



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680005427.4

[43] 公开日 2008年2月27日

[11] 公开号 CN 101133297A

[22] 申请日 2006.2.6
 [21] 申请号 200680005427.4
 [30] 优先权
 [32] 2005.2.18 [33] US [31] 11/061,303
 [86] 国际申请 PCT/US2006/004151 2006.2.6
 [87] 国际公布 WO2006/091361 英 2006.8.31
 [85] 进入国家阶段日期 2007.8.20
 [71] 申请人 东京毅力科创株式会社
 地址 日本东京都
 [72] 发明人 威·翁格 鲍君威 乔格·比斯彻夫

[74] 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限
 责任公司
 代理人 王 怡

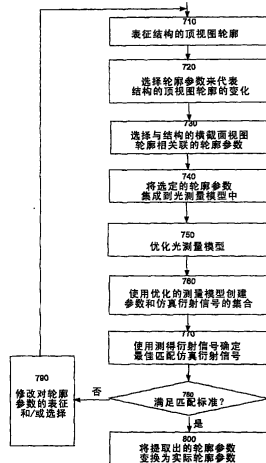
权利要求书6页 说明书17页 附图14页

[54] 发明名称

用于重复结构的光测量优化

[57] 摘要

表征晶片中的重复结构的顶视图轮廓，并选择参数来代表重复结构的顶视图轮廓的变化。开发包括重复结构的选定的顶视图轮廓参数的光测量模型。使用优化的光测量模型来生成仿真衍射信号以便与测得衍射信号进行比较。



1. 一种使用光测量模型确定在晶片上形成的重复结构的轮廓参数的方法，所述光测量模型具有与所述结构的顶视图相关联的轮廓参数和与所述结构的横截面视图相关联的轮廓参数，该方法包括：

- a) 表征所述结构的顶视图轮廓，所述结构的轮廓具有轮廓参数；
- b) 选择所述轮廓参数来代表所述结构的所述顶视图轮廓的变化；
- c) 选择与所述结构的横截面视图轮廓相关联的轮廓参数；
- d) 将代表所述结构的所述顶视图轮廓和所述横截面视图轮廓的选定的轮廓参数集成到光测量模型中；
- e) 优化所述光测量模型；
- f) 使用优化的光测量模型来创建轮廓参数和仿真衍射信号的集合；
- g) 使用创建的仿真衍射信号集合和一个或多个测得衍射信号来提取最佳匹配仿真衍射信号；
- h) 当所述最佳匹配仿真衍射信号和所述一个或多个测得衍射信号在一个或多个匹配标准内不匹配时，修改对轮廓参数的表征和/或选择；以及
- i) 重复 a)、b)、c)、d)、e)、f)、g) 和 h)，直到所述最佳匹配仿真衍射信号和所述测得衍射信号在所述一个或多个匹配标准内匹配。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中表征结构的轮廓包括：

定义所述重复结构的单位单元，单位单元具有一个或多个特征；以及表征所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓。

3. 如权利要求 2 所述的方法，其中表征所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓包括：

用一个或多个基本形状配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓；

识别所述一个或多个基本形状的参数；以及

确定所述一个或多个基本形状的认识出的参数的变化。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其中所述基本形状包括椭圆和/或多边

形。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其中所述一个或多个基本形状的认识出的参数包括椭圆短轴、椭圆长轴，或多边形的一个或多个边的长度。

6. 如权利要求 3 所述的方法，其中确定所述认识出的参数的变化包括：

收集所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓样本；

确定被用来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓的所述一个或多个基本形状的认识出的参数的范围。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其中收集顶视图轮廓样本包括：

收集从下述方法获得的顶视图样本：使用工艺仿真器仿真所述重复结构的制作，用测量设备测量所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓，或者访问半导体应用的所述重复结构的经验形状数据，所述经验形状数据包括所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓。

8. 如权利要求 6 所述的方法，其中选择所述轮廓参数来代表所述重复结构的所述轮廓的变化包括：

选择具有最大的值范围的被用来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓的所述一个或多个基本形状的一个或多个认识出的参数。

9. 如权利要求 1 所述的方法，其中使用所述优化的光测量模型创建所述轮廓参数和仿真衍射信号的集合包括：

创建仿真衍射信号和相关联的轮廓参数的库，所述仿真衍射信号是通过使用数字分析技术解 Maxwell 方程生成的。

10. 如权利要求 9 所述的方法，其中所述数字分析技术是严格耦合波分析、模态分析、积分方法、Green 函数、Fresnel 方法或有限元方法。

11. 如权利要求 1 所述的方法，其中使用所述光测量模型创建所述轮廓参数和仿真衍射信号的集合包括：

创建被训练来基于输入轮廓参数生成仿真衍射信号的机器学习系统；
以及

使用轮廓参数的集合作为输入来创建所述仿真衍射信号的集合。

12. 如权利要求 11 所述的方法，其中所述机器学习系统是后向传播、径向基函数、支持向量，或者核回归。

13. 如权利要求 2 所述的方法，其中表征所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓包括：

a) 用一个或多个数学模型来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓形状；

b) 识别所述一个或多个数学模型的参数；以及

c) 确定所述一个或多个数学模型的识别出的参数的变化。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其中所述数学模型包括几何形状公式。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其中所述几何形状包括椭圆和/或多边形。

16. 如权利要求 15 所述的方法，其中所述识别出的参数对应于椭圆和多边形的公式中的变量。

17. 如权利要求 13 所述的方法，其中确定所述识别出的参数的变化包括：

收集所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓样本；以及

确定用来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓样本的所述一个或多个数学模型的识别出的参数的范围。

18. 如权利要求 17 所述的方法，其中收集顶视图轮廓样本包括：

收集从下述方法获得的顶视图样本：使用工艺仿真器仿真所述重复结构的制作获得的顶视图样本，测量所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓，或者访问半导体应用的所述重复结构的经验形状数据，所述经验形状数据包括所述单位单元的所述一个或多个特征的顶视图轮廓。

19. 如权利要求 17 所述的方法，其中选择所述轮廓参数来代表所述重复结构的轮廓的变化包括：

选择具有最大的值范围的被用来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓的所述一个或多个数学模型的一个或多个识别出的参数。

20. 一种用于对晶片中的重复结构建模以供光测量的方法，该方法包括：

- a) 设置一个或多个终止标准；
- b) 定义晶片中的所述重复结构的单位单元，所述单位单元具有一个或多个特征；
- c) 用一个或多个基本形状来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓，所述一个或多个基本形状具有参数；
- d) 选择所述一个或多个基本形状的参数来代表所述结构的所述顶视图轮廓的变化；
- e) 选择与所述结构的横截面视图轮廓相关联的轮廓参数；
- f) 将代表所述结构的所述顶视图轮廓和所述横截面视图轮廓的选定的轮廓参数集成到光测量模型中；
- g) 使用离开所述重复结构的一个或多个测得衍射信号优化所述光测量模型，所述优化生成仿真衍射信号；
- h) 使用生成的仿真衍射信号将计算出的一个或多个终止标准与预设的一个或多个终止标准相比较。

21. 如权利要求 20 所述的方法，还包括：

如果所述一个或多个终止标准不被满足，则改变基本形状对所述顶视图轮廓的配合，改变步骤 d) 和 e) 中对参数的选择，并重复 b)、c)、d)、e)、f)、g)，直到所述一个或多个终止标准被满足。

22. 如权利要求 20 所述的方法，其中：

在步骤 c) 中，不是用一个或多个基本形状来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓，而是用一个或多个数学公式来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓。

23. 一种用于优化在对晶片中的重复结构建模时使用的光测量模型中对轮廓参数的选择的系统，所述光测量模型具有与所述结构的顶视图相关联的轮廓参数和与所述结构的横截面视图相关联的轮廓参数，该系统包括：

模型预处理器，所述模型预处理器被配置为：表征所述结构的顶视图

轮廓，所述结构的轮廓具有轮廓参数；选择所述轮廓参数来代表所述结构的所述顶视图轮廓的变化；选择与所述结构的横截面视图轮廓相关联的轮廓参数；以及将代表所述结构的所述顶视图轮廓和所述横截面视图轮廓的选定的轮廓参数集成到光测量模型中；

测量模型优化器，所述测量模型优化器被配置为使用一个或多个标准来优化所述光测量模型，并基于优化的测量模型生成一个或多个仿真衍射信号；

测量设备，所述测量设备被配置为测量离开所述重复结构的衍射信号；

比较器，所述比较器被配置为基于使用生成的衍射信号的计算来确定是否满足一个或多个终止标准；以及

模型调节器，所述模型调节器被配置为改变对所述结构的所述顶视图轮廓的表征，选择轮廓参数来代表所述结构的所述顶视图轮廓的变化；以及选择与所述结构的所述横截面视图轮廓相关联的轮廓参数。

24. 如权利要求 23 所述的系统，还包括：

被配置为存储重复结构的轮廓参数和相应的衍射信号的物理或逻辑对的数据存储装置或库或经训练的机器学习系统

25. 如权利要求 23 所述的系统，其中所述测量设备是散射测量设备。

26. 如权利要求 25 所述的系统，其中所述散射测量设备是反射测量仪或椭偏仪。

27. 一种包含计算机可执行指令的计算机可读存储介质，所述指令使得计算机优化对在对晶片中的重复结构建模时使用的光测量模型的轮廓参数的选择，所述光测量模型具有与所述结构的顶视图相关联的轮廓参数和与所述结构的横截面视图相关联的轮廓参数，所述介质包括用于以下操作的指令：

- a) 表征所述结构的顶视图轮廓，所述结构的轮廓具有轮廓参数；
- b) 选择所述轮廓参数来代表所述结构的所述顶视图轮廓的变化；
- c) 选择与所述结构的横截面视图轮廓相关联的轮廓参数；

d) 将代表所述结构的所述顶视图轮廓和所述横截面视图轮廓的选定的轮廓参数集成到光测量模型中;

e) 优化所述光测量模型;

f) 使用优化的光测量模型来创建轮廓参数和仿真衍射信号的集合;

g) 使用轮廓参数和相关联的仿真衍射信号的集合和一个或多个测得衍射信号来提取最佳匹配仿真衍射信号;

h) 当所述最佳匹配仿真衍射信号和所述测得衍射信号在一个或多个匹配标准内不匹配时, 修改对轮廓参数的表征和/或选择; 以及

i) 重复 a)、b)、c)、d)、e)、f)、g) 和 h), 直到所述最佳匹配仿真衍射信号和所述测得衍射信号在所述一个或多个匹配标准内匹配。

28. 一种包含计算机可执行指令的计算机可读存储介质, 所述指令使得计算机优化在测量晶片结构时使用的光测量模型, 所述介质包括用于以下操作的指令:

a) 设置一个或多个终止标准;

b) 定义晶片中的所述重复结构的单位单元, 所述单位单元具有一个或多个特征;

c) 用一个或多个基本形状来配合所述单位单元的所述一个或多个特征的所述顶视图轮廓, 所述一个或多个基本形状具有参数;

d) 选择所述一个或多个基本形状的参数来代表所述结构的所述顶视图轮廓的变化;

e) 选择与所述结构的横截面视图轮廓相关联的轮廓参数;

f) 将代表所述结构的所述顶视图轮廓和所述横截面视图轮廓的选定的轮廓参数集成到光测量模型中;

g) 使用离开所述重复结构的一个或多个测得衍射信号优化所述光测量模型, 所述优化生成仿真衍射信号;

h) 使用生成的仿真衍射信号将计算出的一个或多个终止标准与预设的一个或多个终止标准相比较。

用于重复结构的光测量优化

技术领域

本发明涉及光测量，更具体而言涉及用于重复结构的光测量模型优化。

背景技术

光测量包括向某个结构投射入射光束，测量得到的衍射束，并分析衍射束以便确定各种特性，例如结构的轮廓。在半导体制造中，光测量一般用于质量保证。例如，当在半导体晶片上的半导体芯片附近制作周期性光栅（grating）结构之后，使用光测量系统来确定周期性光栅的轮廓。通过确定周期性光栅结构的轮廓，用于形成周期性光栅结构的制作工艺的质量以及最接近周期性光栅结构的半导体晶片的扩展可被评估。

