



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102820238 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201210185985.0

(22)申请日 2012.06.07

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 102820238 A

(43)申请公布日 2012.12.12

(30)优先权数据  
61/494828 2011.06.08 US

(73)专利权人 FEI 公司  
地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 R.L.瓦肖尔 R.J.杨 C.吕  
P.D.卡尔森

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001  
代理人 马永利 李家麟

(51)Int.Cl.

H01L 21/66(2006.01)

(56)对比文件

US 2007/0069158 A1,2007.03.29,说明书第【0045】-【0055】,附图6A-6D、7A-7D、8.

US 2007/0069158 A1,2007.03.29,说明书第【0045】-【0055】,附图6A-6D、7A-7D、8.

US 5401972 A,1995.03.28,说明书第3栏第53行-第6栏第14行.

US 2010/0092070 A1,2010.04.15,全文.

US 2008/0061219 A1,2008.03.13,全文.

US 2005/0264445 A1,2005.12.01,全文.

US 2003/0001109 A1,2003.01.02,全文.

US 2008/0067369 A1,2008.03.20,全文.

审查员 仵乐娟

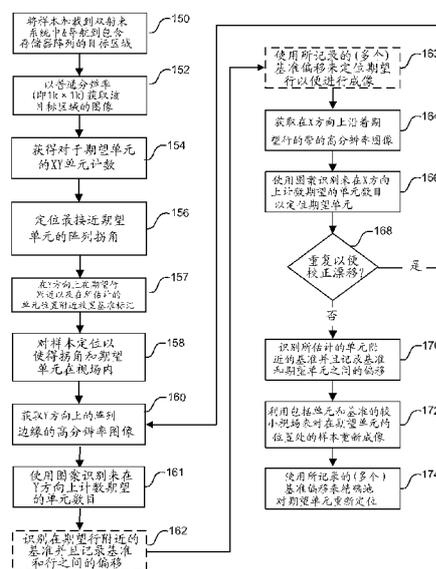
权利要求书2页 说明书18页 附图14页

(54)发明名称

用于局部区域导航的高精度射束放置

(57)摘要

本发明涉及用于局部区域导航的高精度射束放置。描述了在半导体芯片制造领域中用于局部区域导航的高精度射束放置的改进的方法。本发明的优选实施例还可以被用于迅速导航到存储器阵列或类似结构中的一个单个单元，以便例如表征或校正该单独单元中的缺陷。使用高分辨率扫描来(沿着X轴和Y轴中的任一个)扫描阵列的一个边缘上的单元“带”以定位包含期望单元的行，之后是沿着所定位的行(在剩下的方向上)的类似高速扫描直到到达期望的单元位置为止。这允许使用图案识别工具来自动对导航到期望单元所必需的单元“计数”，而不用花费对整个阵列成像所需的大量时间。



1. 一种用于到样本表面上的单元阵列内的具有已知单元地址X、Y的感兴趣特征的高精确度射束放置和导航的方法,包括:

将样本加载到粒子束系统中;

导航到包含感兴趣特征的阵列的部分;

用带电粒子束扫描含有所述感兴趣特征的所述样本的表面,由此获得具有大于所述阵列中的单元的最大特征尺度的图像像素尺寸的所述阵列的第一图像;

在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准;

其特征在于:

用所述带电粒子束沿着所述阵列的边缘扫描边缘带,由此获得边缘带图像,所述边缘带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述边缘带图像在长度上为至少X个单元并且显著小于第一图像中的视场;

分析图像数据来沿着该阵列的边缘自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置;

用所述带电粒子束沿着所述阵列的期望的行扫描行带,由此获得沿着所述期望的行的行带图像,所述行带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述行带图像在长度上为至少Y个单元并且显著小于第一图像中的视场,并且所述行带图像包括至少一个基准和感兴趣特征;

分析图像数据来沿着所述期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置;以及

确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中在样本表面上形成至少一个基准包括通过聚焦离子束溅射、利用离子束的表面着色、带电粒子束诱导气体辅助蚀刻、或带电粒子束诱导气体辅助沉积中的至少一个来在样本表面上形成至少一个基准。

3. 根据权利要求1所述的方法,还包括:在自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置的步骤之后,确定第一基准和期望行之间的偏移。

4. 根据权利要求1所述的方法,还包括:在确定基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移之后,使用较小的视场来对所述样本重新成像,所述较小的视场包括基准和单元地址X、Y的位置,并且使用先前确定的所述基准和单元地址X、Y之间的偏移来在具有较小视场的图像中定位单元地址X、Y。

5. 根据权利要求1所述的方法,还包括:在确定单元地址X、Y的位置之后,以及在确定基准和单元地址X、Y的位置之间的偏移的步骤之前,通过重复下述步骤来补偿系统漂移:获得边缘带的图像;沿着该阵列的边缘自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置;获得沿着该期望行的行带图像;以及沿着该期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置。

6. 根据权利要求1至5中的任一项所述的方法,还包括:在确定基准和单元地址X、Y的位置之间的偏移之后,移动工作台或者改变焦点或视场;对该阵列的至少一部分重新成像;在该阵列的至少一部分的图像中识别所述至少一个基准;以及根据所确定的偏移来确定单元地址X、Y的位置。

7. 根据权利要求1至5中的任一项所述的方法,其中样本表面上的单元阵列包括半导体

晶片上的存储器阵列。

8. 根据权利要求1或2所述的方法,其中在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准包括在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近但与其分离的位置处形成至少一个基准。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近但与其分离的位置处形成至少一个基准包括:在所述期望行附近但与其分离地形成第一基准以及在所述所估计的感兴趣特征的位置附近但与其分离地形成第二基准。

10. 根据权利要求1至5中的任一项所述的方法,其中在样本表面上形成至少一个基准包括在将样本加载到粒子束系统中之前在样本表面上形成至少一个基准。

11. 根据权利要求1至5中的任一项所述的方法,其中该阵列中的每个所述单元的最大特征尺度是50nm或更小。

12. 根据权利要求1至5中的任一项所述的方法,其中对于不大于100nm的像素尺寸,所述至少一个基准能够以1K×1K像素的分辨率被容易地区别。

13. 根据权利要求1至5中的任一项所述的方法,其中用带电粒子束沿着所述阵列的边缘扫描边缘带包括扫描具有小于10个单元的宽度的带。

14. 一种用于对样本上的单元阵列内的具有已知单元地址X、Y的感兴趣特征进行精确定位的粒子束系统,包括:

用于支撑样本的可活动样本工作台;

用于产生带电粒子束以对样本成像的粒子束镜筒;以及

计算机可读非瞬时存储器,其存储计算机指令,该指令包括用于控制所述粒子束系统并促使所述粒子束系统执行以下步骤的程序:

(i) 将样本加载到所述粒子束系统中;

(ii) 导航到包含感兴趣特征的阵列的部分;

(iii) 用带电粒子束扫描含有所述感兴趣特征的所述样本的表面,由此获得具有大于所述阵列中的单元的最大特征尺度的图像像素尺寸的所述阵列的第一图像;

(iv) 在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准;

其特征在于:

(v) 用所述带电粒子束沿着所述阵列的边缘扫描边缘带,由此获得边缘带图像,所述边缘带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述边缘带图像在长度上为至少X个单元并且显著小于第一图像中的视场;

(vi) 分析图像数据来沿着该阵列的边缘自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望的行的位置;

(vii) 用所述带电粒子束沿着所述阵列的期望的行扫描行带,由此获得沿着所述期望的行的行带图像,所述行带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述行带图像在长度上为至少Y个单元并且显著小于第一图像中的视场,并且所述行带图像包括至少一个基准和感兴趣特征;

(viii) 分析图像数据来沿着期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置;以及

(ix) 确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移。

## 用于局部区域导航的高精确度射束放置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及粒子束系统中的工作台(stage)导航和射束放置,并且特别地涉及使用由FIB或SEM装置进行的高分辨率图像的获取的到样本表面上的感兴趣位点的高精确度局部区域导航。

