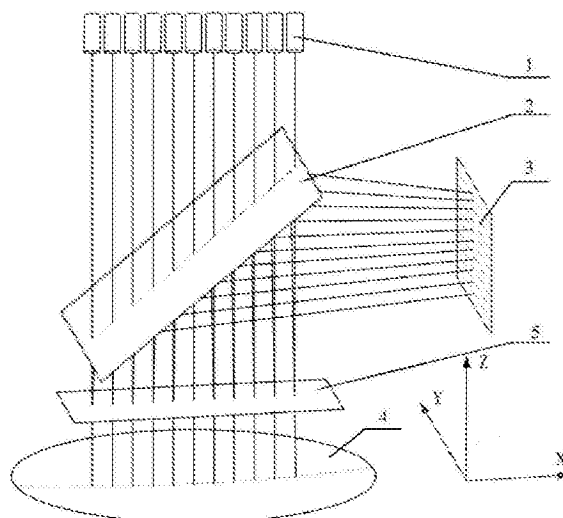
(54)发明名称

一种晶片应力测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种晶片应力测量方法,属于半导体器件技术领域。该方法包括步骤1:测量沿X方向的各入射光束被晶片反射后的沿X方向的光斑偏移量,旋转样品托盘,使晶片旋转,测量各入射光束在晶片上沿Y方向扫描时,各入射点沿Y方向的光斑偏移量;步骤2:通过沿X方向的各入射光束的光斑偏移量,计算出晶片沿X方向的曲率半径,通过沿Y方向各入射点的光斑偏移量,计算出晶片沿Y方向的曲率半径;步骤3:根据式

(1)计算出应力;  $应力 = \frac{ED_s^2}{6(1-\nu)D_s R}$ ; 应用该测量装置及测量方法能够同时测量晶片X方向及Y方向应力的晶片应力。



1.一种晶片应力测量方法,用于实现所述晶片应力测量方法的晶片应力测量装置包括探测光发生装置、分束镜、腔室、样品托盘和位置探测装置,所述样品托盘置于所述腔室底部,晶片置于所述样品托盘上,所述腔室顶部设有狭缝窗口,所述探测光发生装置发出的探测光依次经过所述分束镜和所述狭缝窗口后垂直射向晶片,被晶片反射后,依次经过所述狭缝窗口和分束镜后射向所述位置探测装置,所述样品托盘能够带动所述晶片旋转,使所述探测光在所述晶片上扫描;

所述晶片应力测量方法包括以下步骤:

步骤1:测量沿X方向的各入射光束被晶片反射后的沿X方向的光斑偏移量,

旋转所述样品托盘,使晶片旋转,测量各入射光束在晶片上沿Y方向扫描时,各入射点沿Y方向的光斑偏移量;

步骤2:通过沿X方向各入射光束的光斑偏移量,计算出晶片沿X方向的曲率半径,

通过沿Y方向各入射点的光斑偏移量,计算出晶片沿Y方向的曲率半径;

步骤3:根据式(1)计算出应力;

$$\text{应力} = \frac{ED_s^2}{6(1-\nu)D_f R} \quad (1);$$

其中,

E,晶片的杨氏模量;

$\nu$ ,衬底的泊松比;

$D_s$ ,衬底的厚度;

R,曲率半径;

$D_f$ ,薄膜的厚度;

其特征在于,

所述沿X方向的曲率半径的计算方法为:

通过式(2)~(4),利用任意两束相邻的分别入射到取样点A,B的入射光束在X方向的光斑偏移量计算出曲率半径,再对求出的曲率半径求平均值即为晶片沿X方向的曲率半径;

所述沿Y方向的曲率半径的计算方法为:

通过式(2)~(4),利用同一入射光束分别入射在任意两个相邻的取样点 $y-1, y$ 上时在Y方向的光斑偏移量计算出曲率半径,再对求出的曲率半径求平均值即为晶片沿Y方向的曲率半径;

$$\Delta x_1 = H \cdot \tan 2\theta_1 \quad (2),$$

$$\Delta x_2 = H \cdot \tan 2\theta_2 \quad (3),$$

$$R \cdot \sin \theta_1 - R \cdot \sin \theta_2 = x \quad (4),$$

其中:R,曲率半径;

$\Delta x_1$ ,入射光束经过晶片上入射点A反射之后在X方向或者经过晶片上入射点 $y-1$ 反射之后在Y方向偏离原入射路径的距离;

$\Delta x_2$ ,入射光束经过晶片上入射点B反射之后在X方向或者经过晶片上入射点 $y$ 反射之后在Y方向偏离原入射路径的距离;

$\theta_1$ ,入射光束经过晶片上入射点A或者晶片上入射点 $y-1$ 反射之后的光线与入射光束之

间的夹角；

$\theta_2$ , 入射光束经过晶片上入射点B或者晶片上入射点y反射之后的光线与入射光束之间的夹角；

x, 入射点A和入射点B之间的水平距离或入射点y-1和入射点y之间的水平距离；

H, 晶片样品表面距离所述位置探测装置感光表面的光学距离；

所述样品托盘呈圆形, 多个晶片均匀地布设于所述样品托盘上, 各所述晶片的圆周与所述样品托盘的圆周内切。

2. 根据权利要求1所述的晶片应力测量方法, 其特征在于, 所述探测光发生装置为激光二极管阵列, 所述激光二极管阵列在所述样品托盘上的投影经过所述样品托盘的旋转轴, 所述位置探测装置为位置灵敏探测器阵列。