在光测量中，光测量模型一般被开发来测量结构。可使用测量模型变量来表达光测量模型。一般地，在开发光测量模型时允许浮动的测量模型变量数量越多，使用光测量模型获得的测量准确度越高。但是，增加允许浮动的测量模型变量的数量也增加了开发光测量模型所需的时间量。此外，在某些情形下，允许太多的测量模型变量可能产生错误的测量结果。

发明内容

晶片中重复结构的顶视图被表征，并且用于代表重复结构的顶视图轮廓的变化的参数被选择。开发包括重复结构的选定顶视图轮廓参数的光测量模型。优化的光测量模型被用来生成被与测得衍射信号相比较的仿真衍射信号。

附图说明

参考下面的描述和附图可最好地理解本发明，在附图中，相似的标号

指示相似的部分：

图 1 是示例性光测量系统的框图；

图 2A—2E 是表征半导体晶片上形成的结构的示例性横截面视图轮廓；

图 3A—3D 描述示例性重复结构；

图 4A 和 4B 描述单位单元的示例性正交和非正交栅格（grid）的顶视图；

图 5 描述在重复结构中包括多于一个特征的示例性单位单元；

图 6 描述一般用于表征示例性重复结构的角度；

图 7A 描述重复结构的顶视图轮廓；

图 7B 描述重复结构的横截面视图；

图 8 描述示例性非正交重复结构的单位单元的多个特征；

图 9 描述来自示例性重复结构的正交单位单元的理论中心的单位单元的特征的偏移；

图 10A 描述单位单元中的特征的宽度比；

图 10B 描述单位单元中特征的矩形标准；

图 11 是收集重复结构的轮廓形状变化数据的示例性过程的流程图；

图 12 是优化重复结构的光测量模型的示例性过程的流程图；

图 13 是用于表征重复结构的单位单元的顶视图的示例性技术；

图 14 是用于表征具有多个特征的重复结构的顶视图的示例性技术；

并且

图 15 是用于优化重复结构的光测量模型的示例性系统。

具体实施方式

下面的描述列举了各种特定配置、参数等。但是应当注意，这些描述并不意在限制本发明的范围，而是提供对示例性实施例的描述。

1. 光测量

参考图 1，光测量系统 100 可被用来检查和分析结构。例如，光测量系统 100 可被用来确定晶片 104 上形成的周期性光栅 102 的轮廓。如前所

述，周期性光栅 102 可形成在晶片 104 上的测试区域中，例如邻近晶片 104 上形成的器件。或者，周期性光栅 102 可形成在不干扰器件操作的设备区域中或延晶片 104 上的划线形成。

如图 1 所示，光测量系统 100 可包括具有源 106 和检测器 112 的光度计器件。周期性光栅 102 被来自源 106 的入射光束 108 照亮。在本示例性实施例中，入射光束 108 被以相对于周期性光栅 102 的法线 \vec{n} 的入射角 θ_i 和方位角 Φ （即入射光束 108 的平面和周期性光栅 102 的周期的方向之间的角度）投射到周期性光栅 102 上。衍射光束 110 以相对于法线 \vec{n} 的角度 θ_d 离开，并被检测器 112 接收。检测器 112 将衍射光束 110 转换为测得衍射信号。

为了确定周期性光栅 102 的轮廓，光测量系统 100 包括配置为接收测得衍射信号和分析测得衍射信号的处理模块 114。如下所述，然后可以使用基于库的过程或基于回归的过程来确定周期性光栅 102 的轮廓。此外，也可以设想其他线性或非线性轮廓提取技术。

2. 确定结构轮廓的基于库的过程

在确定结构轮廓的基于库的过程中，测得的衍射信号被与仿真衍射信号的库相比较。更具体而言，库中的每个仿真衍射信号被与结构的假想轮廓相关联。当在测得衍射信号与库中的仿真衍射信号之一之间得到匹配，或者当测得衍射信号与仿真衍射信号之一的差在预设或匹配标准之内时，与匹配的仿真衍射信号相关联的假想轮廓被假设为代表结构的实际轮廓。然后，匹配的仿真衍射信号和/或假想轮廓可被用来确定结构是否根据规范被制作。

因此，再次参考图 1，在一个示例性实施例中，在获得测得衍射信号之后，处理模块 114 随后将测得衍射信号与存储在库 116 中的仿真衍射信号相比较。库 116 中的每个仿真衍射信号可以与假想轮廓相关联。因此，当在测得衍射信号与库 116 中的仿真衍射信号之一之间得到匹配时，与匹配的仿真衍射信号相关联的假想轮廓可被假设为代表周期性光栅 102 的实际轮廓。

存储在库 116 中的假想轮廓集合可通过使用参数集合来表征假想轮

廓，然后改变该参数集合以生成不同的形状和尺寸的假想轮廓来生成。使用参数集合表征轮廓的过程可被称为参数化。

例如，如图 2A 所示，假设假想横截面视图轮廓 200 可由分别定义其高度和宽度的参数 $h1$ 和 $w1$ 表征。如图 2B 到 2E 所示，可通过增加参数数量来表征假想轮廓 200 的额外形状和特征。例如，如图 2B 所示，假想轮廓 200 可由分别定义其高度、底部宽度和顶部宽度的参数 $h1$ 、 $w1$ 和 $w2$ 表征。注意，假想轮廓 200 的宽度可被称为关键尺寸 (CD)。例如，在图 2B 中，参数 $w1$ 和 $w2$ 可分别被描述为定义假想轮廓 200 的底部 CD 和顶部 CD。

如上所述，存储在库 116 (图 1) 中的假想轮廓集合可通过改变表征假想轮廓的参数来生成。例如，参考图 2B，通过改变参数 $h1$ 、 $w1$ 和 $w2$ ，可以生成不同性质和尺寸的假想轮廓。注意，一个、两个或全部三个参数都可以相对于彼此改变。

再次参考图 1，存储在库 116 中的假想轮廓和仿真衍射信号的集合中的假想轮廓和相应的仿真衍射信号的数量 (即库 116 的分辨率和/或范围) 部分依赖于参数集合改变的范围和参数集合改变的增量。在一个示例性实施例中，存储在库 116 中的假想轮廓和仿真衍射信号在从实际结构获得测得衍射信号之前被生成。因此，在生成库 116 时使用的范围和增量 (即范围和分辨率) 可基于对结构的制造工艺的熟悉程度以及变量的可能范围来选择。库 116 的范围和/或分辨率也可基于经验测量来选择，所述经验测量例如是使用原子力显微镜 (AFM) 或横截面扫描电子显微镜 (XSEM)、投射电子显微镜等的手段。

基于库的过程的更多详细描述参见 2001 年 7 月 16 日提交的美国专利申请 No. 09/907,488，题为 GENERATION OF A LIBRARY OF PERIODIC GRATING DIFFRACTION SIGNALS，该申请的全部内容通过引用结合于此。

3. 确定结构轮廓的基于回归的过程

在确定结构轮廓的基于回归的过程中，测得衍射信号被与仿真衍射信号 (即试验衍射信号) 相比较。仿真衍射信号在使用假想轮廓的参数集合

(即试验参数) 进行比较之前被生成。如果测得衍射信号和仿真衍射信号不匹配, 或者当测得衍射信号与仿真衍射信号之一的差不在预设或匹配标准之内时, 使用另一假想轮廓的另一参数集合生成另一仿真衍射信号, 然后将测得衍射信号和新生成的仿真衍射信号相比较。当测得衍射信号和仿真衍射信号匹配或者当测得衍射信号与仿真衍射信号之一的差在预设或匹配标准之内时, 与匹配的仿真衍射信号相关联的假想轮廓被假设为代表结构的实际轮廓。匹配的仿真衍射信号和/或假想轮廓可被用来确定结构是否根据规范被制作。

因此, 再次参考图 1, 在一个示例性实施例中, 处理模块 114 可以生成假想轮廓的仿真衍射信号, 然后将测得衍射信号与仿真衍射信号相比较。如上所述, 如果测得衍射信号和仿真衍射信号不匹配, 或者当测得衍射信号与仿真衍射信号之一的差不在预设或匹配范围之内时, 处理模块 114 就可以重复地生成另一假想轮廓的另一仿真衍射信号。在一个示例性实施例中, 后续生成的仿真衍射信号可使用优化算法来生成, 所述优化算法包括全局优化技术(其包括仿真退火)和局部优化技术(其包括最速下降算法)。

在一个示例性实施例中, 仿真衍射信号和假想轮廓可被存储在库 116 (即动态库) 中。存储在库 116 中的仿真衍射信号和假想轮廓随后可被用于匹配测得衍射信号。

对基于回归的过程的更详细的描述参见 2001 年 8 月 6 日提交的美国专利申请 No. 09/923,578, 题为 METHOD AND SYSTEM OF DYNAMIC LEARNING THROUGH A REGRESSION-BASED LIBRARY GENERATION PROCESS, 该申请的全部内容通过引用结合于此。

4. 用于确定仿真衍射信号的算法

如上所述, 生成仿真衍射信号以便与测得衍射信号相比较。如下所述, 在一个示例性实施例中, 可通过应用 Maxwell 方程和使用数字分析技术解 Maxwell 方程来生成仿真衍射信号。更具体而言, 在下述示例性实施例中, 使用了严格耦合波分析(RCWA)。但是应当注意, 可以使用各种数字分析技术, 包括 RCWA 的变体、模态分析、积分方法、Green 函数、

Fresnel 方法、有限元等。

一般地，RCWA 涉及将轮廓划分为多个区块、片段或板块（此后简称为区块）。对于每个轮廓区块，使用 Maxwell 方程的 Fourier 扩展（即电磁场和介电常数（ ϵ ）的特征）生成耦合差分方程的系统。然后使用涉及相关的差分方程系统的特征矩阵的特征值和特征向量的对角化过程（即特征分解）来解差分方程的系统。最后，使用诸如散射矩阵方法等递归耦合方案耦合每个轮廓区块的解。对散射矩阵方法的描述参见 Lifeng Li, “Formulation and comparison of two recursive matrix algorithms for modeling layered diffraction gratings”, J. Opt. Soc. Am. A13, pp 1024-1035 (1996), 该文献的全部内容通过引用结合于此。对 RCWA 的更详细描述参见 2001 年 1 月 25 日提交的美国专利申请 No. 09/770,997, 题为 CACHING OR INTRA-LAYER CALCULATIONS FOR RAPID RIGOROUS COUPLED-WAVE ANALYSES, 该申请的全部内容通过引用结合于此。