### 背景技术

[0002] 诸如集成电路制造的半导体制造通常伴随有光刻法的使用。用在被暴露于辐射时改变可溶性的诸如光致抗蚀剂的材料来涂敷正在其上面形成电路的半导体衬底(通常为硅晶片)。位于辐射源与半导体衬底之间的诸如掩模或中间掩模的平版印刷工具投射阴影以控制衬底的哪些区域将被暴露于辐射。在暴露之后,从已暴露或未暴露区域去除光致抗蚀剂,在晶片上留下图案化光致抗蚀剂层,其在后续的蚀刻或扩散过程期间保护晶片的各部分。

[0003] 光刻法过程允许在每个晶片上形成常常也称为“芯片”的多个集成电路器件或机电器件。然后将晶片切割成单独的管芯,每个管芯都包括单个集成电路器件或机电器件。最后,这些管芯经受附加操作并被封装到单独的集成电路芯片或机电器件中。

[0004] 在制造过程期间,暴露和焦点的变化要求连续地监视或测量由平版印刷过程显影的图案以确定图案的尺寸是否在可接受范围内。常常称为过程控制的此类监视的重要性随着图案尺寸变小而显著地增加,尤其是随着最小特征尺寸接近平版印刷过程可获得的分辨率的极限。为了实现更高的器件密度,要求越来越小的特征尺寸。这可以包括互联线的宽度和间距、接触孔的间距和直径以及诸如各种特征的拐角(corner)和边缘的表面几何结构。

[0005] 结果,表面特征的仔细监视变得越来越重要。随着设计规则的缩小,用于处理中的误差的裕度变小。与设计尺度的甚至小的偏差可能不利地影响完成的半导体器件的性能。

[0006] 因此,半导体客户要求高精确度射束放置以对诸如存储器阵列中的单个位误差或用于电路修正的位置之类的特征进行定位。射束移位导航系统遭受样本漂移、位移的非线性,并且通常在视场方面受到限制。在粒子束系统上使用的典型样本工作台仅仅精确到 $\pm 1-2 \mu\text{m}$ 。在没有高精确度工作台(类似于激光编码工作台)的情况下,不可能以100 nm或以下的精确度将该工作台直接驱动至感兴趣的位置。激光器工作台可以具有用于100nm精确度的能力,但是是昂贵的,并且限制系统灵活性,因为该工作台通常不能倾斜,从而损失功能。此外,期望的是在约30nm的精确度内驱动样本工作台,其甚至超过典型激光器工作台的能力。

[0007] 在典型的存储器阵列中,通常期望导航到该阵列中的一个单个位单元,以便例如表征或校正该单独位单元中的缺陷。典型的位单元的尺寸可能为约50nm,而整个阵列可能具有 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 的区域。导航到单独的单元当前通过人工地缓慢移动工作台并且人工地对单元进行计数直到到达期望的位置为止来完成。这样的人工过程花费多达10分钟来驱动到特定单元。例如使用图案(pattern)识别来自动对单元进行计数的自动导航将要求以足够将特征分辨降至单元尺寸(在该示例中降至50nm)的分辨率来对该阵列进行成像。为了具

有足够的分辨率来可靠地对50nm的单元执行图案识别,该阵列优选地要以至少16K(可能高达64K或甚至更高)的分辨率而被成像。100 $\mu\text{m}$ ×100 $\mu\text{m}$ 阵列的这样的高分辨率扫描(64K)(以500ns的停留时间)将花费大约34分钟。

[0008] 因此,仍存在对一种用于到半导体表面上的局部区域内的感兴趣位点的高精确度导航的改进方法的需要,其将允许以超过样本工作台的位置精确度的精确度的射束放置。还存在对在不需要人工计数的情况下允许到阵列中的单个位的迅速导航的高精确度导航的改进方法的需要。此外,存在对此类改进的方法适合于完全或部分自动化的需要。

## 发明内容

[0009] 因此,本发明的目的是提供一种用于到半导体表面上的局部区域内的感兴趣位点的高精确度导航的改进的方法,特别是在诸如FIB或SEM的粒子束系统中。

[0010] 本发明举例说明一种其中倘若在局部区域内存在具有到目标位点的已知坐标关系的可见参考标记则使用成像/图案化技术有可能进行到局部区域内(例如侧面上的200  $\mu\text{m}$ )的感兴趣位点的高精确度导航的方法。首先获取约4096像素宽的目标区域的高分辨率图像。两个或更多对准特征位于目标区域附近。用CAD多边形将感兴趣的区域覆盖到图像上。利用数字变焦来精确地对对准点进行定位并执行两个或三个点CAD多边形重新配准。

[0011] 一旦已经适当地对准了图像和坐标系,则能够经由一个或多个传递(transfer)基准将该对准传递至样本本身。选择感兴趣特征附近的样本上的一个或多个可容易识别的特征并记录(多个)传递基准与感兴趣特征之间的偏移。然后能够基于坐标系对准以更小得多的视场对样本进行重新成像。一旦在第二图像中识别了传递基准,则可以使用记录的偏移来对感兴趣特征进行定位并准确地安置粒子束。

[0012] 根据本发明的优选实施例,大的区域、高分辨率扫描、数字变焦和图像到理想化坐标系的配准的组合使得能够在不依赖于工作台移动的情况下在局部区域周围实现导航。一旦获取了图像,则任何样本或射束漂移将不影响对准。

[0013] 本发明的优选实施例还可以被用于迅速导航到存储器阵列或类似结构中的一个单个位单元,以便例如表征或校正该单独位单元中的缺陷。使用高分辨率扫描,不是扫描整个阵列,而是作为代替仅(沿着X轴和Y轴中的任一个)扫描阵列的一个边缘上的单元“带”以定位包含期望单元的行,之后是沿着所定位的行(在剩下的方向上)的类似高速扫描直到到达期望的单元位置为止。这允许使用图案识别工具来自动对导航到期望单元所必需的单元“计数”,而不用花费对整个阵列成像所需的大量时间。使用本发明的优选实施例,与某些现有技术方法的多于30分钟相比,单个位单元通常可以在小于5分钟内被自动定位。

[0014] 前述内容已相当广泛地概述了本发明的特征和技术优点,以便可以更透彻地理解随后的本发明的详细说明。下面将描述本发明的附加特征和优点。本领域的技术人员应认识到可以容易地利用所公开的概念和特定实施例作为用于修改或设计用于执行本发明的相同目的的其他结构的基础。本领域的技术人员还应实现的是此类等效构造不脱离如所附权利要求所阐述的本发明的精神和范围。

## 附图说明

[0015] 为了更完全地理解本发明及其优点,现在对结合附图进行的以下描述进行参考,

在附图中。

[0016] 图1是示出根据本发明的优选实施例的用于利用无工作台导航的局部区域导航的高精确度射束放置的步骤的流程图。

[0017] 图2示出根据本发明的优选实施例的包括将在初始图像/CAD覆盖图配准中使用的目标和对准特征的样本的图像。

[0018] 图3示出具有覆盖图的图2的图像,该覆盖图示出由被叠加在图像上的CAD数据制备的CAD多边形。

[0019] 图4示出使用数字变焦的较高放大倍率下的图3的图像和CAD覆盖图。

[0020] 图5示出图4的图像,其中,已经选择了CAD覆盖图中的第一点和图像中的相应特征以用于图像和CAD覆盖图的配准。

[0021] 图6示出图4的图像,其中,已经选择了CAD覆盖图中的第二点和图像中的相应特征以用于图像和CAD覆盖图的配准。

[0022] 图7示出图4的图像,其中,已经选择了CAD覆盖图中的第三点和图像中的相应特征以用于图像和CAD覆盖图的配准。

[0023] 图8示出已经完成3点配准之后的图像和CAD覆盖图。

[0024] 图9示出根据本发明的第二带电粒子束图像,其中,该图像具有较小的视场并包括能够被用作传递基准的至少一个特征和感兴趣特征的位置。

[0025] 图10示出根据本发明的带电粒子束图像,其中,已经在感兴趣特征的位置周围对基准框架进行研磨。

[0026] 图11是示出根据本发明的优选实施例的用于局部区域导航的高精确度射束放置的步骤的流程图。

[0027] 图12示出可以用来实现本发明的方面的典型双射束FIB/SEM系统。

[0028] 图13是示出根据本发明的优选实施例的导航到存储器阵列或类似结构中的单个单元的步骤的流程图。

[0029] 图14示出包含各个单元的存储器阵列的示意性表示。

[0030] 图15是图14的存储器阵列的一部分的靠近视图。

[0031] 附图并不意图按比例描绘。在附图中,用相同的数字来表示在各种图中举例说明的每个相同或几乎相同的组件。出于明了的目的,并不是在每个图中都标记了每个组件。