3. 根据权利要求1所述的晶片应力测量方法, 其特征在于, 所述入射光束经过晶片上入射点反射之后的光斑偏移量为入射到位置探测装置的待测光斑的位置与参考光斑的位置的差值, 所述参考光斑是入射光束被表面平整的参考样品反射后的光斑。

4. 根据权利要求3所述的晶片应力测量方法, 其特征在于, 所述位置探测装置能够输出两个信号 $I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ 。

5. 根据权利要求4所述的晶片应力测量方法, 其特征在于, 待测光斑在Y方向的位置计算方法如式(5)所示:

$$Y_i = 2L \frac{I_{x_i} - I_{y_i}}{I_{x_i} + I_{y_i}}, \quad (5),$$

其中,

$Y_i$ , 由位置探测装置探测出来的Y方向的光斑的位置;

L, 位置探测装置的感光面宽度;

$I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ , 由位置探测装置输出的信号;

待测光斑在X方向的位置计算方法包括以下步骤:

以待测光斑得到的每组 $I_{x_i} + I_{y_i}$ 的值和每组 $I_{x_i} - I_{y_i}$ 的值对应的X值进行高斯拟合;

选取所述高斯拟合得到的最大值, 即为待测光斑在X方向的位置。

6. 根据权利要求3所述的晶片应力测量方法, 其特征在于, 所述位置探测装置能够输出两个Y方向信号 $I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ 和两个X方向信号 $I_{m_i}$ 、 $I_{n_i}$ 。

7. 根据权利要求6所述的晶片应力测量方法, 其特征在于,

待测光斑在Y方向的位置计算方法如式(7)所示:

$$Y_i = 2L_1 \frac{I_{x_i} - I_{y_i}}{I_{x_i} + I_{y_i}}, \quad (7),$$

其中,

$Y_i$ , 由位置探测装置探测出来的Y方向的光斑的位置;

$L_1$ , 位置探测装置的在Y方向的感光面宽度;

$I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ , 由位置探测装置输出Y方向的信号;

待测光斑在x方向的位置的计算方法如式(8)所示:

$$X_i = 2L_2 \frac{I_{m_i} - I_{n_i}}{I_{m_i} + I_{n_i}}, \quad (8),$$

其中，

$X_i$ ，由位置探测装置探测出来的X方向的光斑的位置；

$L_2$ ，位置探测装置的在X方向的感光面宽度；

$I_{mi}$ 、 $I_{ni}$ ，由位置探测装置输出的X方向的信号。

## 一种晶片应力测量方法

[0001] 本申请是2013年2月7日受理的申请号为201310049375.2,发明名称为“一种晶片应力测量装置及测量方法”的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及半导体器件技术领域,特别涉及一种在半导体器件中应用的晶片的应力测量测量方法。

### 背景技术

[0003] 在半导体制造过程中,为了实现芯片功能,通常包括在硅晶片上生长出一系列薄膜或者刻蚀出特定形状的步骤。当薄膜生长在衬底上,如在半导体晶片上时,在薄膜和衬底上会产生机械应力,该应力能够导致晶片形成裂纹、空隙、小丘,或者导致薄膜隆起,造成晶片产量减少、合格率降低。因此,需要从整体上测量晶片的弯曲度,即晶片表面的应力。现有技术中,通常是通过从晶片表面反射的单色光束测量曲率半径,然后通过式(1)确定晶片的表面应力。

[0004]

$$\text{应力} = \frac{ED_s^2}{6(1-\nu)D_f R} \quad (1)$$

[0005] 其中,

[0006] E,晶片的杨氏模量;

[0007]  $\nu$ ,衬底的泊松比;

[0008]  $D_s$ ,衬底的厚度;

[0009] R,曲率半径;

[0010]  $D_f$ ,薄膜的厚度。

[0011] 申请号为02827543.8的中国专利公开了一种用于测量半导体晶片中的应力的方法和装置,它是一种通过干涉法测量晶片中应力的方法,应用该方法仅能测量晶片中某一个方向上的应力,由于晶片中各个方向的应力可能不一样,甚至有的晶片只在一个方向会产生应力弯曲,因此,若仅测量一个方向的应力弯曲,会导致测量结果不够精确。

### 发明内容

[0012] 为了解决上述问题,本发明提出了一种能够同时测量晶片X方向及Y方向应力,并且测量准确、高效的晶片应力测量装置及测量方法。

[0013] 本发明提供的晶片应力测量装置包括探测光发生装置、分束镜、腔室、样品托盘和位置探测装置,所述样品托盘置于所述腔室底部,晶片置于所述样品托盘上,所述腔室顶部设有狭缝窗口,所述探测光发生装置发出的探测光依次经过所述分束镜和所述狭缝窗口后垂直射向晶片,被晶片反射,依次经过所述狭缝窗口和分束镜后射向所述位置探测装置,所述样品托盘能够带动所述晶片旋转,使所述探测光在所述晶片上扫描。