5. 机器学习系统

在一个示例性实施例中，可使用机器学习系统（MLS）生成仿真衍射信号，所述 MLS 利用机器学习算法，例如后向传播、径向基函数、支持向量、核回归等。对机器学习系统和算法的更详细描述参见 Simon Haykin 的 “Neural Networks”, Prentice Hall, 1999, 该文献的全部内容通过引用结合于此。还参见 2003 年 6 月 27 日提交的美国专利申请 No. 10/608,300, 题为 OPTICAL METROLOGY OF STRUCTURES FORMED ON SEMICONDUCTOR WAFERS USING MACHINE LEARNING SYSTEMS, 该申请的全部内容通引用结合于此。

6. 重复结构

如上所述，一般对具有仅在一个维度上变化的轮廓的周期性光栅的划线和间隔执行光测量。具体而言，再次参考图 1，周期性光栅 102 的轮廓在 x 方向上变化，但是不在 y 方向上变化。因此，在对这种周期性光栅执行光测量时，仅使用横截面视图轮廓（如图 2A—2E 所示）来表征周期性光栅的轮廓。

如图 3A—3D 所示，可以在晶片上形成具有在至少两个维度上（例如

在根据图 3A—3D 使用的坐标系的 x 方向和 y 方向上)变化的轮廓的各种重复结构。具体而言,图 3A 示出了穿过一层或多层材料形成的基本呈圆形的孔 230 的重复结构。图 3B 示出了穿过一层或多层材料形成的基本呈方形的孔 232 的重复结构。图 3C 示出了在一层或多层基底材料上形成的基本呈方形的柱 236 的重复结构。图 3D 示出了在一层或多层基底材料上形成的基本呈圆形的柱 238 的重复结构。图 3C 的方柱 236 和图 3D 的圆柱 238 可以由一层或多层材料形成。

图 4A 示出了示例性重复结构 240 的顶视图。假想栅格线被叠加在重复结构 240 的顶视图上,其中栅格线延周期方向绘制。重复结构 240 的轮廓在两个维度(即 x 方向和 y 方向)上变化。图 4A 中的重复结构 240 具有两个方向(x 方向和 y 方向)的周期。如果周期的两个方向之间的角度是 90 度,则重复结构被称为正交重复结构,否则它被称为非正交重复结构。

如图 4A 所示,假想栅格线形成被称为单位单元的区域。具体而言,图 4A 示出了具有基本位于单位单元 242 中心的特征 244(是一个孔)的示例性单位单元 242。但是,可以理解特征 244 可以位于单位单元 242 中的任何位置。

图 4B 示出了示例性非正交重复结构的顶视图。具体而言,图 4B 示出了具有平行四边形形状和基本位于单位单元 252 中心的特征 254 的示例性单位单元 252。

应当认识到单位单元可以具有一个或多个特征,特征可以具有不同形状。例如,单位单元可以具有诸如在孔中具有岛的孔等复合特征。

图 5 示出了具有多于一个特征的示例性单位单元。具体而言,图 5 示出了具有四个特征的示例性单位单元 260。在图 5 中,特征 270 是具有向中心延伸于结构的主体部分之下的凸起的馅饼状结构。特征 280 是与特征 270 类似的镜像形状。特征 284 是具有向主体部分右侧延伸的凸起的馅饼状结构。图 274 也是具有向主体部分左侧延伸的凸起的馅饼状结构。特征 274 是与特征 284 类似的镜像图像形状。

如上所述,应当意识到单位单元中的特征可以是岛、柱、孔、通孔、

沟槽，或它们的组合。此外，特征可以具有多种形状，并且可以是凹或凸特征，或凹凸特征的组合。

参考图 6，在一个示例性实施例中，使用一个或多个轮廓参数表征重复结构 300 的轮廓。具体而言，使用横截面视图轮廓（其代表 $x-z$ 平面的结构轮廓， z 轴是到晶片表面的法线）来表征重复结构 300（可以是孔、柱，或岛）。

图 6 示出了一般被用作为重复结构 300 的横截面视图轮廓中的轮廓参数的角度。例如， δ 是入射光束 302 和 z 轴的入射极角。 ϕ 是入射光束 302 相对于 x 轴的入射方位角（入射光束在 $x-y$ 平面的投影与 x 轴之间的夹角）。 ψ 是入射光束 302 相对于代表包含入射光束 302 的平面的边缘的水平线 304 的极化角。图 6 中重复结构 300 中的基底材料未示出，以便强调一般用于表征重复结构的角度的。

参考图 7A，使用轮廓参数来表征重复结构的顶视图轮廓。图 7A 示出了具有特征 320 的单位单元 310 的顶视图，该特征 320 是从孔顶部到孔底部尺寸逐渐变小的椭圆孔。用于表征顶视图轮廓的轮廓参数包括 x 步长 312 和 y 步长 314。此外，代表特征 320 的顶部的椭圆 316 的长轴和代表特征 320 的底部的椭圆 318 的长轴可被用来表征特征 320。此外，该特征顶部和底部之间的任意中间长轴都可被使用，还可使用顶部、中间或底部椭圆的任意短轴（未示出）。

参考图 7B，使用轮廓参数来表征重复结构的横截面视图轮廓。如上所述，一般被定义用于分析目的的横截面视图轮廓代表了 $x-z$ 平面的结构轮廓，其中 z 轴是到晶片表面的法线。或者/此外，可以在 $y-z$ 平面上定义横截面视图轮廓。

在本示例中，重复结构的 x 步长 312 是两个相邻子特征 368 和 370 的中心之间的距离。为了说明的目的，穿过子特征 368 的中心绘制虚垂线 364，穿过子特征 370 的中心绘制另一虚垂线 366。 x 步长 312 一般是穿过子特征 368 的虚垂线 364 和穿过子特征 370 的虚垂线 366 之间的以纳米（nm）为单位的距离。

包括子特征 368 和 370 的特征 320 被划分为多个层：层 0、层 1、层

2, 依此类推。假设层 0 是空气, 层 1 是材料 1, 层 2 是材料 3, 等等。层 0 具有空气的 n 和 k , 层 1 具有材料 1 的 n 和 k , 等等。子特征 368 和 370 之间的距离 316 与图 7A 中特征 320 的顶部的长轴 316 相同。类似地, 特征 320 底部的子特征 368 和 370 之间的距离 318 与图 7A 中特征 320 底部的长轴 318 相同。特征 320 的倾斜度由角度 372 和 374 表征。当特征 320 的斜度变化时, 角度 372 和 374 可以延 z 轴变化。或者, 特征 320 的斜度可以使用诸如多项式函数等数学公式来表征。

顶视图轮廓和横截面视图轮廓的轮廓参数被集成到光测量模型中。在集成轮廓参数时, 任何冗余轮廓参数都被去掉。例如, 如上所述, 顶视图轮廓的轮廓参数包括 x 步长 312、 y 步长 314、长轴 316, 和长轴 318。横截面视图轮廓的轮廓参数包括 x 步长 312、长轴 316、长轴 318、层的 n 和 k 值, 以及特征的斜度。因此, 在本示例中, 光测量模型的轮廓参数包括 x 步长 312、 y 步长 314、长轴 316、长轴 318、层的 n 和 k 值, 以及特征的斜度。相关内容参见 2002 年 10 月 17 日提交的专利申请 No. 10/274,252, 题为 GENERATING SIMULATED DIFFRACTION SIGNALS FOR TWO-DIMENSIONAL STRUCTURES, 该申请的全部内容通过引用结合于此。

如上所述, 重复结构中的单位单元可以是正交的和非正交的。图 8 示出了包括四角形孔特征 422 的重复结构的示例性非正交单位单元 400。特征 422 具有空气折射率 n_0 和 k_0 , 单位单元 400 中的其余材料 424 具有折射率 n_1 和 k_1 。非正交性由角度 ζ (罗马字符 z) 限定, 其测量次级轴 y_2 相对于正交 y 轴的偏离。角度 ζ 与正交性或步长角 α (等于 $90-\zeta$) 有关。此后, 步长角将一直指正交性或步长角 α 。单位单元的外形由 x 方向上的次级轴 x_1 的步长和 y 方向上的 y_2 、步长角 α 和单位单元的尺寸 d_1 、 d_2 来描述。应当理解步长角可以从 -90 度到 $+90$ 度变化。

与重复结构相关联的其他轮廓参数是单位单元中的特征的位置。图 9 示出了特征从示例性重复结构的正交单位单元的理论中心的偏移。例如, 在单位单元 500 中, 特征 510 不是位于单位单元 500 的中心, 而是可以位于中心上方距离 shy 、中心右侧距离 shx 处的由虚线标记的位置 520 处。

除了上述重复结构的参数之外, 对重复结构的表征中包括的其他参数

是单位单元中特征的宽度比和矩形度。宽度比参数定义了单位单元中孔或岛的角的锐度量。如图 10A 所示，在单位单元 550 中，宽度比可被用来定义与 X 关键尺寸有关的形状的 Y 关键尺寸。当椭圆形孔或岛的 r_x 值大于 r_y 值时，宽度比 (WR) $=r_y/r_x$ 是从小于 1 开始变化的值；当孔或岛是圆形时，值为 1；当孔或岛的 r_y 值大于 r_x 值时，该值大于 1。

矩形度定义了单位单元中诸如孔、柱或岛等特征的锐度量。在图 10B 中，0.0 的矩形度 R 定义了完美的圆形孔或岛 560，大于 0 并小于 1.0 的矩形度定义了方形圆角孔或岛 562，1.0 的矩形度定义了正方形或矩形孔、柱或岛 564。

表征单位单元的特征的另一方法是通过使用特征的数学模型。例如，重复结构的诸如接触孔或柱等单位单元中的特征的外边界可使用一个或多个公式来描述。在该建模构造中，孔是具有特定的非常相似的 N 和 K 的由空气形成的结构，岛是具有不同 N 和 K 的结构。因此，对诸如孔等单位单元中的特征的边界的表征包括对特征的形状和斜度的描述，如图 7B 中横截面视图轮廓所示。

单位单元中的特征的顶视图形状可通过以下方式在数学上被描述：修改椭圆的典型公式以获得更广泛的定义，并且引入指数 m 和 n：

$$x = a \cdot \cos^m(\varphi + \varphi_x) \text{ 并且 } y = b \cdot \sin^n(\varphi + \varphi_y) \quad 1.00$$

其中 x 和 y 是恒定的剖面 z 中的形状的横坐标， φ 是方位角， φ_x 和 φ_y 分别是 X 和 Y 轴的方位角， $\varphi = 0 \dots 2\pi$ 。如果 $m=2/M$ 并且 $n=2/N$ ，则 M 和 N 对应于超椭圆的“标准”公式中的指数：

$$\left| \frac{x}{a} \right|^M + \left| \frac{y}{b} \right|^N = 1 \quad 1.10$$

使用通过 Fourier 合成获得的通用表达式可以得到更广义的参数函数：

$$x(\varphi) = \sum_m a_m \cos^{p_m}(m \cdot \varphi + \varphi_{mx}) + x_0 \quad y(\varphi) = \sum_n b_n \cos^{p_n}(n \cdot \varphi + \varphi_{ny}) + y_0 \quad 1.20$$