## 具体实施方式

[0032] 本发明的优选实施例是针对半导体芯片制造领域中的用于针对局部区域导航的高精确度射束放置的方法。本发明举例说明了其中即使在工作台/导航系统不能正常地进行高精度导航的情况下也有可能实现到相对较大的局部区域(例如区域 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ )内的感兴趣位点的这种高精度导航的方法。

[0033] 根据本发明的优选实施例,首先获取相对较大的目标区域(包括一个或多个适当对准标记和感兴趣特征的位置的较大区域)的高分辨率图像。例如,适当地高分辨率的区域可能是 $250\mu\text{m}$ 宽,具有约4096像素宽的分辨率。根据一个优选实施例,用CAD多边形来覆盖感兴趣的区域并执行两个或三个点CAD多边形重新配准。然后利用数字变焦来精确地对包含感兴趣特征的区域进行定位。能够针对更大的精确度来执行附加CAD配准过程。然后在感兴

趣特征附近定位或产生一个或多个适当的传递基准,并记录基准与大视场图像中的感兴趣特征之间的偏移。然后获取适合于执行检查/调查的较小视场图像。在此图像中识别传递基准并使用偏移来准确地定位感兴趣特征。

[0034] 大的区域、高分辨率扫描、数字变焦和图像到理想化坐标系的配准的组合使得能够在不依赖于工作台移动的情况下在局部区域周围实现导航。一旦获取了图像,则任何样本或射束漂移将不影响对准。优选实施例因此允许具有低于100nm精确度的到样本上的位点的精确导航—其中某些优选实施例允许30nm内的导航—甚至在没有高精度度工作台/导航系统的情况下。换言之,根据本发明的优选实施例,样本工作台可以具有 $\pm 500$ nm或更大的定位精确度或误差,同时能够对感兴趣特征进行定位,并且能够以 $\pm 100$  nm或更好的定位精确度(即,在100 nm或更小内)相对于样本来安置粒子束。更优选地,能够以 $\pm 30$  nm或更好之内的精确度对感兴趣特征进行定位(即,粒子束系统能够导航到样本上的感兴趣特征的位置)。即使在样本工作台具有 $\pm 100$  nm或更大的定位精确度或误差的情况下,本发明的优选实施例也允许对感兴趣特征进行定位并以 $\pm 300$  nm或更好的定位精确度相对于样本来安置粒子束。

[0035] 本发明的优选方法或设备具有多个新型方面,并且由于能够出于不同的目的在不同的方法或设备中实施本发明,所以不是每个方面都需要存在于每个实施例中。此外,所述实施例的多个方面可以是可单独获得专利的。

[0036] 图1示出了示出根据本发明的优选实施例的用于局部区域导航的高精确度射束放置的步骤的流程图。在步骤10中,通过将样本安装在系统工作台上将样本加载到典型的现有技术带电粒子束系统(诸如在图12中举例说明且下文描述的FIB/SEM)中。根据本发明的优选实施例的带电粒子束系统可以是聚焦离子束系统、电子束系统或双射束FIB/SEM系统。能够手动地或自动地(例如通过自动搬运器系统)加载样本。

[0037] 本发明的优选实施例不要求使用诸如激光器工作台的高精确度工作台。当样本或工件被加载到带电粒子束系统中以进行分析或处理时,将工作台驱动至感兴趣特征的精确位置可能是非常具有挑战性的。典型的样本工作台具有约1-2 $\mu$ m的精确度。换言之,当此类典型工作台被移动至特定坐标时,位置误差可能达到 $\pm 1-2\mu$ m。(当以这种方式来表达时,较大的数字意味着较不精确的工作台。)先进的高精确度工作台是非常昂贵的,诸如能够实现100 nm或以下的精确度内的导航的激光干涉仪工作台(在下文中为“激光器工作台”)。激光器工作台还具有某些重要的缺点,在于其通常不倾斜且其在当前使用中的大多数带电粒子束系统上是不可用的。本发明提供了具有低于100nm精确度的导航方法,其不要求高精度激光器工作台。优选地,本发明的实施例提供了一种使用具有 $\pm 500$  nm的精确度(位置误差)的样本工作台的低于100nm导航或射束放置的方法。更优选地,本发明的实施例提供了使用具有 $\pm 1-2\mu$ m或更大的精确度(位置误差)的样本工作台的低于100nm导航或射束放置的方法。

[0038] 在加载样本之后,在步骤12中,使用已知方法来对准样本,例如通过管芯拐角上的典型的三点锁。还可以手动地(例如通过操作员使用光学显微镜)或者自动地(例如通过使用对样本的凹口或扁平边缘进行定位以便确定适当取向的自动搬运器机器人)实现此对准。

[0039] 在步骤14中,对所述工作台进行定位,使得感兴趣特征的位置在将被带电粒子束

扫描的目标区域(视场)内。(在某些情况下,感兴趣特征可以实际上在图像中是不可见的,诸如当感兴趣特征被掩埋时。)能够例如通过存储并使用位置坐标或计算机辅助设计(CAD)数据来实现此定位。视场应是足够大的,使得考虑到正在使用的工作台/系统的精确度,保证感兴趣特征在将被成像的区域内,优选地连同适合于在使图像与表示特征在样本表面上的位置的坐标系配准中使用的一个或多个适当对准特征一起(如下文更详细地讨论的)。更优选地,视场将包括适合于用作对准特征的至少三个特征。在样本图像中和坐标系覆盖图中,适当的特征应是可容易地识别的。

[0040] 在步骤16中,用带电粒子束以高分辨率对样本进行成像。图像必须具有充分(足够高)的分辨率,使得像素尺寸与要求的放置精度相当。图像分辨率优选地是足够高的,使得像素尺寸允许识别对准标记并准确地确定其位置。更优选地,分辨率是足够大的,使得像素尺寸是比对准特征的尺寸更小的相同尺寸。例如,在本发明的优选实施例中,这意味着对于250 $\mu\text{m}$ 宽的图像而言,可以使用4096(或更多)像素的分辨率,结果得到尺寸为约50—60 nm的像素。结果,可以容易地识别大于50—60 nm的对准特征。本发明的其它优选实施例使用结果得到的10—100 nm的像素尺寸、更优选地30—60 nm的像素尺寸的图像分辨率。

[0041] 在某些优选实施例中,还可以使用结果得到的比感兴趣特征的尺寸更大的像素尺寸的分辨率,虽然较大的像素尺寸将对位置误差有所贡献。例如,如果在尺寸为30 nm的对准特征的情况下使用在前一段中所述的实施例中的像素尺寸(50—60 nm),则将不可能确定对准特征位于像素内的什么位置。结果,对准特征的位置误差(单独地由像素尺寸产生)可以大到20—30 nm(50—60 nm减30 nm)。由于此精确程度仍比甚至用典型的激光器工作台能够实现的更大,所以在多个情况下此精确程度将是可接受的。

[0042] 在某种形式的坐标系中,目标(感兴趣特征)的位置和优选地对准特征的位置也应是已知的。在优选实施例中,能够从CAD覆盖图(如下文更详细地描述的)或x、y坐标来确定位置,否则,该结构是重复阵列。

[0043] 图像应具有足够的分辨率,使得像素尺寸至少与要求的精度相当。例如,在一个优选实施例中,250 $\mu\text{m}$ 宽的图像将是约4096像素宽,结果得到尺寸约为60纳米的像素。这将适合于对尺寸为60纳米或更大的特征(诸如对准点)进行成像或处理。然而,对于小于60nm的特征而言,将要求较高的分辨率(和结果得到的较小的像素尺寸)。

[0044] 存在视场(也称为水平场宽度或HFW)图像分辨率与像素间距之间的直接平衡: $\text{HFW} = (\text{像素间距}) * (\text{像素数目})$ 。为了在比250 $\mu\text{m} \times 250\mu\text{m}$ 更大得多的区域上导航,在这里举例说明的一些将导致由于较大像素间距和可能扫描失真而引起的可获得的精确度的可能降低,除非图案化引擎的分辨率增加至8k或16k宽的图像。在某些情况下,可能要求映射来理解任何扫描失真/非线性度。