- [0014] 基于本发明提供的晶片应力测量装置的晶片应力测量方法包括以下步骤：  
 [0015] 步骤1：测量沿X方向的各入射光束被晶片反射后的沿X方向的光斑偏移量，  
 [0016] 旋转所述样品托盘，使晶片旋转，测量各入射光束在晶片上沿Y方向扫描时，各入射点沿Y方向的光斑偏移量；  
 [0017] 步骤2：通过沿X方向的各入射点的光斑偏移量，计算出晶片沿X方向的曲率半径，  
 [0018] 通过沿Y方向的各入射点的光斑偏移量，计算出晶片沿Y方向的曲率半径；  
 [0019] 步骤3：根据式(1)计算出应力；  
 [0020]

$$\text{应力} = \frac{ED_s^2}{6(1-\nu)D_f R} \quad (1);$$

- [0021] 其中，  
 [0022] E, 晶片的杨氏模量；  
 [0023]  $\nu$ , 衬底的泊松比；  
 [0024]  $D_s$ , 衬底的厚度；  
 [0025] R, 曲率半径；  
 [0026]  $D_f$ , 薄膜的厚度。  
 [0027] 应用本发明提供的晶片应力测量装置及测量方法能够同时测量晶片X方向及Y方向应力的晶片应力。

## 附图说明

- [0028] 图1为本发明提供的晶片应力测量装置一个实施例的工作原理示意图；  
 [0029] 图2为本发明提供的晶片应力测量装置另一个实施例的工作原理示意图；  
 [0030] 图3为本发明实施例提供的晶片应力测量装置中晶片在托盘上的排列方式示意图；  
 [0031] 图4为本发明实施例提供的晶片应力测量方法中通过光斑偏移量计算晶片曲率半径的原理图；  
 [0032] 图5为本发明实施例提供的晶片应力测量方法在测量晶片X方向应力时的原理图；  
 [0033] 图6为本发明实施例提供的晶片应力测量方法在测量晶片Y方向应力时的原理图；  
 [0034] 图7为应用本发明实施例提供的晶片应力测量方法时，所使用的第一种位置灵敏探测器阵列感光面示意图；  
 [0035] 图8为应用本发明实施例提供的晶片应力测量方法且应用第一种位置灵敏探测器阵列时，拟合得到光斑沿X方向位置的示意图；  
 [0036] 图9为应用本发明实施例提供的晶片应力测量方法时，所使用第二种位置灵敏探测器阵列感光面示意图。

## 具体实施方式

- [0037] 为了深入了解本发明，下面结合附图及具体实施例对本发明进行详细说明。  
 [0038] 参见附图1~3，本发明实施例提供的晶片应力测量装置包括探测光发生装置1、分束镜2、腔室、样品托盘6和位置探测装置3，样品托盘6置于腔室底部，晶片4置于样品托盘6

上,腔室顶部设有狭缝窗口5,探测光发生装置1发出的探测光依次经过分束镜2和狭缝窗口5后垂直射向晶片4,被晶片4反射,依次经过狭缝窗口5和分束镜2后射向位置探测装置3,样品托盘6能够带动晶片4旋转,使探测光在晶片4上扫描。

[0039] 其中,样品托盘6可以呈圆形,多个晶片4均匀地布设于样品托盘6上,各晶片4的圆周与样品托盘6的圆周内切,从而,当各晶片4随样品托盘6旋转时,本发明实施例提供的晶片应力测量装置能够对多个晶片4的应力进行测量。

[0040] 作为探测光发生装置1和位置探测装置3的一种具体的实现方式,探测光发生装置1为可发出准直度较高的激光的激光二极管阵列,激光二极管阵列在样品托盘6上的投影经过样品托盘6的旋转轴,则晶片样品的运动方向与激光二极管阵列的排列方向近似垂直,若将激光二极管阵列的排列方向标记为X方向,则样品的运动可以近似看作沿Y方向运动。位置探测装置3为位置灵敏探测器阵列。

[0041] 基于本发明实施例提供的晶片应力测量装置的晶片应力测量方法包括以下步骤:

[0042] 步骤1:测量沿X方向的各入射光束被晶片反射后的沿X方向的光斑偏移量,

[0043] 旋转样品托盘,使晶片旋转,测量各入射光束在晶片上沿Y方向扫描时,各入射点沿Y方向的光斑偏移量。

[0044] 步骤2:通过沿X方向的各入射点的光斑偏移量,计算出晶片沿X方向的曲率半径,

[0045] 通过沿Y方向各入射点的光斑偏移量,计算出晶片沿Y方向的曲率半径;

[0046] 步骤3:根据式(1)计算出应力。

[0047]

$$\text{应力} = \frac{ED_s^2}{6(1-\nu)D_f R} \quad (1);$$

[0048] 其中,

[0049] E,晶片的杨氏模量;