其中 x_0 和 y_0 是偏心或横偏移。单位单元连续层可以通过这些偏心参数被彼此调节。以此方式，可以通过依次描述结构的层来建立复杂的重复结构。

下一步是向单位单元中的特征指定斜度（第三尺寸）。这可以使用参数表达式来实现，其中斜度 s 分别是 t 或 φ 的函数。特征的完整描述可以用

下式表达：

$$x=f(t); y=g(t); \text{并且 } s=h(t) \quad 2.00$$

其中 f 、 g 和 h 是变量 t 的不同函数表征， t 可以是方位角 φ 或形状的某个其他变量。

例如，状如椭圆孔的在两个相对侧上具有渐升斜度并且在两个垂直侧上具有凹角斜度的特征可以由下式给出：

$$x = a \cdot \cos \varphi; y = b \cdot \sin \varphi; \text{并且 } s = 92^\circ - c \cdot \arcsin(d \cdot |\sin \varphi|) \quad 2.10$$

其中 $\varphi=0 \dots 2\pi$ ， $c=2^\circ$ ， $d=0.07$ ，斜度是延 x 轴 92° （即略微伸出），和延 y 轴约 88° （即几乎垂直），并且斜度在这些极端值之间逐渐变化。这样，只有渐升和凹角这样的线性斜度可以被覆盖。可以通过将特征与多于两个非均匀和不成比例的形状相组合来解决非线性斜率形状的问题。为了描述非线性形状，引入额外的参数 z ，得到以下公式：

$$x=f(t,z); y=g(t,z); \text{并且 } s=h(t,z) \quad 2.20$$

其中 z 是表征形状的非线性度的表达式。

单位单元由多于一种材料形成并且特征包括多于一种形状的复合重复结构被分解为其构成块，然后被如上所述地处理。应当理解，除了上述以外的其他形状的数学表达式也可被用来表征重复结构的单位单元的特征的轮廓。

在一个示例性实施例中，轮廓数据也被用于表征单位单元中的特征。图 11 是用于收集和处理重复结构的轮廓数据的示例性方法的框图。在图 11 的步骤 600 中，可以使用工艺仿真器来仿真产生重复结构的制作工艺。工艺仿真器的示例是 ProlithTM、RaphaelTM，等等。工艺仿真器的一个输出包括对制作工艺仿真后得到的结构的轮廓。该轮廓包括可被分析以获得基于工艺参数的变化产生的形状的类型和变化的轮廓。例如，如果仿真蚀刻工艺，则得到的孔、柱或岛的顶视图轮廓可被检查，以确定在变化的工艺条件下完成工艺之后的形状的变化。

备选实施例涉及使用一个或多个测量设备来测量重复结构的轮廓，如图 11 的步骤 610 所示。横截面 SEM、CDSEM、AFM、成像系统等测量设备可被用来测量晶片中重复结构的横截面或顶视图轮廓。类似地，诸如散

射测量设备（即反射测量仪和/或椭偏仪）等光测量系统可被用来确定重复结构的轮廓。另一备选实施例包括访问应用的重复结构的经验或历史形状数据，如步骤 620 所述。特定配方或类似的半导体制作配方可以提供与对象结构的轮廓的形状有关的历史数据。

在图 11 的步骤 630 中，从各个源获得的单位单元中的特征的顶视图轮廓被检查，以确定特征形状的变化和轮廓参数。在图 11 的步骤 640 中，结构的特征形状的范围可以显示这样的图案，其中轮廓的某些方面保持恒定或仅改变有限量，而轮廓的其他方面表现出大范围的变化。

图 12 是用于优化重复结构的光测量模型的示例性方法的框图。基于从各个源收集的数据（如在图 11 所示的示例性方法中讨论的那样），在步骤 710 中，通过配合一个或多个几何形状（即连续的形状近似）或通过使用数学方法来表征结构的顶视图轮廓。

结合图 13 讨论连续的形状近似技术。假设重复结构的单位单元 800 的 SEM 或 AFM 图像是特征 802，即从顶部看具有花生形状的岛。一种方法应当是用可变数量的椭圆和多边形或其组合来近似特征 802。

还假设在分析特征 802 的顶视图形状的变化之后，确定找到两个椭圆（椭圆 1 和椭圆 2）和两个多边形（多边形 1 和多边形 2）来完全表征特征 802。表征两个椭圆和两个多边形所需的参数包括如下 9 个参数：用于椭圆 1 的 T1 和 T2；用于多边形 1 的 T3、T4 和 θ_1 ；用于多边形 2 的 T4、T5 和 θ_2 ；以及用于椭圆 2 的 T6 和 T7。很多其他形状组合可被用来表征单位单元 800 中的特征 802 的顶视图。

数学方法使用数学公式来描述单位单元中的特征的形状。从单位单元的顶视图开始，选择可以最好地表述特征的形状的公式。如果特征的顶视图轮廓接近椭圆，则可以使用例如公式 1.10 这样的通用椭圆公式，或例如公式 1.20 这样的通用椭圆公式的 Fourier 合成。或者，可以使用表征重复结构的所收集的轮廓的变化的公式集合，例如 2.10 和 2.20 中的公式的集合。不论形状如何，如果一个或多个数学公式或表达式充分地表征了顶视图轮廓的变化，则这些公式可被用来表征单位单元中特征的顶视图。关于图 13，对单位单元 800 中特征 802 的表征一般将包括代表两个椭圆（椭圆

1 和椭圆 2) 和两个多边形 (多边形 1 和多边形 2) 的公式集合。

其他实施例可以采用诸如椭圆等典型几何形状, 但是该形状通过使用自动绘图技术而改变了旋转轴或中心。例如, 使用这些技术, 椭圆可以被配置为看上去更像花生状的轮廓。即使使用自动技术能得到任意形状, 使用利用多个旋转轴和中心的软件也可以表征被研究的结构的视图。

参考图 12, 在步骤 720 中, 轮廓参数被选择以代表结构的顶视图轮廓中的变化。对参数的选择可以基于历史数据和/或选择参数的渐次包括或相继排除。使用诸如具有类似配方或制作工艺的先前经验等历史数据可能足以得到最少数量的顶视图轮廓参数以便得到良好的仿真结果。例如, 如果接触孔的先前配方基本使用非常相似的配方, 并且利用单个椭圆模型获得了良好的仿真结果, 则对该应用的顶视图轮廓参数的最终选择可被用作为当前应用的起始选择。新顶视图轮廓参数的渐次包括开始于基于收集的轮廓数据表现出显著变化的一个或多个轮廓参数。

例如, 参考图 13, 假设顶视图轮廓参数 T2 (椭圆 1 的尺寸) 和 T7 (椭圆 2 的尺寸) 显示了最大变化, 而其余顶视图轮廓参数较为恒定。于是, 在图 12 的步骤 720 中, T2 和 T7 将被选择来代表光测量模型中的顶视图轮廓的变化。或者, 如果只有椭圆 2 的 T7 显示出最大变化, 则只有 T7 可被选择。

参考图 12, 在步骤 730 中, 选择与结构的横截面视图轮廓相关联的轮廓参数。横截面视图轮廓参数包括入射光束的入射极角、入射光束的入射方位角、入射极化角、X 步长、Y 步长、步长角、各层宽度、各层的 N 和 K 或单位单元中重复结构的各个特征的 N 和 K、特征高度、各个点处的特征宽度、侧壁角、基部或顶部倒圆, 等等。类似于在选择顶视图轮廓参数时使用的过程, 对参数的选择可以基于历史数据和/或相继使得选择参数固定而不是可变。使用诸如具有相似配方或制作工艺的先前经验等历史数据可能足以得到最小数量的可变横截面视图轮廓参数, 以得到良好的仿真结果。

在图 12 的步骤 740 中, 选定的顶视图和横截面视图轮廓参数被集成到光测量模型中。如上所述, 在集成选定的轮廓参数时, 冗余被去除。

在图 12 的步骤 750 中，优化光测量模型。优化测量模型一般涉及基于回归的过程。该步骤的输出是基于选定的轮廓参数和一个或多个终止标准优化的光测量模型。终止标准的示例包括配合度、成本函数、误差平方和（SSE），等等。对基于回归的过程的详细描述参见 2001 年 8 月 6 日提交的美国专利申请 No. 09/923,578，题为 METHOD AND SYSTEM OF DYNAMIC LEARNING THROUGH A REGRESSION-BASED LIBRARY GENERATION PROCESS，该申请的全部内容通过引用结合于此。

参考图 12，在步骤 760，使用优化的测量模型创建轮廓参数和相应的衍射信号的集合。轮廓参数集合包括在步骤 720 和 730 选择的轮廓参数。通过使用轮廓参数集合仿真离开重复结构的衍射来创建相应的衍射信号。例如，可以使用选定的轮廓参数的范围和每个轮廓参数的适当分辨率来生成库。可以使用创建的库的子集来训练机器学习系统（MLS）。回归和库生成技术的组合可被用来生成能够从输入的轮廓参数集合创建新衍射信号或提取输入的测得衍射信号的轮廓参数集合的库或经训练的 MLS。

在步骤 770 中，测得衍射信号被与使用从优化测量模型导出的轮廓参数集合创建的仿真衍射信号匹配，以确定最佳匹配。

在步骤 780 中，使用测得和最佳匹配仿真衍射信号计算一个或多个匹配标准。配合度、成本函数、SSE 等可被用作为匹配标准。如果匹配标准不被满足，则对单位单元中特征的特征和/或对顶视图轮廓参数的选择可被改变，如步骤 790 所示。

例如，假设一个或多个离开具有类似于图 13 所示的单位单元 800 的单位单元的重复结构的测得衍射信号。还假设选择图 13 中特征 802 的顶视图轮廓参数 T2 和 T7。在步骤 780 中，匹配标准值被计算和与预设匹配标准相比较。假设预设匹配标准包括不小于 95% 的配合度和不大于 2.50 的成本函数。如果计算出的匹配标准显示出 96% 的配合度和 2.40 的成本函数，则匹配标准被满足并且过程进行到步骤 800。

否则，在步骤 790 中，修改对结构的顶视图轮廓的表征和/或对顶视图轮廓参数的选择。修改对顶视图轮廓的表征可以包括使用三个而不是两个多边形来表征图 13 中的特征 802 的中间部分。如上所述，对轮廓参数的

选择的修改依赖于所使用的技术。如果使用新参数的渐次包括，则一个或多个顶视图轮廓参数可被添加到选定的顶视图轮廓参数组。参考图 13，如果只有 T2 和 T7 是两个先前选定的顶视图轮廓参数，则对选择的修改可能使得添加 T4 和/或 T6，如果 T4 和/或 T6 在所收集的轮廓数据中显示出某种显著的变化。