[0045] 图2示出了如上所述的通过将工作台驱动至用于感兴趣特征和将在初始图像/CAD覆盖图配准(下文描述)中使用的三个对准特征的坐标获得的样本的图像。如图2所示,目标201(包含感兴趣特征)和三个对准特征(202、203、204)全部是已经通过经由表面层来研磨而部分地暴露半导体表面上的过孔区。视场应是足够大的,使得考虑到正在使用的工作台/系统的精确度,确保感兴趣特征的位置在将被成像的区域内。例如,在具有样本工作台(其具有 $\pm 2\mu\text{m}$ 的精确度)的粒子束系统中,用于感兴趣特征和分开约2000 nm的三个对准特征的视场应至少为8  $\mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ 以保证感兴趣特征在被成像的视场内。然而,通常,根据本发

明,可以使用约 $125\mu\text{m}\times 125\mu\text{m}$ 的更大得多的视场。

[0046] 再次参考图1,在步骤17中,能够由用于半导体样本上的元件/特征的计算机辅助设计(CAD)数据来构造示出CAD多边形330(表示样本或工件上的特征位置的理想化几何形状)的覆盖图并将其叠加在样本的带电粒子束图像上。在图3中示出了此类坐标系覆盖图。如果需要,可以如下所述地执行CAD覆盖图与图像之间的初始配准。注意,在图3中,由CAD多边形指示的多个半导体特征没有被暴露并仍被掩埋在表面层下面。

[0047] 通常,如图3和4所示,覆盖图相对于图像的初始定位将可能是稍微不准确的。在可选步骤18中,可以使用数字放大来在目标和对准点上进行放大。一旦已经扫描了目标区域,则数字变焦的使用允许用户“导航”已扫描的图像以对基准或感兴趣特征进行定位。与将通过移动工作台并对样本进行重新成像来进行导航相比,在图像周围进行导航更快且更加容易得多。数字变焦(例如,图4中的约8:1变焦)允许用户快速地对包含感兴趣特征的大体区域进行定位并然后放大以更准确地对感兴趣特征、与坐标覆盖图一起使用的对准特征和/或如下所述的传递基准进行定位。在图4中,已放大图像使得很明显过孔340未适当地与CAD多边形330对准。

[0048] 在本发明的优选实施例中,数字变焦的使用允许操作员在感兴趣特征处或附近的图像(和CAD覆盖图)上进行放大以便执行图像和覆盖图之间的坐标系配准以便更准确地使图像与CAD覆盖图对准。如本领域的普通技术人员将认识到的,数字变焦的使用帮助克服了能够例如在计算机监视器上在视觉上向人类操作员显示的细节的水平方面的固有限制。然而,在本发明的某些实施例中,可以使用自动化计算机控制来代替人类操作员,例如通过使用诸如图像识别/机器视觉之类的图像数据的计算机分析的方法。对于自动化实施例而言,将很明显不需要数字变焦的使用。

[0049] 然后可以例如通过使用诸如鼠标和屏幕上光标的计算机定位设备来识别坐标系覆盖图上的对准点和相应元素。图5示出重新配准过程中的第一步骤。使用数字放大,用户能够在图像和CAD覆盖图上放大,并指定用于图像内的各种区域的局部偏移。正在被数字放大的区域在缩略图551中被示为方形550。如图5所示,图像已在对准点202处被数字地变焦。再次参考图1,在步骤20中一如图5所示一操作员可以(用鼠标或其它适当的定位设备)点击CAD多边形330中的一个的中心544并然后点击样本图像中的相应特征(过孔340)的中心542。然后针对如图6所示的对准特征204(步骤22)和如图7所示的对准特征203(步骤24)重复该过程。

[0050] 一旦已经识别了坐标系覆盖图中的对准特征和相应元素的位置,则然后可以在步骤26中测量图像上的对准点与CAD覆盖图之间的目标区域中的偏移或覆盖图误差。图4中的误差在目标区域中约为 $1.4\mu\text{m}$ 。为了修正此误差,将在步骤28中执行三点重新配准,并对CAD覆盖图进行拉伸、旋转和/或移位以产生与图像的匹配。

[0051] 如本领域的普通技术人员将认识到的,CAD覆盖图与图像之间的偏移误差可能起因于许多源:仅举几个例子,原始工作台锁中的操作员误差、FIB图像的不精确校准(放大和/或旋转)、局部管芯变形或离子柱偏转系统中的非线性度。无论误差源是什么,通常不可能实现CAD覆盖图与大视场FIB图像内的每个点之间的完美的对应。此问题的一个解决方案是根据需要执行对CAD覆盖图进行拉伸、移位和/或旋转以产生特定FIB图像的自定义匹配的3点重新配准。在授予俄勒冈州希尔巴罗市的FEI公司(也是本发明的受让人)且通过引用

结合到本文中的授予Lindquist等人的美国专利No.5,541,411(对于“Image-to-Image Registration Focused Ion Beam System”)中详细地讨论了这种类型的图像配准。

[0052] 如Lindquist所述和图5—8所示,配准操作包括选择例如粒子束图像上的三个点和将被对准的另一图像(根据本发明的优选实施例,诸如CAD覆盖图)上的三个相应点。可以经由与来自显示器的视觉反馈相结合的鼠标的用来交互地选择对准点。例如,如果对准点R1、R2和R3被选择为粒子束图像中的可见的对准点,则在期望其配准的坐标系覆盖图上选择三个相应的点(C1、C2、C3)。一旦选择了图像和坐标系中的相应点,则该过程确定参考图像的点(R1、R2、R3)与在先图像上的点(C1、C2、C3)之间的变换T,使得 $T(C1)=R1$ 、 $T(C2)=R2$ 且 $T(C3)=R3$ 。由于在屏幕的特定坐标系内点的坐标位置是已知的,所以容易地用线性代数方法来确定点之间的变换。

[0053] 一旦已经确定了变换操作T,则创建新的空(即空白)图像,然后进入循环并在新的图像中选择第一像素。一旦选择了像素,则进行关于是否所有像素已被处理的确定。如果已经处理了所有像素,则完成配准并退出该过程。然而,如果尚未处理所有像素,则该过程使用坐标变换T来继续并从在先图像中选择相应的像素。然后将来自在先图像的所选像素数据从在先图像读取到新图像的所选像素位置中。如果变换已经映射了处于在先图像边界之外的新图像的所选位置,则在新的图像位置中放置空数据。此空数据可以包括例如空白表示或黑色背景表示。接下来,该过程循环返回,以再次选择新图像中的下一个像素,并且该过程以迭代的方式继续,直至新图像中的所有像素都已被处理的那一时间为止。

[0054] 在优选实施例中,借助于自动化计算机脚本来执行图像和CAD多边形的配准和偏移计算。在配准完成之后,如图8所示,现在适当地对准覆盖图和目标过孔。

[0055] 新的图像可以相对于原始图像稍微倾斜,因为变换操作将供应图像之间的平移、旋转、缩放和倾角差。根据上述步骤,优选地通过选择带电粒子图像和坐标系中的三个相应对准点来实现图像至图像配准,虽然可以使用不同数目的对准点,其中更多的点提供更准确的对准。相应对准点之间的变换被确定并施加于将被配准的图像以产生被适当配准的输出图像。可替换地,改善精确度的可选步骤是对具有接近于目标位点的其它对准特征的附加位点进行成像。然后通过由单独图像所指示的位置取平均值来确定目标位点。此步骤是尤其期望的,以在每个图像使用单个对准特征时提供良好的精确度。由计算机处理器来适当地执行该步骤,其中,各种图像是存储在图像缓冲器中并在适当的显示器上示出的位映射图像。

[0056] 一旦已经适当地对准了图像和坐标系,则需要将该对准“传递”至样本本身。根据本发明的优选实施例,这可以通过使用传递基准来实现。诸如改变视场时的系统漂移和图像移位及缩放差之类的因素使得带电粒子束的定位在纳米尺度是稍微可变的。传递基准的使用允许独立参考点快速地且精确地对感兴趣特征进行定位。传递基准可以是样本上的现有且可容易地识别的特征(如在图像中看到的),或者是作为对准过程的一部分由FIB/SEM产生的一个。适合于用作传递基准的现有特征应是能够被一致地识别的视场内的唯一特征。优选基准还将允许沿着x和y两个方向将射束位置精确地定位。例如,一个适当的基准可能是两条线的交叉点(十字形基准)。适当的基准还可以是样本中的不规则,或者甚至是位于视场内的一块污垢或碎屑。