[0050]  $\nu$ ,衬底的泊松比;

[0051]  $D_s$ ,衬底的厚度;

[0052] R,曲率半径;

[0053]  $D_f$ ,薄膜的厚度。

[0054] 参见附图4~6,沿X方向的曲率半径的计算方法为:

[0055] 通过式(2)~(4),利用任意两束相邻的分别入射到取样点A,B的入射光束在X方向的光斑偏移量计算出曲率半径,再对求出的曲率半径求平均值即为晶片沿X方向的曲率半径;

[0056] 沿Y方向的曲率半径的计算方法为:

[0057] 通过式(2)~(4),利用同一入射光束分别入射在任意两个相邻的取样点 $y-1, y$ 上时在Y方向的光斑偏移量计算出曲率半径,再对求出的曲率半径求平均值即为晶片沿Y方向的曲率半径;

[0058]  $\Delta x_1 = H \cdot \tan 2\theta_1$  (2),

[0059]  $\Delta x_2 = H \cdot \tan 2\theta_2$  (3),

[0060]  $R \cdot \sin\theta_1 - R \cdot \sin\theta_2 = x$  (4),

[0061] 其中:R,曲率半径;

[0062]  $\Delta x_1$ , 入射光束经过晶片上入射点A反射之后在X方向或者经过晶片上入射点y-1反射之后在Y方向偏离原入射路径的距离;

[0063]  $\Delta x_2$ , 入射光束经过晶片上入射点B反射之后在X方向或者经过晶片上入射点y反射之后在Y方向偏离原入射路径的距离;

[0064]  $\theta_1$ , 入射光束经过晶片上入射点A或者晶片上入射点y-1反射之后的光线与入射光束之间的夹角;

[0065]  $\theta_2$ , 入射光束经过晶片上入射点B或者晶片上入射点y反射之后的光线与入射光束之间的夹角;

[0066]  $x$ , 入射点A和入射点B之间的水平距离或入射点y-1和入射点y之间的水平距离;

[0067]  $H$ , 晶片样品表面距离位置探测装置感光表面的光学距离。

[0068] 其中, 入射光束经过晶片上入射点反射之后的光斑偏移量为入射到位置探测装置上的待测光斑的位置与参考光斑的位置的差值, 待测光斑指经待测晶片样品反射后的光斑, 参考光斑是入射光束被表面平整的参考样品反射后的光斑。

[0069] 参见附图7, 当位置探测装置为一维位置灵敏探测器阵列时, 即该探测装置的每个单元能够输出两个信号 $I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ 时,

[0070] 待测光斑在Y方向的位置计算方法如式(5)所示:

[0071]

$$Y_i = 2L \frac{I_{x_i} - I_{y_i}}{I_{x_i} + I_{y_i}}, \quad (5)$$

[0072] 其中,

[0073]  $Y_i$ , 由位置探测装置探测出来的Y方向的光斑的位置;

[0074]  $L$ , 位置探测装置的感光面宽度;

[0075]  $I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ , 由位置探测装置输出的信号。

[0076] 待测光斑在X方向的位置计算方法包括以下步骤:

[0077] 参见附图8, 以待测光斑在每个一维位置灵敏探测器上得到的 $I_{x_i}+I_{y_i}$ 的值和该一维位置灵敏探测器的X方向坐标进行高斯拟合;

[0078] 选取高斯拟合得到的最大值的X坐标, 即为待测光斑在X方向的位置。为了有足够的数据进行拟合, 每个待测光斑的尺寸应该能覆盖至少三个探测单元, 即至少覆盖三个一维位置灵敏探测器(如图7所示)。

[0079] 当位置探测装置为二维位置灵敏探测器阵列时, 即该探测装置的每个单元能够输出两个Y方向信号 $I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ 和两个X方向信号 $I_{m_i}$ 、 $I_{n_i}$ 时, 只需使每个待测光斑覆盖一个探测单元, 即覆盖一个二维位置灵敏探测器。

[0080] 待测光斑在Y方向的位置计算方法如式(7)所示:

[0081]

$$Y_i = 2L_1 \frac{I_{x_i} - I_{y_i}}{I_{x_i} + I_{y_i}}, \quad (7)$$

[0082] 其中,

[0083]  $Y_i$ , 由位置探测装置探测出来的Y方向的光斑的位置;

[0084]  $L_1$ , 位置探测装置的探测单元在Y方向的感光面宽度;