如果使用轮廓参数的相继排除，则匹配标准被相应地设置。例如，预设的匹配标准可以包括不大于 94% 的配合度和不小于 2.30 的成本函数。如果计算出的匹配标准显示出 96% 的配合度和 1.90 的成本函数，则匹配标准不被满足，处理进行到步骤 790。在步骤 790，对结构的顶视图轮廓的表征和/或对重复结构的顶视图轮廓参数的选择被修改。对顶视图轮廓的表征的修改可以包括使用三个而非两个多边形来表征图 13 中特征 802 的中间部分。参考轮廓参数的相继排除技术，将一个或多个顶视图轮廓参数从选定的顶视图轮廓参数组排除。参考图 13，如果 T1 到 T7 是所有先前选定的顶视图轮廓参数，则对选择的修改可能使得排除 T3 和/或 T5，如果 T3 和/或 T5 显示出比所收集的轮廓数据中的其他顶视图轮廓参数更小的变化的话。

以类似方式处理重复结构的横截面视图轮廓参数，改变用于近似横截面视图轮廓的形状的类型并渐次固定更多参数，直到满足匹配标准。对横截面视图轮廓形状和轮廓参数选择的更详细的讨论参见 2002 年 7 月 25 日提交的美国专利申请 No. 10/206,491，题为 MODEL AND PARAMETER SELECTION FOR OPTICAL METROLOGY，该申请的全部内容通过引用结合于此。

在任一技术中，一旦满足匹配标准，则在图 12 的步骤 800 中，对应于最佳匹配衍射信号的轮廓参数就被提取和变换为实际的轮廓参数。例如，参考图 13，所提取的顶视图轮廓参数可以仅包括特征 802 的 T2 和 T7。该步骤通过使用与 T2 和 T7 其余到顶视图轮廓参数相关联的相关因子将 T2 和 T7 的值变换为所有顶视图轮廓参数 T1 到 T7、 θ_1 和 θ_2 的值的集合。

相同的概念和原理适用于单位单元如图 14 所示具有多于一个结构特

征的重复结构。单位单元 260 具有特征 270、274、280 和 284。参考特征 270，假设针对应用收集的轮廓数据指示特征 270 的顶视图轮廓可以使用两个椭圆（椭圆 A 271 和椭圆 B 272）来近似。椭圆 A 271 的长轴和短轴被分别记为 H11 和 H12；椭圆 B 272 的长轴和短轴被分别记为 H13 和 H14。其他特征 274、282 和 284 各自的椭圆的长和短轴被分别记为 H21、H22、H23 和 H24；H31、H32、H33 和 H34；以及 H41、H42、H43 和 H44。

如上所述，当使用渐次包括技术时，依赖于所收集的顶视图轮廓数据的变化，只有两个椭圆中较大的一个的长轴可被选择为单位单元 260 中的模型特征。具体而言，参数 H14、H24、H34 和 H44 可被指定为用于优化的选定的顶视图轮廓参数。如果匹配标准不被满足，则优化的相继重复可以包括单位单元 260 的特征的其他顶视图轮廓参数。

当使用相继排除技术时，最初所有椭圆的所有轴都可被用来对单位单元 260 中的特征建模。具体而言，参数 H11 到 H14、H21 到 H24、H31 到 H34 和 H41 到 H44 可以被指定为用于优化的选定的顶视图轮廓参数。如果匹配标准不被满足，则优化的相继重复可以排除单位单元 260 的特征的其他顶视图轮廓参数。

如上所述，单位单元可以包括孔、沟槽、通孔或其他凹陷形状的组合。单位单元还可以包括柱、岛或其他凸起形状的组合或凹陷型和凸起形状的组合。

图 15 是用于优化重复结构的光测量模型的示例性系统。轮廓预处理器 900 分析重复结构（未示出）的输入工艺仿真器顶视图轮廓 912、测得顶视图轮廓 916，和/或历史顶视图轮廓 920。轮廓预处理器 900 选择结构的特定的顶视图轮廓参数和横截面视图轮廓参数 966，并将选定的顶视图轮廓参数和横截面视图轮廓参数 966 传递给测量模型优化器 930。测量模型优化器 930 处理来自测量设备 926 的输入测得衍射信号 964 和选定的轮廓参数 966，以优化测量模型和提取最佳匹配仿真衍射信号 956 以便传递给比较器 908。测量模型优化器 930 可以选择性地使用包括衍射信号和轮廓参数对的库或数据存储装置，或被训练为从轮廓参数确定仿真衍射信号

或从仿真衍射信号确定轮廓参数的机器学习系统。比较器 908 计算匹配标准的值，并将计算出的值与先前设置的匹配标准 960 比较，如果计算出的值不在匹配标准之内，则比较 908 将信号 954 传递到模型调节器 904 以确定对光测量模型的调节 952。模型调节器 904 将调节或修改 952 传递到轮廓预处理器 900 并重复该循环。如果计算出的值在匹配标准之内，则比较器 908 终止优化过程，并将提取出的轮廓参数值 958 传递给后优化处理器 910。

虽然已经描述了示例性实施例，但是可在不脱离本发明的精神和/或范围的情况下作出各种修改。例如，可以在允许大量轮廓参数和其他测量变量浮动的情况下运行第一重复。在第一重复之后，不使衍射响应产生显著改变的变量可以被设置为固定值。或者，由于先前的经验数据而被初始认为恒定的变量可以在进一步分析之后被允许浮动。例如，X 偏移和 Y 偏移或者步长角可以最初被保持恒定，但是可以由于获得额外的轮廓数据而在相继重复之后被允许浮动。此外，除了椭圆和多边形之外，也可以使用其他形状，或者可以考虑形状的粗糙度，以便提供优化过程的更好或更快的终止。因此，本发明不应被理解为限于图中所示的和上述的特定形式，而是应当基于所附权利要求。