[0057] 再次参考图1,在步骤30中,在导航到图像内的感兴趣特征的位置之后,在图像中

识别一个或多个适当的传递基准,并记录图像内的感兴趣特征与(多个)基准之间的偏移。此外,数字变焦可以用来将感兴趣特征的位置处的区域的图像放大以帮助适当传递基准的定位。优选地,将使用两个或更多传递基准。通常,使用传递基准的数目越大,感兴趣特征的位置的精确度越大。

[0058] 如果适当的结构未出现在样本的表面上,则在步骤32中,可以在视场内但与感兴趣特征分离的位置处、优选地在将不损坏感兴趣点的位置中产生基准标记。例如,可以通过接近于目标位点的FIB研磨或FIB/SEM沉积来在样本上产生基准标记。可以使用任何适当的方法来产生基准,包括例如聚焦离子束溅射、用离子束进行表面着色、气体辅助蚀刻或沉积或电子束诱导气体辅助蚀刻或沉积。在许多情况下,通过沉积进行的基准形成将是优选的,因为其具有较小的侵入性(产生对样本表面的较少损坏)并提供更好的对比度(因为使用不同的材料)。基准可以由可容易地区别的形状制成,以使得其能够被一致地识别和定位。

[0059] 在产生了适当基准的情况下,在步骤33中,应在产生基准之后对样本表面重新成像。然后可以用新的图像来重复上述对准步骤16—28。

[0060] 在步骤34中,一旦识别了适当的传递基准,则确定并记录传递基准与感兴趣特征之间的偏移(优选地在计算机存储器中)。图9示出其中已经使用上述方法和两个研磨基准104和106来对十字图案的拐角102进行定位的样本。使用本文所述的方法,以实验方式来确定在<100 nm内的拐角102的位置。

[0061] 再次地,产生并使用的基准的数目越大,相对于感兴趣特征的射束放置的精确度越大。在优选实施例中,可以例如通过离子研磨完全在感兴趣特征的位置周围产生框架或方框(虽然如图9所示,在对准标记106而不是感兴趣特征102周围研磨框架基准104)。在图10中示出了此类研磨基准框架,其中,感兴趣掩埋特征(由于表面层而尚不可见)位于基准框架404内。对准特征402、403、404(其已被暴露)在图10中也是可见的。通过使用如图10所示的框架基准,一旦框架内的感兴趣特征被暴露(优选地通过框架内的离开表面层的研磨/蚀刻),可以针对沿着框架的任何点来确定特征偏移,本质上提供能够用来确定偏移的无限数目的基准位置。这提供基准与感兴趣特征之间的偏移的更准确得多的确定。

[0062] 再次参考图1,一旦已经选择或产生了适当的基准,则在步骤36中,在感兴趣特征的位置处对样本进行重新成像。优选地,将显著较小的视场用于此成像步骤。通常,视场将是对于感兴趣特征的期望处理而言典型的一个,例如,10 $\mu$ m $\times$ 10 $\mu$ m视场。能够以较大的置信度来使用比较小视场,因为在上述配准步骤之后,以足够的精确度知道特征的位置以保证特征将在较小的视场内。然后能够在步骤38中在新图像中容易地识别(多个)传递基准。并且在步骤40中,使用(多个)记录的偏移来容易地且准确地对感兴趣特征进行定位。一旦射束被正确地安置,则在步骤42中,可以使用粒子束通过例如研磨样本、向样本上沉积材料或对样本进行成像和执行度量衡学来处理样本。

[0063] 图11是示出根据本发明的另一优选实施例的产生一个或多个样本的步骤的流程图(不使用CAD多边形的视觉覆盖图)。优选地,图11中描述的过程可以是完全或部分地自动化的。

[0064] 在步骤110中,将样本加载到粒子束系统中。例如,适当的样本可以是半导体晶片,其可以被以仅1-2 $\mu$ m的精确度加载到具有样本工作台的双射束FIB/SEM中。然后使用感兴趣特征的已知坐标来对工作台进行定位,使得感兴趣特征在粒子束的视场内。由于典型样本

工作台的低精确度,不能单独使用坐标以足够的精确度来识别感兴趣特征的精确位置。

[0065] 在步骤111中,获取目标区域的高分辨率图像(例如4096像素宽)图像,包括两个或更多对准点(例如,诸如 $200\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ 正方形区域的拐角的可识别特征)。在步骤112中,对适当对准点进行定位。如上所述,可以在样本图像中识别适当的对准特征并在指定特征在样本上的位置的坐标系数据中识别相应的元素(诸如用于特定半导体晶片的CAD数据)。

[0066] 根据本发明的优选实施例,还可以使用图像识别软件来自动地选择适当的对准特征。适当的图像识别软件可从例如马萨诸塞州内蒂克的Cognex公司获得。可以“训练”图像识别软件以通过使用类似特征的样本图像或通过使用来自CAD数据的几何信息来对适当的对准特征进行定位。这在要处理多个类似样本(例如,具有相同设计的大量半导体晶片)的情况下可能是尤其期望的。还可以使用自动化FIB或SEM度量衡学来识别或帮助识别对准特征。度量衡学可以由基于图像的图案识别、边缘发现、ADR、质心计算、斑点等组成。根据本发明的将实现完全或部分自动化图像处理、度量衡学和机器控制的适当软件优选地提供图案识别和边缘检测工具以及“do while(循环结构)”循环能力,诸如也可从本发明的受让人FEI公司获得的IC3D™软件。

[0067] 在步骤114中,如上文更详细地描述的,基于偏移的计算来将对准点的坐标系与图像对准。在步骤116中,使用此对准来计算图像中的期望感兴趣特征的位置。在可选步骤118中,在感兴趣特征的附近执行重新配准。

[0068] 在步骤120中,确定适当的传递基准是否存在于样本表面上。再次地,可以使用图像识别软件来自动地选择传递基准。可替换地,可以最初由“训练的”图像识别软件和操作员来选择适当的传递基准以在后续的本发明中对适当的传递基准进行定位。

[0069] 如果不存在适当的传递基准,则在步骤122中,产生物理基准以允许目标定位。可以例如用如上所述的FIB、SEM或其它已知方法向目标区域的侧面产生基准。与标记的偏移应是足够大的,以保证目标位点将不会被标记损坏或模糊。根据工作台的精确度,可能需要远离感兴趣特征若干 $\mu\text{m}$ 来形成基准。可以由操作员来指定用于产生的传递基准的位置,例如通过使用鼠标来在期望的基准位置周围拖曳虚拟框。然后,自动化度量衡学软件可以精确地测量基准相对于样本位置处的可识别特征的位置(例如,距离特定特征的右边缘15nm)。为了处理后续样本,然后在指定的精确位置处自动地产生基准。还可以使用CAD数据来指定基准位置以指定基准相对于晶片表面上的特定结构的位置。只要传递基准距离感兴趣特征足够远地产生(考虑工作台导航的精确度),就可以用这种类型的自动化过程来安全地产生适当的传递基准。

[0070] 在产生了传递基准的情况下,可以获取第二高分辨率图像并重复过程步骤111—118以便适当地使第二图像(示出传递基准)与坐标系配准。

[0071] 在步骤124中,然后识别适当的传递基准(预先存在或产生的)并记录传递基准与感兴趣特征之间的(多个)偏移。

[0072] 在步骤126中,使用所记录的基准偏移来精确地对感兴趣特征进行定位,使得能够精确地安置粒子束。执行最终对准的一个方法将是例如通过绘制图案框来在高分辨率图像中的基准上产生覆盖图。如果用户现在以较高的放大倍率来获取图像,则能够通过将标记和图案对准(例如通过使用射束移位)来找到目标位点。通过使用此新型工艺,能够对感兴趣特征进行定位并将粒子束放置控制在 $\pm 30\text{ nm}$ 或者甚至更小以内。这允许在步骤128中以

非常精确的射束放置来处理样本,即使样本工作台单独地不能实现此类精确导航。在步骤130中,确定是否要处理其它样本。如果是,则将后续样本加载到粒子束系统中并重复步骤111-130(优选地如上所述自动地)。如果不是,则该过程停止。