[0085]  $I_{x_i}$ 、 $I_{y_i}$ ，由位置探测装置输出Y方向的信号。

[0086] 待测光斑在X方向的位置的计算方法如式(8)所示：

[0087]

$$X_i = 2L_2 \frac{I_{m_i} - I_{n_i}}{I_{m_i} + I_{n_i}}, \quad (8)$$

[0088] 其中，

[0089]  $X_i$ ，由位置探测装置探测出来的X方向的光斑的位置；

[0090]  $L_2$ ，位置探测装置的探测单元在X方向的感光面宽度；

[0091]  $I_{m_i}$ 、 $I_{n_i}$ ，由位置探测装置输出的X方向的信号。

[0092] 本发明提供的晶片应力测量方法依据的原理如下：

[0093] 如图4所示，假设待测表面到位置探测装置的距离为H，在待测表面为平面的情况下，垂直入射到表面的光束会沿原路返回，假设待测表面曲率半径为R，其曲率中心为O，中心距离为x的两光束分别入射到晶片表面上的A、B两点，经晶片表面反射后，在X方向偏离原入射路径的距离分别为  $\Delta x_1$  和  $\Delta x_2$ ，根据几何关系可知： $OA=OB=R$ ，因此，根据式(2)~(4)若能测量到沿X方向排列的两束垂直入射到晶片表面的光束经晶片反射后的光斑偏移量  $\Delta x_1$  和  $\Delta x_2$ ，即可以推导出晶片沿X方向的曲率半径R，进而得到硅晶片表面的应力。另外，若上述探测光束的数目为多于两束，则可以通过数据拟合，得到晶片曲率半径R更精确的值。

[0094] 如图5所示，3束互相平行的沿X方向分布的光通过分束镜后，垂直入射到晶片表面，然后再经过分束镜，入射至由多个位置灵敏探测器构成的沿X方向的位置灵敏探测器阵列，若能通过位置灵敏探测器阵列的输出信号，得到各束光在位置探测装置上沿X方向的光斑位置，即可以得到各入射点由于应力造成的X方向上的光束偏转  $\Delta x$ ，进而得到各入射点位置沿X方向上的曲率半径。

[0095] 此外，对于图5中的情况，若光束的位置不动，晶片相对于光束沿与X方向垂直的Y方向运动时，以中间的一束光为例，当该光束在晶片上的入射点由y-1点经y点运动到y+1点时，如图6所示，若能通过位置灵敏探测器阵列的输出信号，得到该光束分别入射到y-1点，y点，y+1点时，在位置探测装置上沿Y方向的光斑位置，即可以得到由于应力造成的Y方向上的光斑偏移量  $\Delta y$ 。通过两组光斑偏移量即可以由上述式(2)~(4)得到Y方向上的曲率半径。为了减小误差，本发明的应力测量装置和测量方法可以在晶片样品转动时沿Y方向多次取样，即获得多组光斑偏移量，通过拟合，或者得到多组曲率半径的值后求平均，可以得到比较准确的曲率半径。在本实施例中，由于晶片的半径远小于托盘的旋转半径，可以近似地认为，晶片随样品托盘的旋转即为晶片相对于光束沿与X方向垂直的Y方向运动。

[0096] 应用本发明提供的晶片应力测量装置及测量方法能够同时测量晶片X方向及Y方向应力的晶片应力。

[0097] 以上所述的具体实施方式，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施方式而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