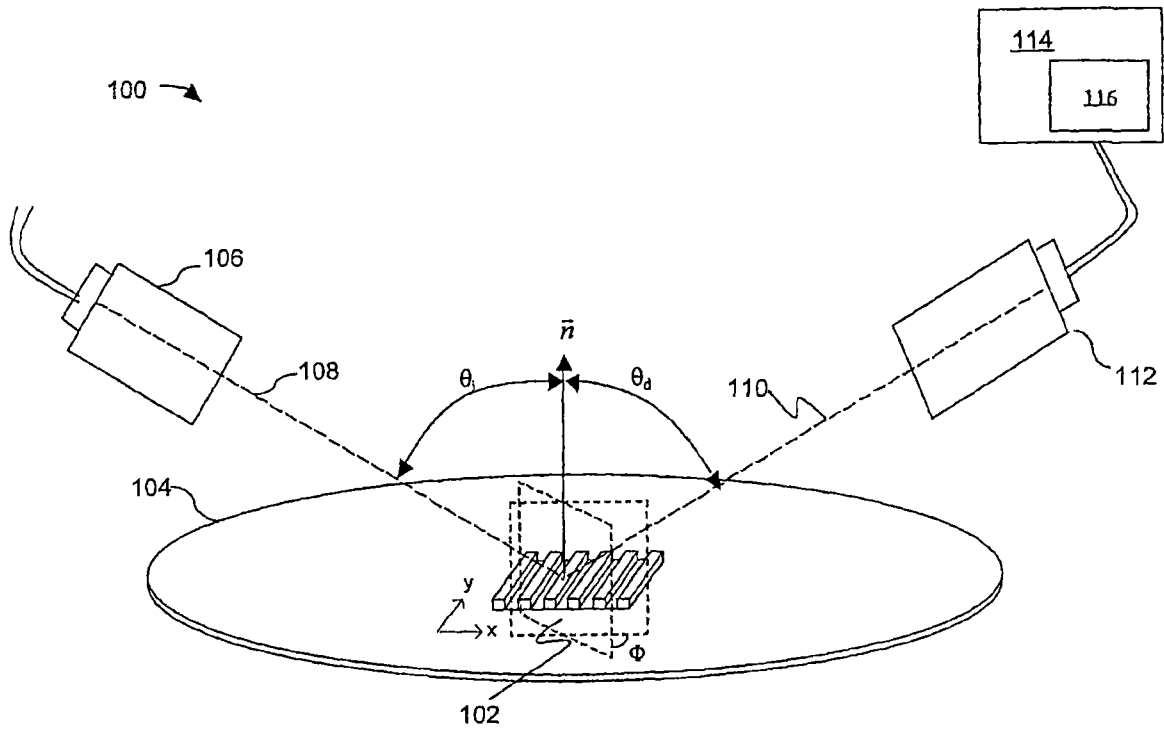


图1

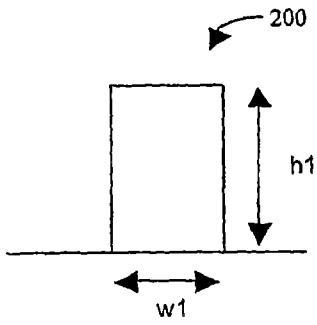


图2A

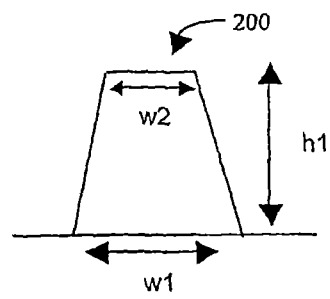


图2B

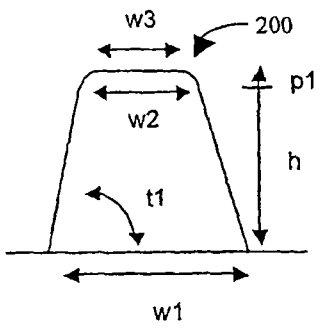


图2C

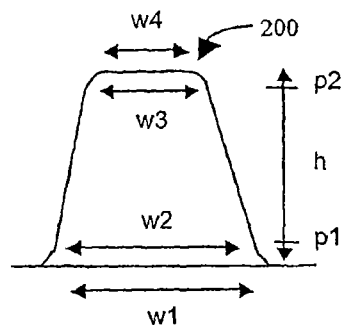


图2D

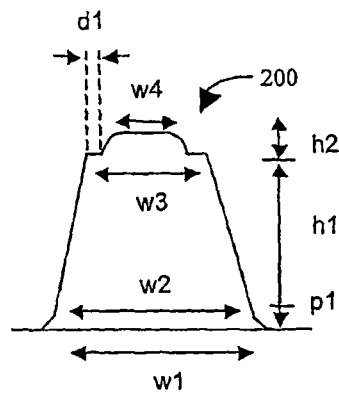


图2E

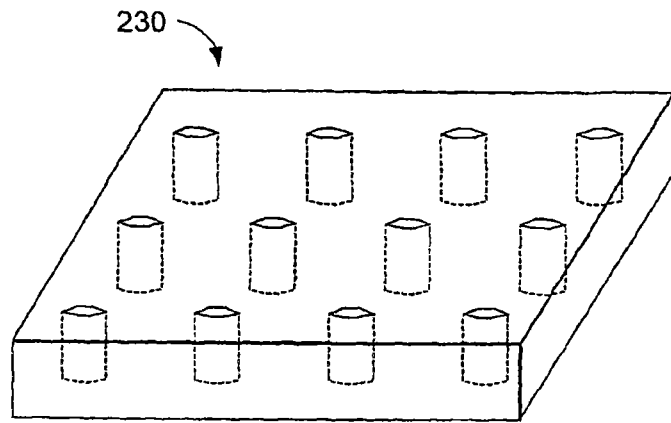


图3A

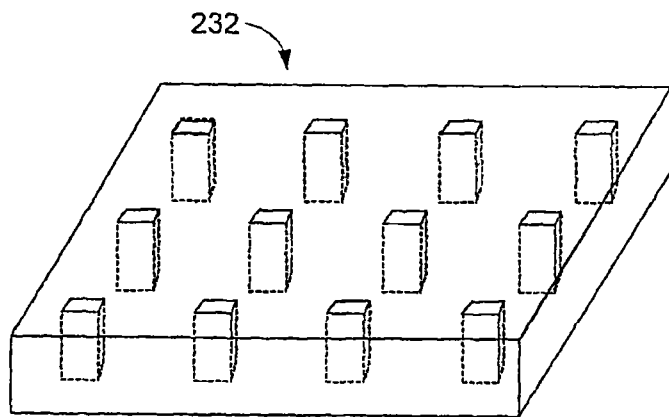


图3B