[0073] 本发明的优选实施例还可以被用于迅速导航到存储器阵列或类似结构中的一个单个位单元,以便例如表征或校正该单独位单元中的缺陷。典型的位单元的尺寸可能约为50nm,而整个阵列可能具有 $100\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ 的区域。在不具有昂贵的高精确度激光器工作台的系统中,导航到单独单元位置当前通过人工地缓慢移动工作台并且人工地沿着X轴和Y轴二者对单元进行计数直到到达期望的位置为止来完成。这样的人工过程可能花费多达10分钟来驱动到特定单元,并且还倾向于由误计数或偶然未对准产生的误差。平滑轻推工作台可以最小化这样的计数误差,但是这些类型的工作台是昂贵的并且不能被广泛使用。

[0074] 自动导航(例如分析图像数据和/或使用图案识别来自动对单元进行计数)将要求以足够将特征分辨降至单元的最小重复尺度的尺寸(在该示例中降至50nm)的分辨率来对该阵列进行成像。为了具有足够的分辨率来可靠地对50nm的单元执行图案识别,该阵列优选地要以至少16K(可能甚至高达64K)的分辨率而被成像。 $100\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ 阵列的这样的高分辨率扫描(64K)(以500ns的停留时间)将花费大约34分钟。

[0075] 然而,本发明的优选实施例使用高分辨率扫描,不是扫描整个阵列,而是仅(沿着X轴和Y轴中的任一个)扫描阵列的边缘上的单元“带”以定位包含期望单元的行,之后是沿着所定位的行(在剩下的方向上)的单元带的类似高速扫描直到到达期望的单元位置为止。优选地,所述“带”比该阵列的尺寸显著更小。例如,优选的带将小于10个单元宽,更优选地小于5个单元宽。对于典型阵列,这将使得带小于阵列尺寸的10%。这允许使用图案识别工具来自动对导航到期望单元所必需的单元“计数”,而不用花费对整个阵列成像所需的大量时间。使用本发明的优选实施例,单个位单元通常可以在小于5分钟内被自动定位。

[0076] 图13是示出根据本发明的优选实施例的导航到存储器阵列或类似结构中的单个位单元的步骤的流程图。优选地,图13中描述的过程可以是完全或部分自动的。

[0077] 在步骤150中,样本被加载到双射束SEM/FIB粒子束系统中,并且该束系统对准感兴趣的区域。例如,适当的样本可以是具有作为感兴趣的区域的存储器阵列或类似结构的半导体晶片。在步骤152中,SEM被用来对样本成像以便找到并且识别包含期望单元的期望区域(即目标区域)。例如,SEM可以被用来使用 $1\text{K}\times 1\text{K}$ 的普通分辨率来对 $200\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ 的区域成像。不可能在这样的图像中识别出单独50nm的单元,因为像素尺寸将是200nm。图14示出这样的区域1400的示意性表示,在其中各个“方形”表示存储器阵列或类似结构中的各个单元。图15示出虚线框1408内的区域1400的靠近视图。

[0078] 在步骤154中,提供针对期望单元的XY单元计数。例如,视场内的典型单元计数可能是单元 $x=2478, y=399$ ,并且该计数可以由操作员或CAD数据来提供。在步骤156中,例如通过自动软件确定最靠近期望单元的阵列拐角(左下、右下、左上或右上)。接下来,在步骤157中,在衬底上形成一个或多个基准,一个优选地在要被计数的第一“行”附近(例如在行 $y=399$ 上或者靠近行 $y=399$ ),并且一个靠近期望单元的位置。技术人员将识别出要被计数的第一“行”可以是X值或者Y值,其中另一值将被用来沿着所定位的行进行计数以到达所要求的单元位置。因为所要求的单元的精确位置还没有被确定,所以(多个)基准的定位可以是稍微粗略的,只要基准和期望的行/单元位置二者在视场内是确切的。

[0079] 还参考图15,基准标记1410、1412将优选地被放置成使得它们在图像“带”中,但是与期望单元分离(下文讨论),优选地在将不会损坏感兴趣特征的位置中。根据工作台的精确度,基准可能需要被形成为远离感兴趣特征几 $\mu\text{m}$ ,以确保该特征不会被无意地破坏。可以使用任何适当的方法(包括例如聚焦离子束溅射、用离子束进行表面着色、气体辅助蚀刻或沉积或电子束诱导气体辅助蚀刻或沉积)来产生基准。在许多情况下,通过沉积进行的基准形成将是优选的,因为其具有较小的侵入性(产生对样本表面的较少损坏)并提供更好的对比度(因为使用不同的材料)。基准可以由可容易地区别的形状(诸如框或“X”)制成,以使得其能够被相符地识别和定位,尤其在较低分辨率成像扫描中。

[0080] 在一些情况中,可能难以利用足够的分辨率针对基准标记估计期望定位,并且因此可能有必要在合适的“行”和/或期望单元位置已经被确定之后产生基准标记。在这种情况下,在基准和期望的行或单元位置之间的偏移可以被确定之前,应该以高分辨率对样本重新成像以解释样本漂移。

[0081] 在步骤158中,系统(自动或人工)可以定位样本工作台以使得视场的中心处于最靠近的拐角和期望单元位置之间的中间位置。还可能期望的是在某些境况中在该步骤之后产生上文讨论的基准。但是在该情况中,应该至少以较低分辨率(例如以 $1\text{K}\times 1\text{K}$ )来对该视场重新成像以解释该工作台移动中的任何误差。

[0082] 在步骤160中,在最靠近的拐角处开始,沿着阵列的边缘(在X方向或Y方向上)使用高分辨率扫描来获取图像。还参考图14,可以沿着由框1404限定的区域在Y方向上进行高分辨率扫描。优选地,扫描分辨率将是至少 $16\text{K}\times 1\text{K}$ ,这将允许对各个50nm单元的图案识别,因为像素尺寸将降至6nm。因此,在步骤161中,可以使用图案识别软件来计数期望的单元数目(例如使用上述示例在Y方向上399个单元)。在一些优选实施例中,可以随着带被成像来对单元计数。在其他优选实施例中,将对长度明确包括期望行的带成像,并且可以使用图案识别软件来计数图像中的期望的单元数目。

[0083] 一旦识别到合适的行,在步骤162中基准和行之间的偏移可以被可选地记录,以使得当获取下一扫描时该行可以被更容易地重新定位。在具有相对较大数量的样本漂移的系统中,行标记基准是期望的,因为它允许下一成像扫描的精确放置(在可选步骤163中)。在不具有大量样本漂移的系统中,可能不需要行标记基准。优选地,如果需要的话,该行标记基准将被放置在由两个图像带扫描的位置。

[0084] 接下来,在步骤164中,沿着在先前步骤中定位的行(例如在上述示例中在X方向上)使用高分辨率扫描来获取图像。还参考图14,可以沿着由框1406限定的区域在X方向上进行高分辨率扫描。此外,该扫描应该以足够高到允许在阵列的单元上进行图案识别的分辨率。如上所述,至少 $16\text{K}\times 1\text{K}$ 的扫描分辨率将允许各个50nm单元的图案识别,因此允许图案识别软件在步骤166中当对带成像时计数期望的单元数目。例如,使用上述XY坐标,将通过图案识别软件在X方向上计数2478个单元以定位期望单元 $x=2478, y=399$ (在虚线圆圈1407内示出)。为了清楚起见,在图14—15中没有示出在该示例中的所有单元。此外,在一些优选实施例中,可以随着带被成像来对单元计数。在其他优选实施例中,将对长度为明确包括期望单元位置的带成像,并且可以使用图案识别软件来计数图像中的期望的单元数目。

[0085] 为了补偿在先前步骤期间可能的漂移,可能期望重复上述扫描和单元定位步骤。因此,在步骤168中,如果有必要校正可能的漂移,则可以重复步骤160至166。

[0086] 在步骤170中,一旦已经确定期望单元的位置,就会识别出接近期望单元的基准,并且确定和记录该基准和期望单元之间的偏移。(在一些优选实施例中,可以使用接近期望单元的多个基准)。每当这种类型的存储器阵列上的期望位置和基准之间的偏移被确定,该偏移就可以以单元数目来表示(例如向下2个单元并且向右1个单元)。在其他优选实施例中,可以根据绝对距离来表示偏移或者在使用目标的任一侧上的基准时甚至可以将该偏移表示为相对距离。