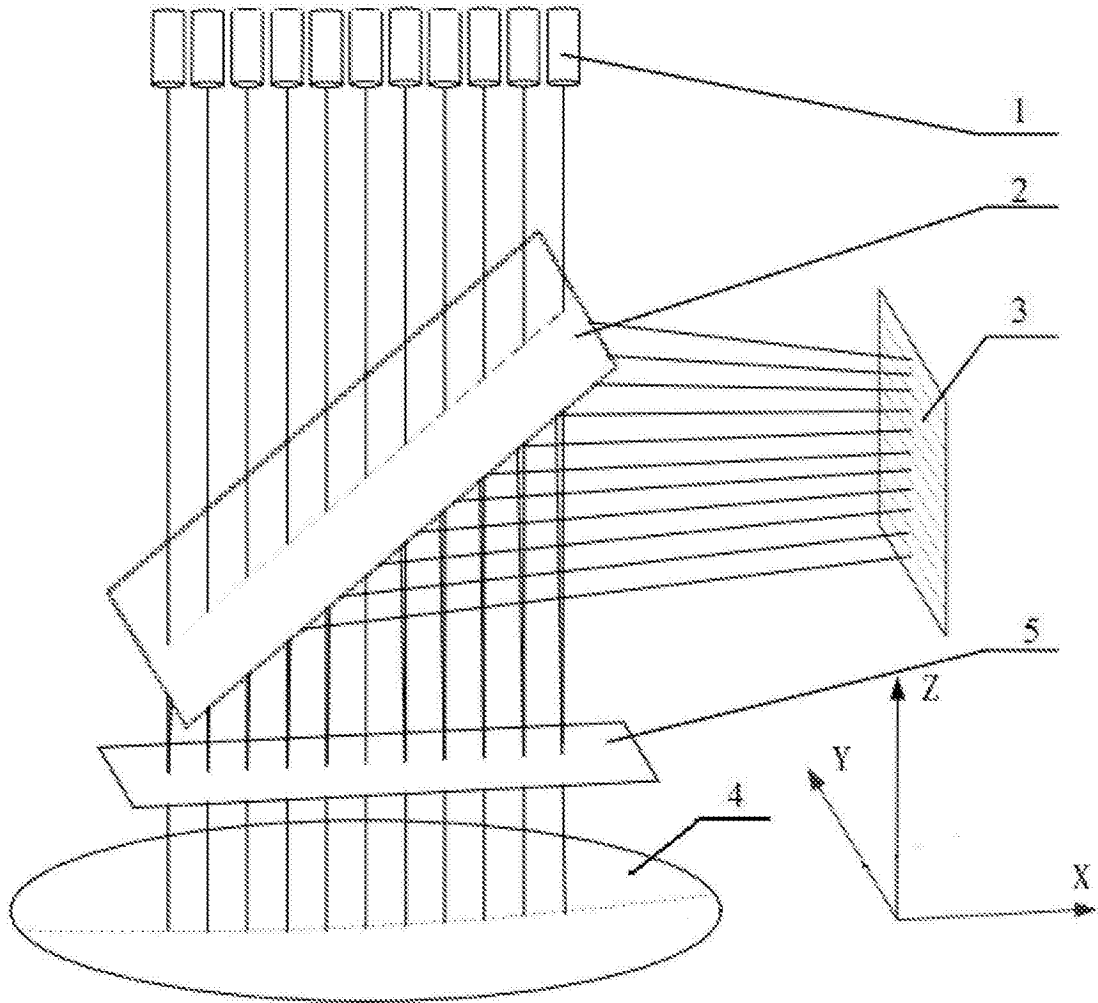


图1

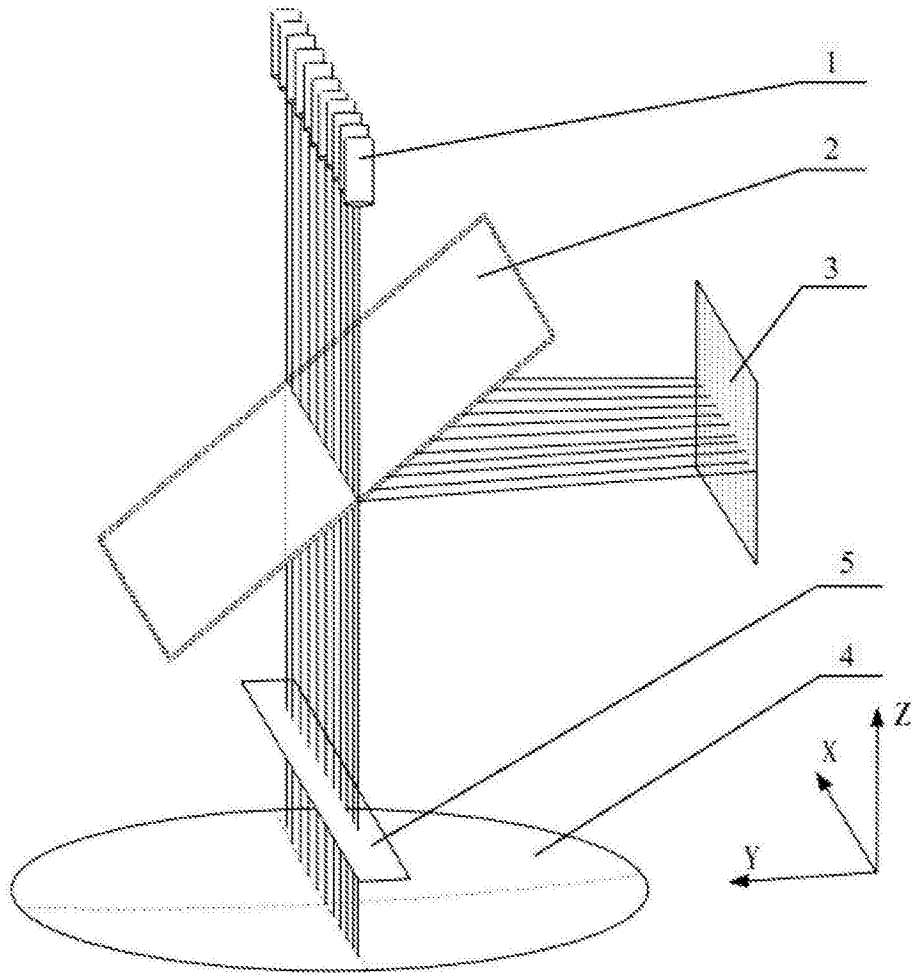


图2

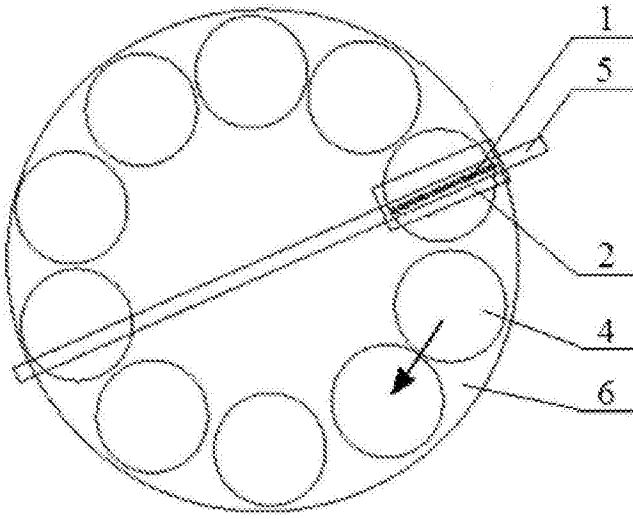


图3