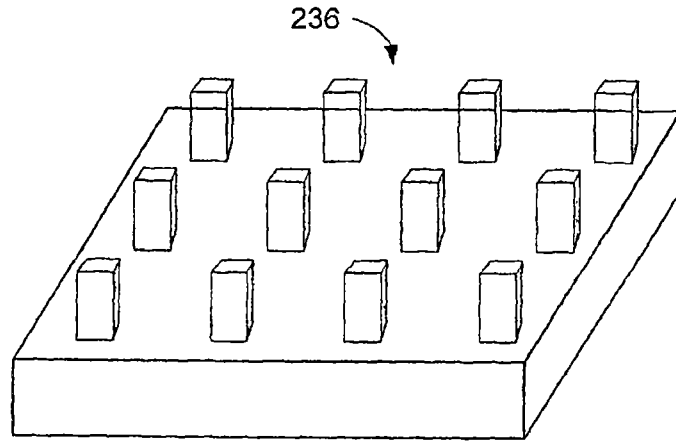


图3C

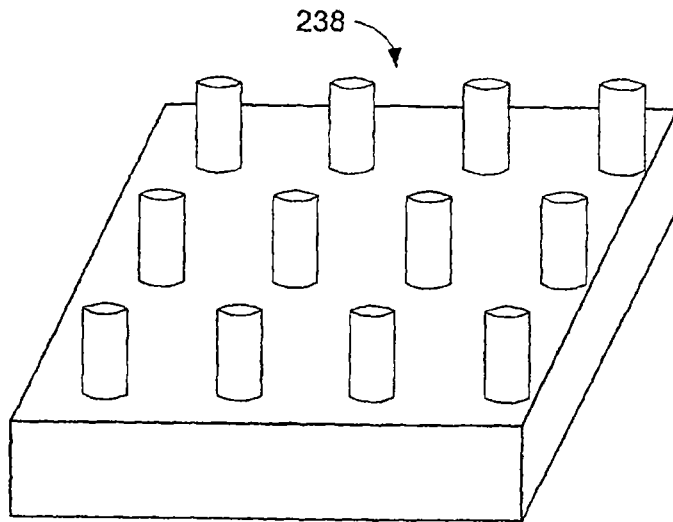


图3D

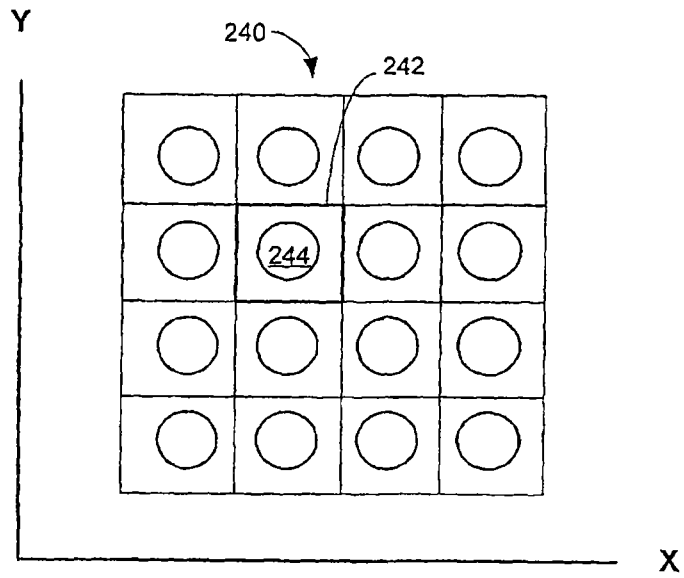


图4A

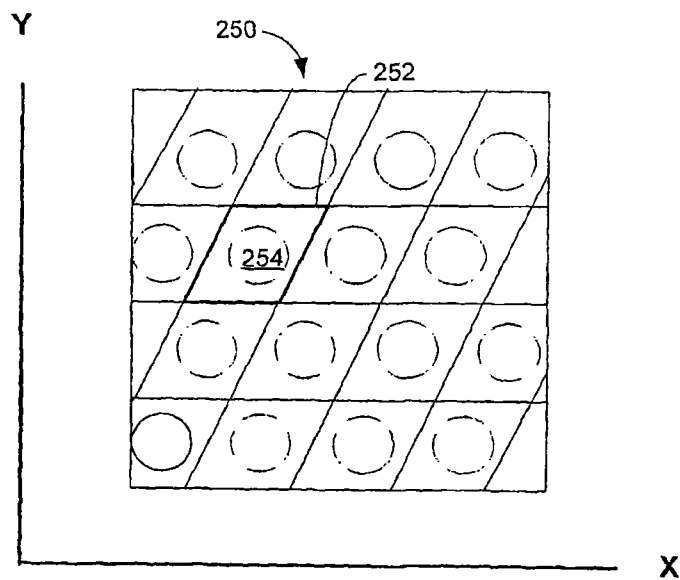


图4B

单元单元 260

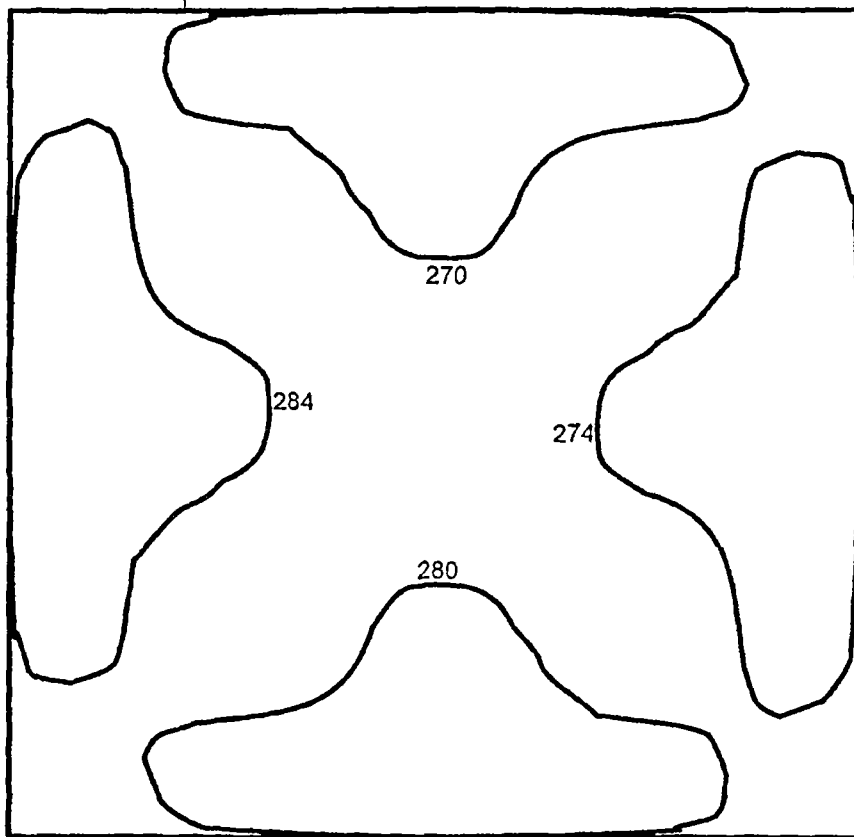


图5

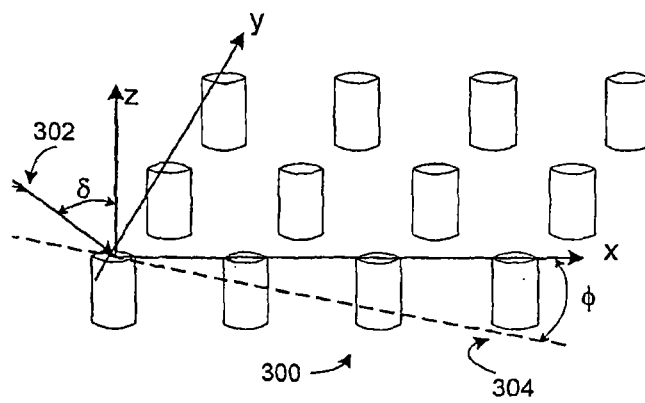


图6

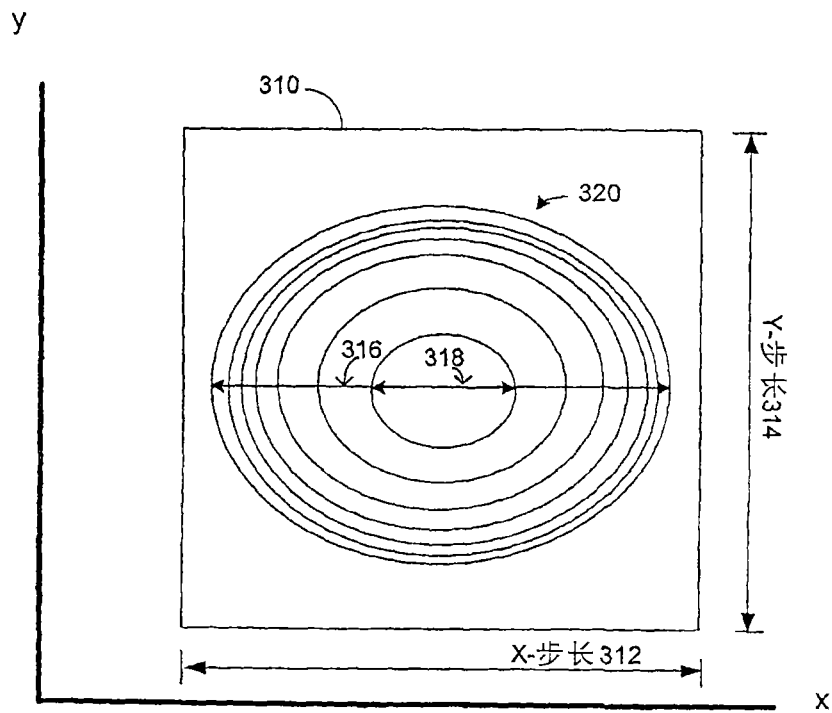


图7A

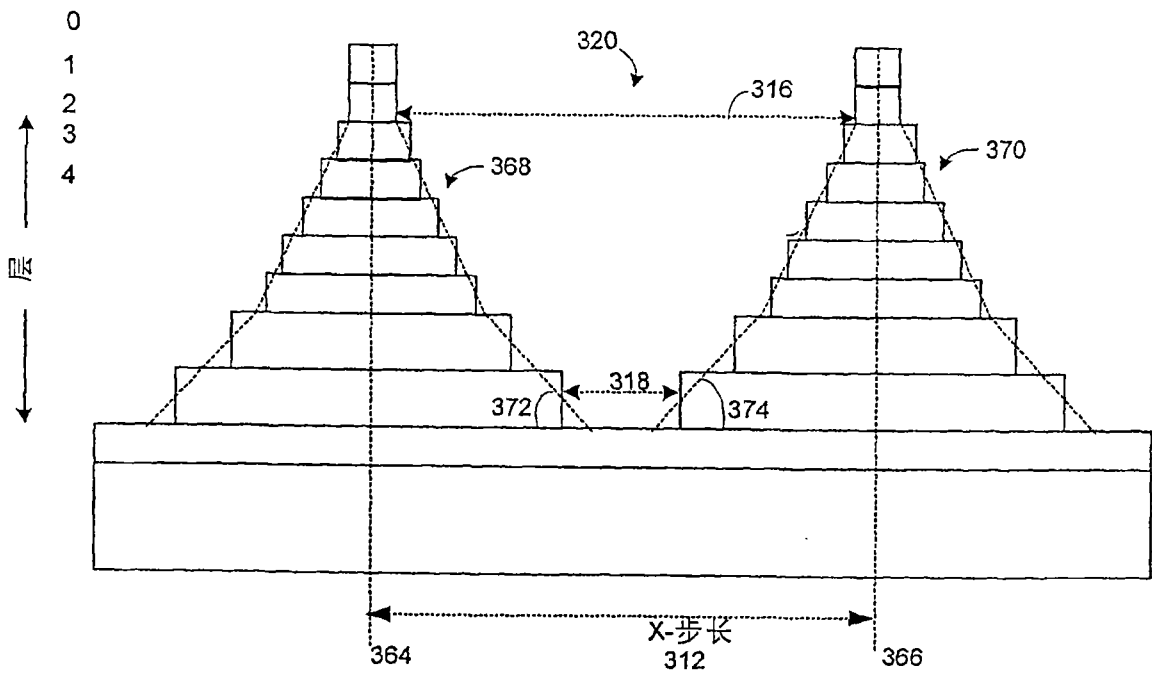


图7B

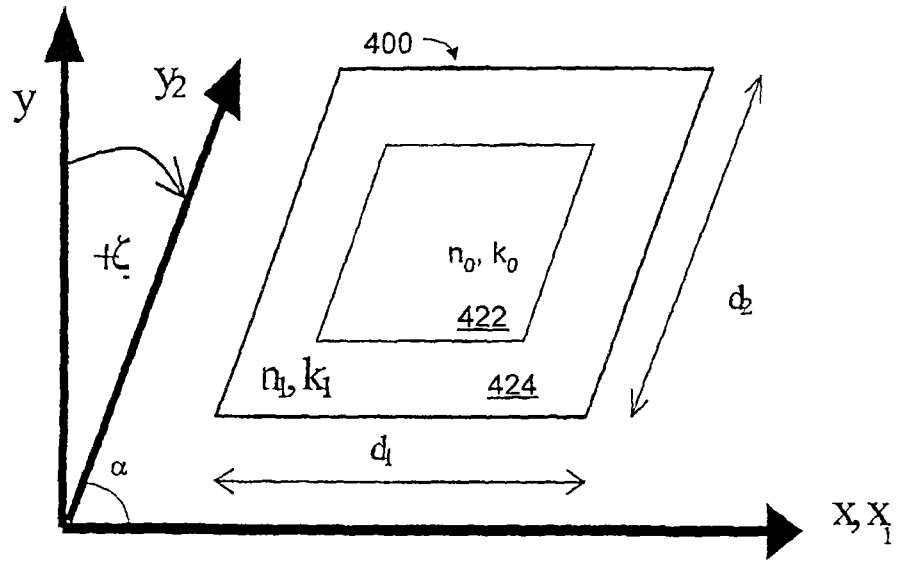