[0087] 一旦已知期望单元的位置和(多个)基准之间的关系,期望单元就可以被容易地重新定位。典型地,例如具有多达100 $\mu\text{m}$ 宽的视场的图像将不被用于特征的粒子束处理。而使用具有更小视场(例如10 $\mu\text{m}$ )的具有更大放大能力的图像。因此,在步骤172中,可以利用更小视场(包括期望单元和基准二者)以及所使用的记录的偏移来对样本重新成像,以容易地在新图像中定位期望单元(步骤174)。因此,即使工作台被移动或者焦点和/或视场改变,都可以在不对单元进行计数的情况下容易且迅速地重新定位期望单元,即使当以其中各个单元不能被识别出的分辨率来对样本成像时(只要在图像中可以识别出基准即可)。

[0088] 应该指出在一些情况下,上述过程可能被重复多次,其中图像被“缝合”在一起以找出实际的期望单元。例如,在非常大的阵列中,期望单元可能具有 $y=399, x=7500$ 的地址。上述方法可以被用于首先定位单元地址 $y=399, x=2500$ ,并且记录该单元和基准之间的偏移。然后,可以使用该方法的第二迭代以对该阵列的不同部分进行成像以便定位单元 $y=399, x=5000$ ,并且第三定位实际期望单元 $y=399, x=7500$ 。

[0089] 在一些优选实施例中,还可以通过在一次连续扫描中定位期望单元来进一步简化该过程,即使实际上仅扫描了整个阵列的一小部分。例如,本发明的优选实施例可能使用在沿着来自最接近的拐角的对角线计算单元位置(使用XY单元坐标)之后形成的对角线图像。这将仅要求沿着对角线对一个带进行成像,使用图案识别来在该对角线带内执行单元计数,以及在期望单元处或靠近其形成基准标记。如上所述,可以将对角线成像重复两次(或者更多次,如果需要的话)以便验证单元位置并且补偿样本漂移。在另一优选实施例中,沿着阵列的边缘的扫描将被扫描,例如对于沿着边缘的某一距离使用仅几个单元宽的图像,并且然后当接近期望行(感兴趣特征位于其中)时,扫描宽度将被增加到几百个单元,这取决于期望单元的X,Y地址。

[0090] 本发明的优选实施例提供优于现有技术方法的显著时间节省。如上文所讨论的那样,在不使用昂贵激光器工作台的情况下在这样的大存储器阵列中定位特定单元是耗时的过程。人工单元计数可以花费10分钟或者更多,并且倾向于在计数中产生误差,当然这意味着识别到错误的单元。期望尝试通过使用整个阵列(或者甚至仅仅包含感兴趣特征的阵列的一部分)的高分辨率成像来使该过程自动化将甚至消耗更多时间。例如,整个100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 阵列的高分辨率扫描可能花费多于30分钟。然而,使用本发明的方法,阵列中的仅两个单元“带”(或者当该过程被重复以便补偿漂移时四个单独的带)的高分辨率图像所需的时间将仅仅需要大约2分钟(每个带 $\sim 30$ 秒)。添加一分钟来经由GIS沉积形成(多个)基准将带来3-4分钟的总时间。明显地,如上所述时间将被减少,即使进一步仅对一个带(不管是对角线还是L形的)成像。

[0091] 本发明的优选实施例将不会依赖于工作台精确度性能,虽然该方法将使用昂贵的激光器工作台或能够平滑轻推的工作台。这是重要的,因为激光器工作台或平滑轻推的工

作台可能现在还能够工作,但是随着节点和容差继续缩小它将可能不够精确。相比之下,本发明的实施例能够缩放到更小的节点。随着性能需求缩小,典型地有必要相应地增加成像分辨率。本发明的实施例将仍能够被适用,只要可实现的图像分辨率足够大以便允许各个单元的图案识别。尽管本发明的实施例可以与任何类型的成像技术一起使用,但是存在将允许SEM分辨率显著改进的当前开发或使用的许多技术(例如UHR图案、场缝合、射束减速等等)。

[0092] 图12示出可以用来实现本发明的优选实施例的典型双射束FIB/SEM系统210。本发明的一个实施例利用使用垂直于样本表面的平面或倾斜几度的离子束和具有还从离子束的轴倾斜例如52度的轴的电子束的双射束FIB/SEM系统210。在某些实施例中,离子束和电子束能够对准,使得两个射束的视场重合至几微米或更小以内。离子束通常用来对工件进行成像和机械加工,并且电子束主要用于成像,但是还可以用于工件的某些修改。电子束通常将产生比离子束图像更高的分辨率的图像,并且将不损坏类似于离子束的观察表面。由两个射束形成的图像可能看起来不同,并且两个射束因此能够提供比单个射束更多的信息。

[0093] 此类双射束系统可以由离散的组件实现,或者替换地,可以源自于诸如Helios NanoLab™系统(可从俄勒冈州希尔巴罗市的FEI公司获得)的常规设备。还可以使用其它粒子束系统来实现本发明,包括例如诸如仅FIB或SEM系统的单射束系统或具有两个FIB镜筒的双射束系统。

[0094] 聚焦离子束系统210包括具有上颈部212的抽空外壳211,包括提取器电极和静电光学系统的聚焦镜筒216和离子源214位于所述上颈部212内。粒子束218从离子源214通过镜筒216并在示意性地在220处朝着样本222指示的静电偏转装置之间通过,样本222例如包括位于下腔室226内的可活动X-Y-Z工作台224上的半导体器件。可以采用离子泵或其它泵送系统(未示出)来抽口颈部212。在真空控制器232的控制下用涡轮分子和机械泵送系统230来抽口腔室226。真空系统在腔室226内提供在约 $1 \times 10^{-7}$ 托和 $5 \times 10^{-4}$ 托之间的真空。如果使用辅助蚀刻、蚀刻阻燃气或沉积前体气体,则腔室背景压力可能上升,通常至约 $1 \times 10^{-5}$ 托。

[0095] 高压电源234被连接到离子源214以及聚焦镜筒216中的适当电极以便形成离子束218并将其向下指引。依照由图案发生器238提供的规定图案操作的偏转控制器和放大器236被耦合到偏转板220,从而可以控制射束218在样本222的上表面上描绘出相应的图案。在某些系统中,如本领域中众所周知的,将偏转板放置在最终透镜之前。

[0096] 离子源214通常提供镓的金属离子束,虽然可以使用其它离子源,诸如多会切或其它等离子体离子源。离子源214通常能够被聚焦到样本222处的低于十分之一微米宽射束以便通过离子研磨、增强型蚀刻、材料沉积来修改样本222或出于对样本222进行成像的目的。用于检测用于成像的二次离子或电子发射的带电粒子倍增器240被连接到信号处理器242,在那里,来自带电粒子倍增器240的信号被放大、转换成数字信号并经受信号处理。结果得到的数字信号是在监视器244上显示样本222的图像。

[0097] 扫描电子显微镜241以及电源和控制单元245还提供有FIB/SEM系统210。通过在阴极252与阳极254之间施加电压来从阴极252发射电子束243。借助于聚光透镜256和物镜258将电子束243聚焦到细微斑点。借助于偏转线圈260在样本上二维地扫描电子束243。由电源

和控制单元245来控制聚光透镜256、物镜258和偏转线圈260的操作。

[0098] 可以将电子束243聚焦到样本222上,其在下腔室226内的能活动X-Y-Z工作台224上。扫描电子显微镜241产生扫描通过结构的表面(优选地以光栅图案)的细微聚焦电子束243。当电子束243中的电子撞击在工件222的表面上时,发射二次电子和背散射电子。分别地,由二次电子检测器240或背散射电子检测器262来检测这些电子。由二次电子检测器240或背散射电子检测器262产生的模拟信号被信号处理器单元242放大并转换成数字亮度值。可以将结果得到的数字信号作为样本222的图像显示在监视器244上。

[0099] 打开门270以便将样本222插到可以被加热或冷却的工作台224上,并且还用于对内部气体供应贮存器进行维修(如果使用那个的话)。门被联锁,使得如果系统处于真空下,则其不能被打开。高压电源向离子束镜筒216中的电极提供适当的加速电压以便激励离子束218并使其聚焦。