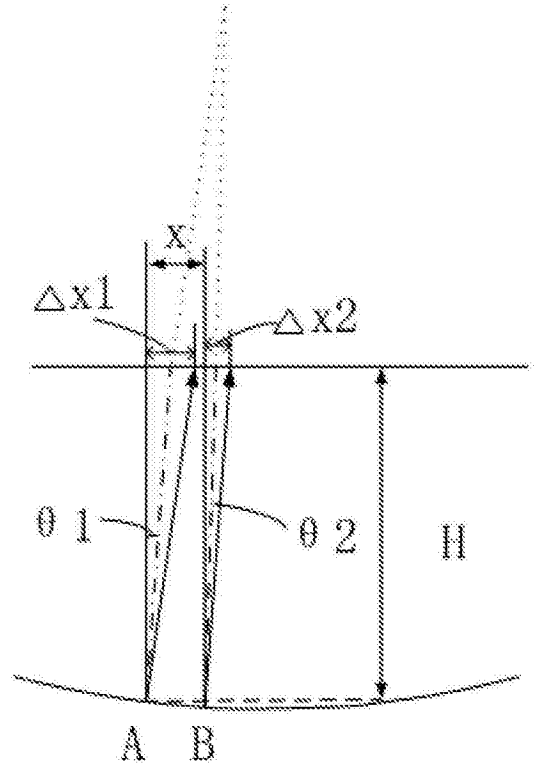


图4

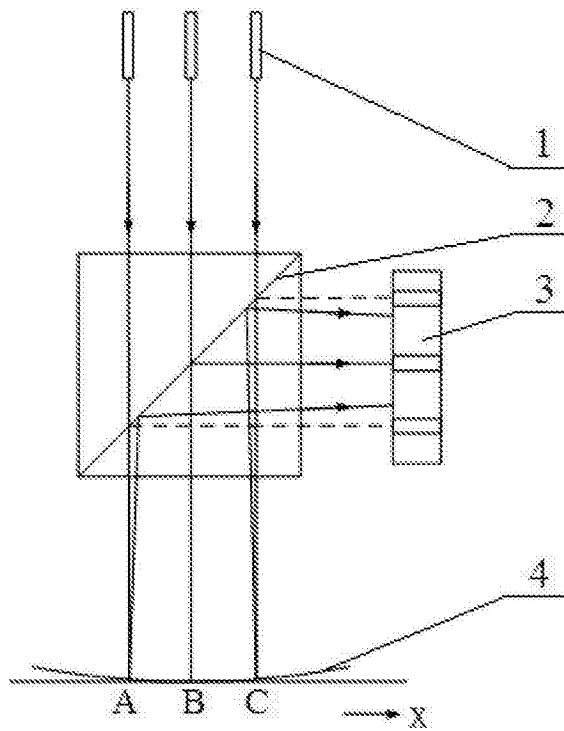


图5

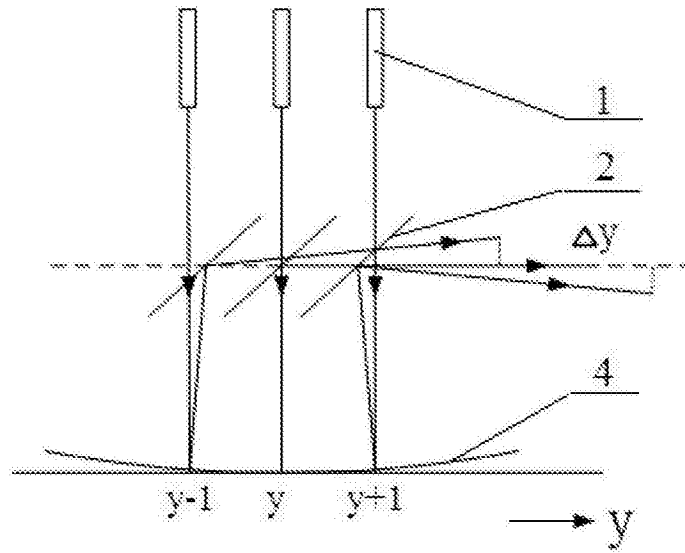


图6