图8

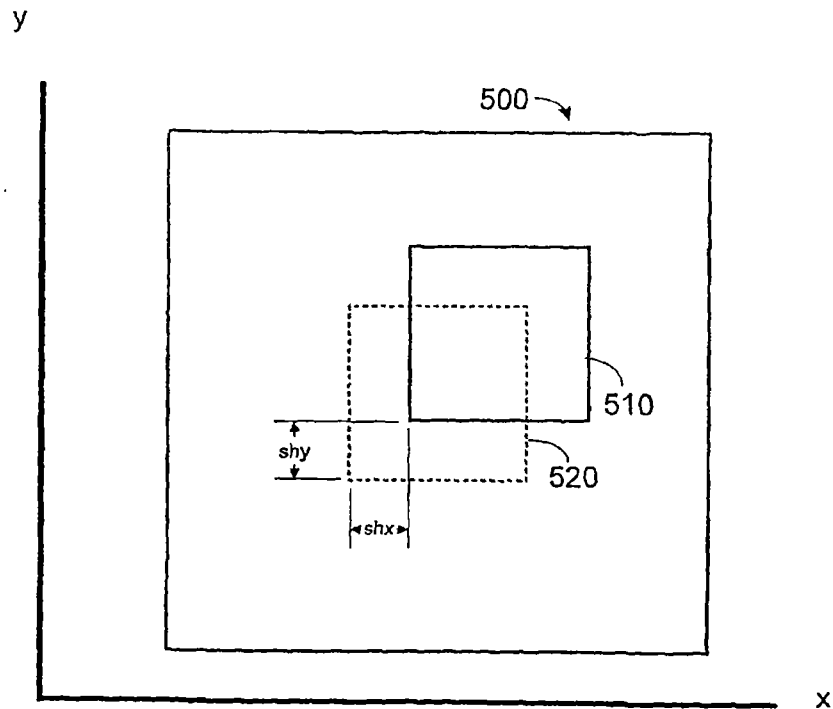


图9

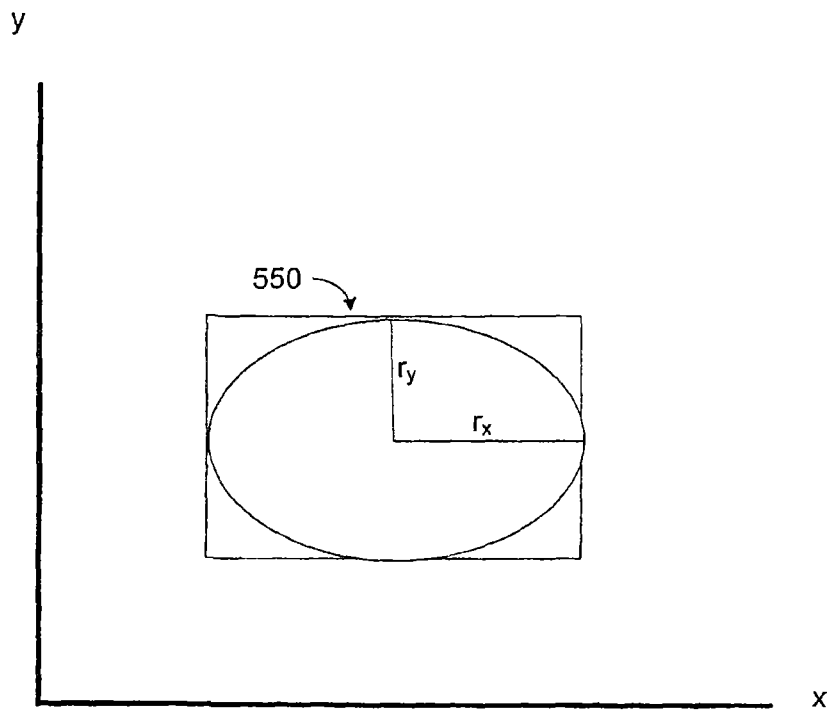


图10A

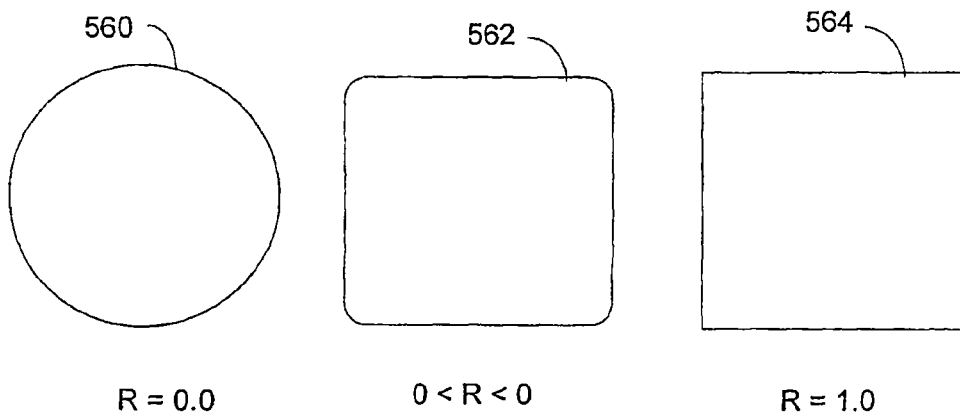


图10B

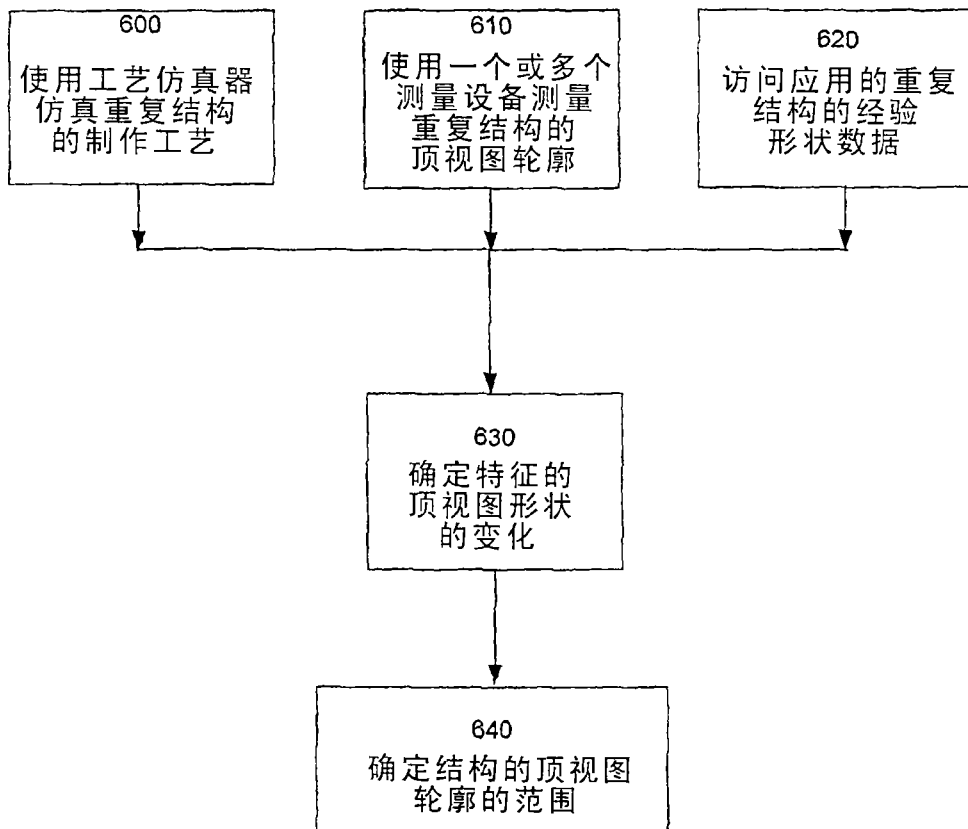


图11

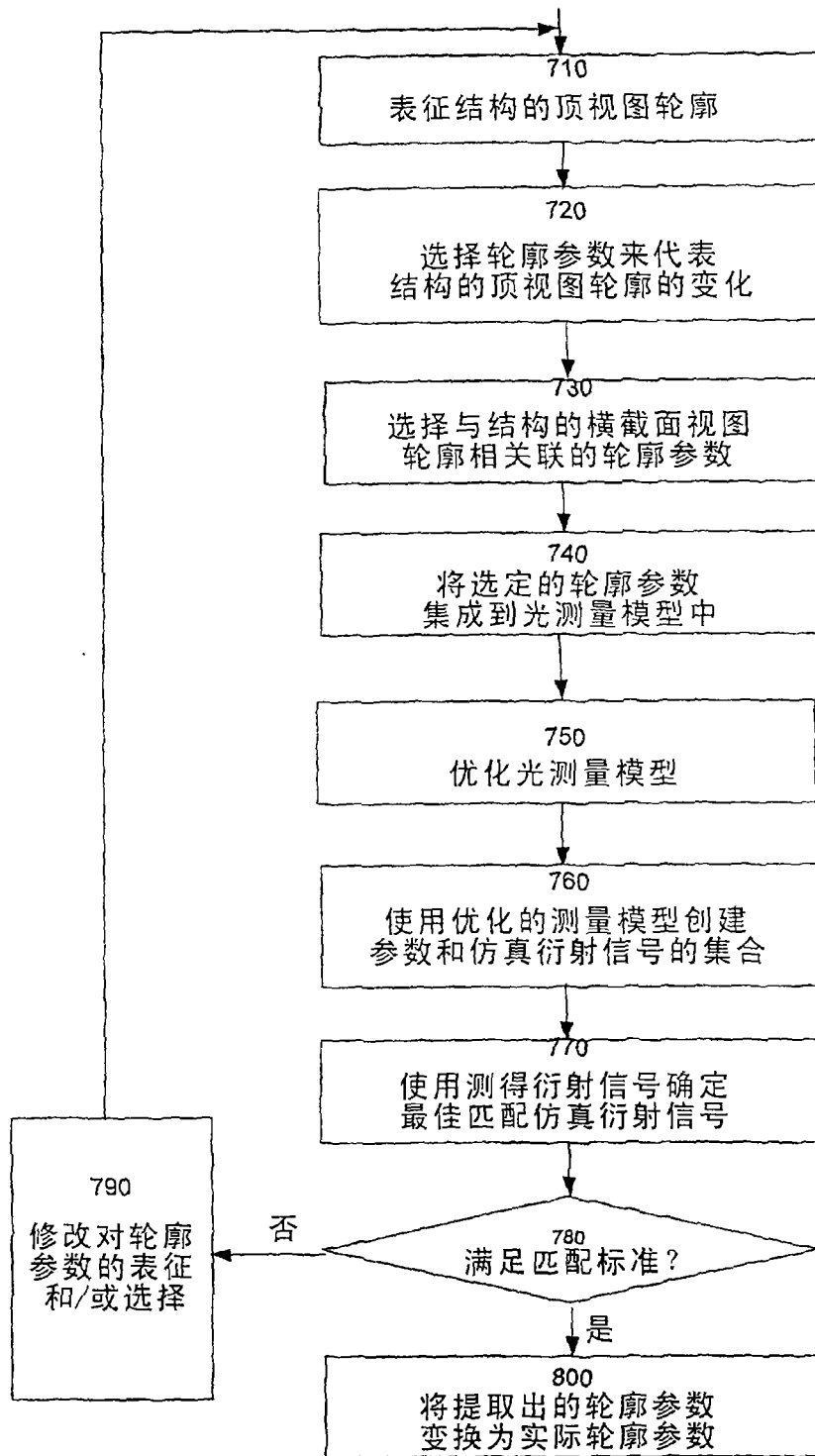


图12

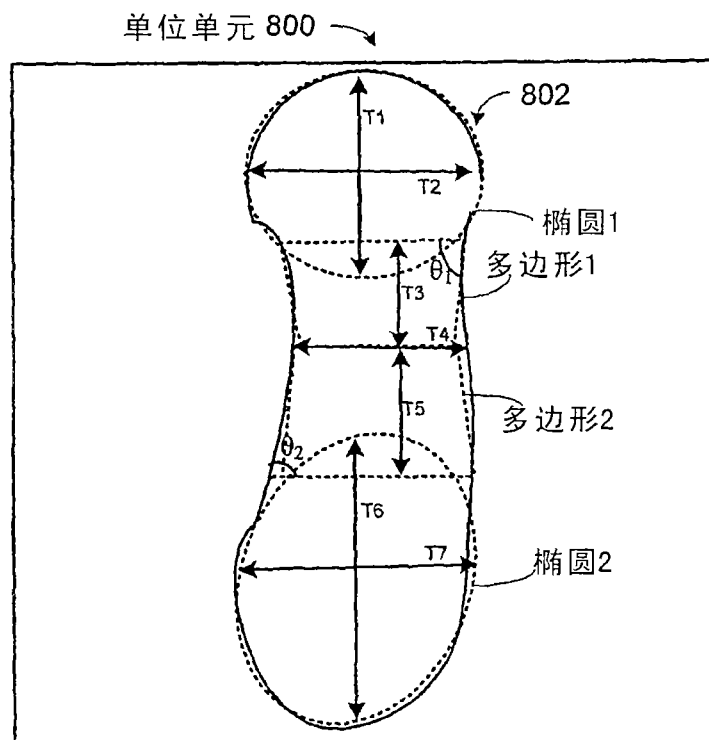


图13

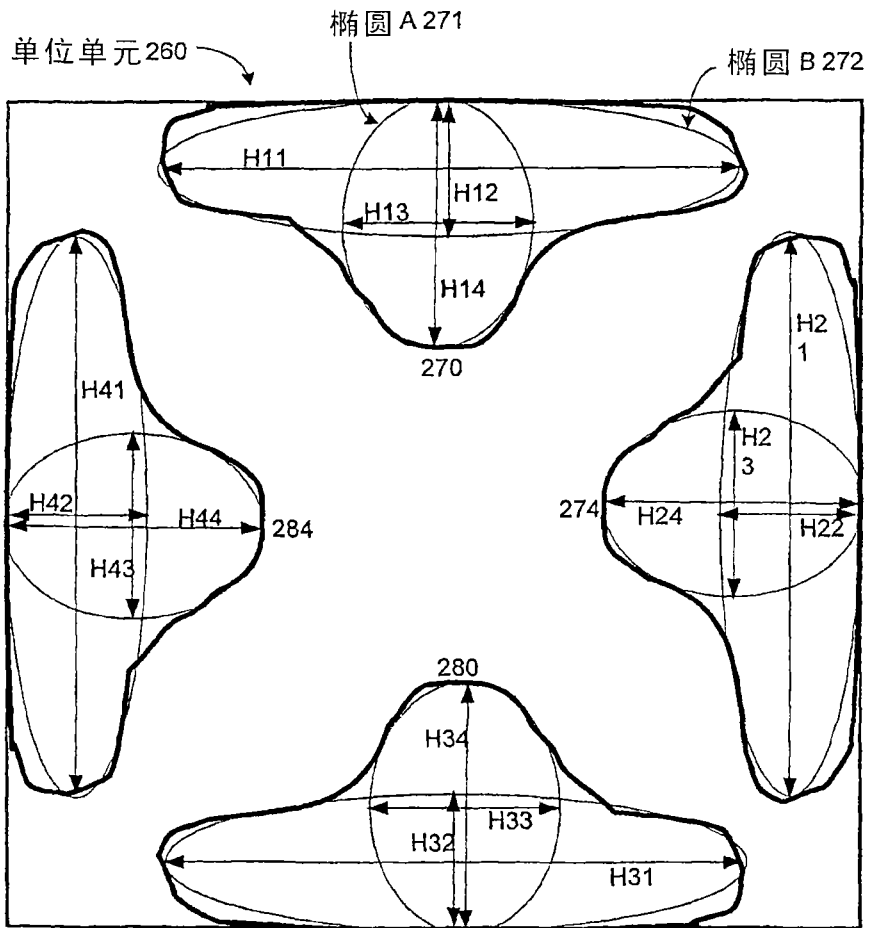


图 14

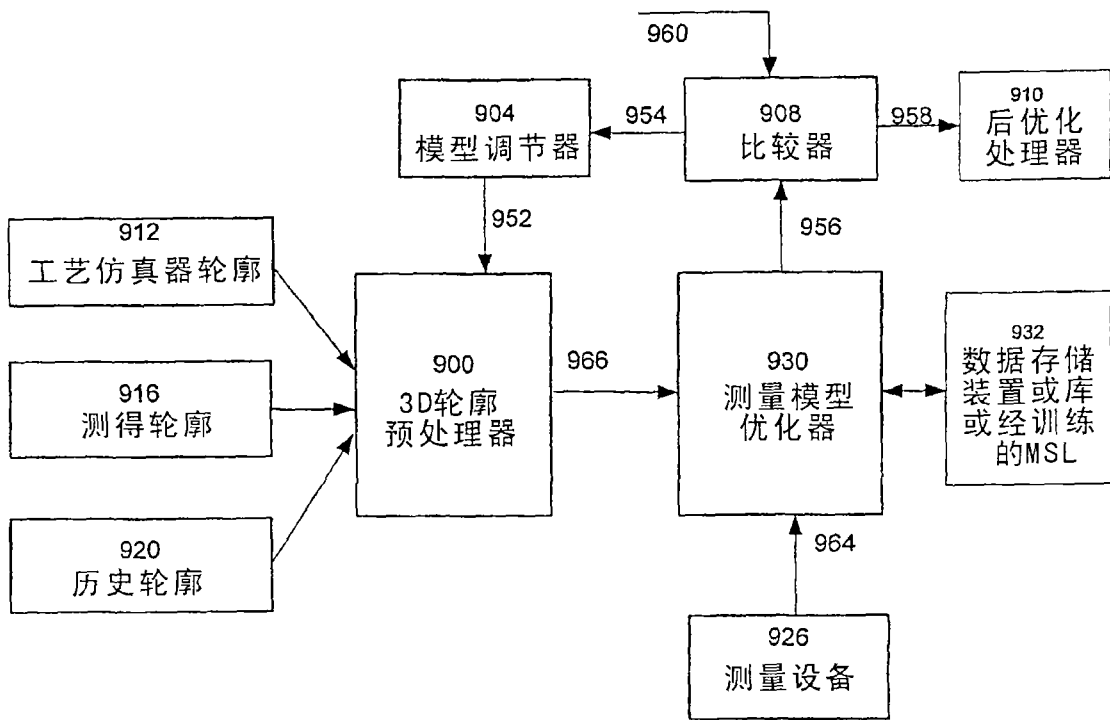


图15