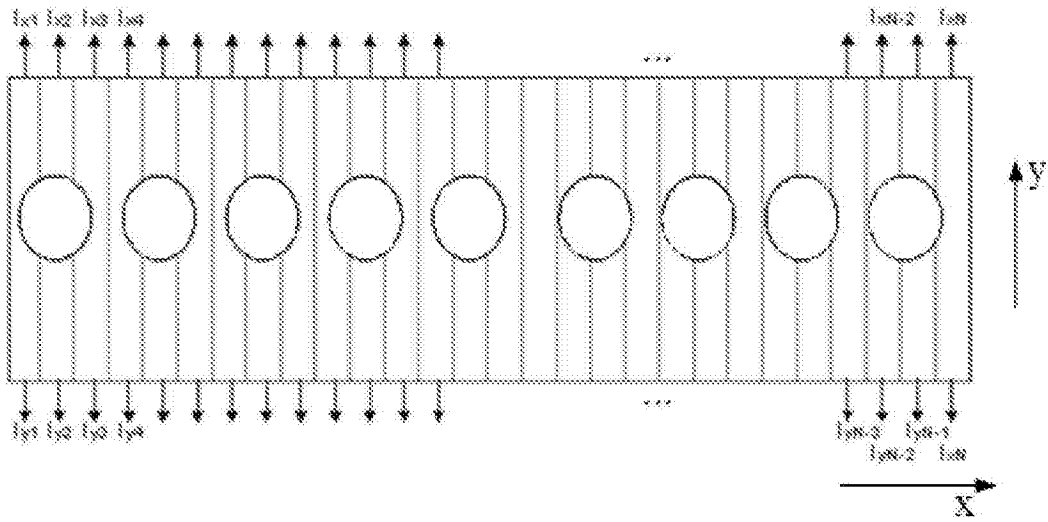


图7

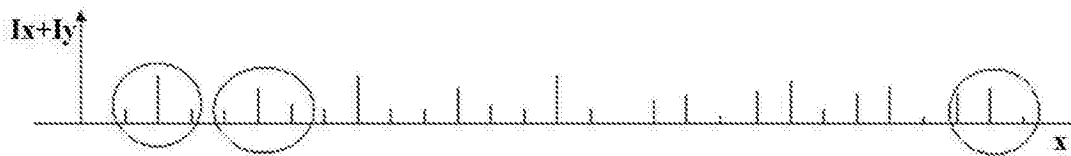


图8

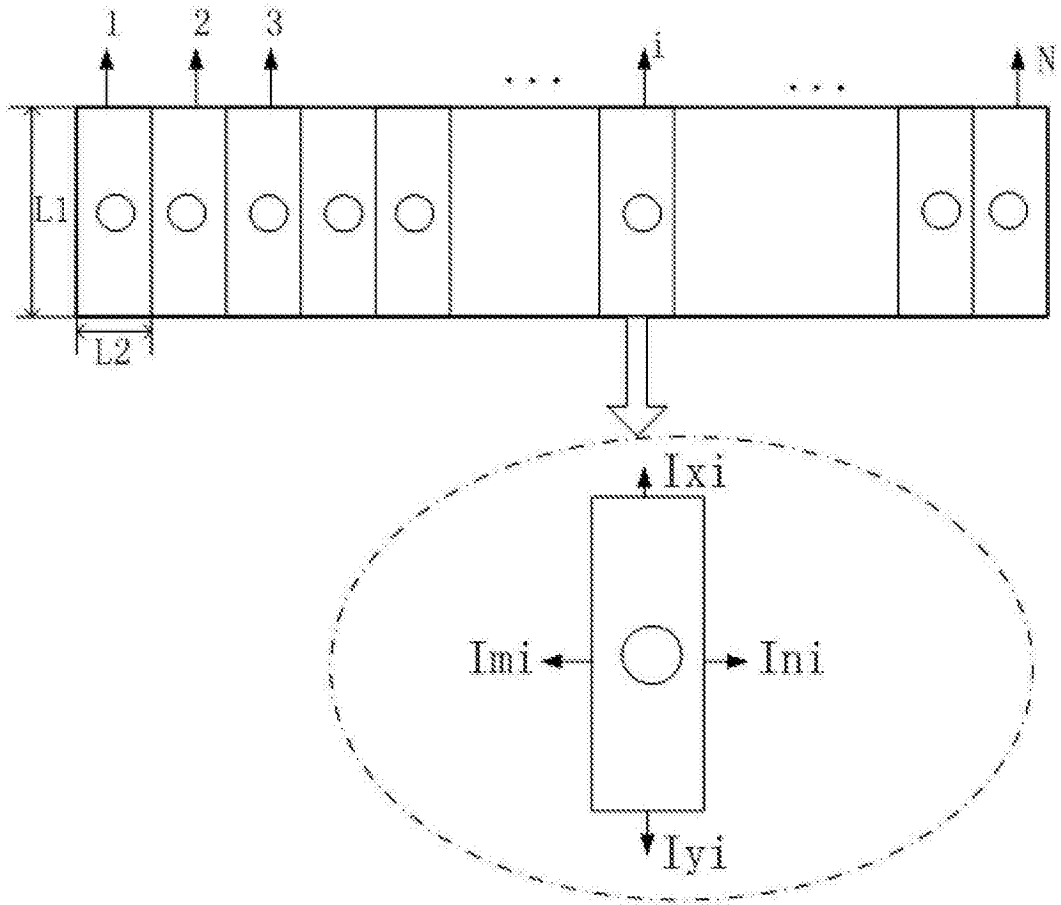


图9