[0100] 气体递送系统246延伸至下腔室226中以便引入并朝着样本222指引气态蒸气。转让给本发明的受让人的授予Casella等人的美国专利No. 5,851,413(对于“Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing”)描述了适当的气体递送系统246。在也转让给本发明的受让人的授予Rasmussen的美国专利No. 5,435,850(对于“Gas Injection System”)中描述了另一气体递送系统。例如,可以递送碘以增强蚀刻,或者可以递送金属有机化合物以沉积金属。

[0101] 系统控制器219控制双射束系统20的各种部分的操作。通过系统控制器119,用户能够通过输入到常规用户接口(未示出)中的命令以期望的方式来促使扫描离子束218或电子束143。系统控制器119还可以包括计算机可读存储器221且可以依照存储在存储器221中的数据或编程指令来控制双射束系统110。存储在存储器221中的关于样本/半导体的CAD数据可以用来产生CAD多边形覆盖图或用来对如上所述的感兴趣特征和对准点或传递基准进行定位的其它位置数据。

[0102] 根据本发明的一些实施例,一种用于到样本表面上的单元阵列内的具有已知单元地址X、Y的感兴趣特征的高精确度射束放置和导航的方法包括:将样本加载到粒子束系统中;以第一图像分辨率获取该阵列的至少一部分的图像,该图像具有足够大的视场以包括感兴趣特征的位置和该阵列的至少一个拐角;在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准;获得沿着该阵列的边缘的边缘带的图像,所述边缘带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述边缘带图像在长度上为至少X个单元并且显著小于第一图像中的视场;使用图案识别来自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置;获得沿着期望行的行带图像,所述行带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述行带图像在长度上为至少Y个单元并且显著小于第一图像中的视场,并且所述行带图像包括至少一个基准和感兴趣特征;使用图案识别来沿着期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置;以及确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移。

[0103] 在一些实施例中,第一图像分辨率足够低使得图像像素尺寸大于该阵列中单元的最大特征尺度。在一些实施例中,获取该阵列的至少一部分的第一图像包括获取至少 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 的区域的图像。在一些实施例中,该第一图像分辨率是 $1\text{K} \times 1\text{K}$ 像素或更低。

[0104] 在一些实施例中,该阵列中的单元的最大特征尺度是50nm或更小并且第一图像分辨率具有200nm或更大的像素尺寸。在一些实施例中,第二图像分辨率足够高使得像素尺寸小于该阵列中单元的最大特征尺度的一半。在一些实施例中,该阵列的单元的最大特征尺度是10nm至50nm并且第二图像分辨率具有小于5nm的像素尺寸。在一些实施例中,第二图像分辨率是16K×1K像素或更高。

[0105] 在一些实施例中,在样本表面上形成至少一个基准包括在样本表面上形成具有以第一图像分辨率能够容易区分的尺寸和形状的至少一个基准。在一些实施例中,所述至少一个基准能够以1K×1K像素的分辨率容易区别。

[0106] 根据本发明的一些实施例,一种用于到样本表面上的单元阵列内的具有已知单元地址X、Y的感兴趣特征的高精确度射束放置和导航的方法包括:将样本加载到粒子束系统中;导航到包含感兴趣特征的阵列的部分;在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准;获得沿着该阵列的边缘的边缘带的图像,所述边缘带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述边缘带图像在长度上为至少X个单元并且显著小于第一图像中的视场;分析图像数据来沿着该阵列的边缘自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置;获得沿着所述期望行的行带图像,所述行带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半,并且所述行带图像在长度上为至少Y个单元并且显著小于第一图像中的视场,并且所述行带图像包括至少一个基准和感兴趣特征;分析图像数据来沿着所述期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置;以及确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移。

[0107] 在一些实施例中,在样本表面上形成至少一个基准包括通过聚焦离子束溅射、利用离子束的表面着色、带电粒子束诱导气体辅助蚀刻或带电粒子束诱导气体辅助沉积中的至少一个来在样本表面上形成至少一个基准。在一些实施例中,在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近但与其分离的位置处形成至少一个基准包括在所述期望行附近但与其分离地形成第一基准以及在所述所估计的感兴趣特征的位置附近但与其分离地形成第二基准。

[0108] 在一些实施例中,该方法还包括:在自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置的步骤之后,确定第一基准和期望行之间的偏移。

[0109] 在一些实施例中,该方法还包括:在确定基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移之后,使用较小的视场来对所述样本重新成像,所述较小的视场包括基准和单元地址X、Y的位置,并且使用先前确定的所述基准和单元地址X、Y之间的偏移来在具有较小视场的图像中定位单元地址X、Y。

[0110] 在一些实施例中,该方法还包括:在确定单元地址X、Y的位置之后,以及在于第四图像中确定基准和单元地址X、Y的位置之间的偏移的步骤之前,通过重复下述步骤来补偿系统漂移:获得边缘带的图像;沿着该阵列的边缘自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置;获得沿着所述期望行的行带图像;以及沿着所述期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置。

[0111] 在一些实施例中,该方法还包括:在于第四图像中确定基准和单元地址X、Y的位置之间的偏移之后,移动工作台或者改变焦点或视场;对该阵列的至少一部分重新成像;在该

阵列的至少一部分的图像中识别所述至少一个基准；以及根据所确定的偏移来确定单元地址X、Y的位置。

[0112] 在一些实施例中，样本表面上的单元阵列包括半导体晶片上的存储器阵列。在一些实施例中，在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准包括在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近但与其分离的位置处形成至少一个基准。在一些实施例中，在样本表面上形成至少一个基准包括在将样本加载到粒子束系统中之前，在样本表面上形成至少一个基准。

[0113] 根据本发明的一些实施例，一种用于到样本表面上的单元阵列内的具有已知单元地址的单元中的感兴趣特征的高精确度射束放置和导航的方法包括：将样本加载到粒子束系统中；导航到包含感兴趣特征的阵列的部分；在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准；获得该阵列中的单元带的图像，所述带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半，并且所述带图像包括感兴趣特征、至少一个基准以及该阵列的至少一个拐角；分析图像数据来自动对该带图像中的单元计数以便确定包含感兴趣特征的单元的位置；以及确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元的位置之间的偏移。

[0114] 在一些实施例中，获得阵列中的单元带的图像包括：沿着该阵列拐角和包含感兴趣特征的单元的位置之间的对角线获得该阵列中的单元带的图像。在一些实施例中，获得该阵列中单元带的图像包括获得该阵列中L状的单元带的图像。

[0115] 在一些实施例中，包含感兴趣特征的单元的位置是单元地址X、Y，并且其中获得该阵列中的L状的单元带的图像包括获得该阵列中L状的单元带的图像，在直到所述带从该阵列拐角接近行X为止它仅几个单元宽，但是在行X处至少为Y个单元宽。

[0116] 根据本发明的一些实施例，用于对样本上的感兴趣特征进行精确定位的设备包括：用于支撑样本的可活动样本工作台；用于产生粒子束以对样本进行成像的粒子束镜筒；以及计算机可读非瞬时存储器，其存储计算机指令，该指令包括用于控制所述设备并促使所述设备执行以下步骤的程序：将样本加载到粒子束系统中；导航到包含感兴趣特征的阵列的部分；在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准；获得沿着该阵列的边缘的边缘带的图像，所述边缘带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半，并且所述边缘带图像在长度上为至少X个单元并且显著小于第一图像中的视场；分析图像数据来沿着该阵列的边缘自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置；获得沿着期望行的行带图像，所述行带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半，并且所述行带图像在长度上为至少Y个单元并且显著小于第一图像中的视场，并且所述行带图像包括至少一个基准和感兴趣特征；分析图像数据来沿着期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置；以及确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移。根据本发明的一些实施例，一种用于对样本上的感兴趣特征进行精确定位的设备包括：用于支撑样本的可活动样本工作台；用于产生粒子束以对样本进行成像的粒子束镜筒；以及计算机可读非瞬时存储器，其存储计算机指令，该指令包括用于控制所述设备并促使所述设备执行以下步骤的程序：将样本加载到粒子束系统中；以第一图像分辨率获取该阵列的至少一部分的图像，该图像具有足够大的视场以包括感兴趣特征的

位置和阵列的至少一个拐角；在样本表面上在所估计的感兴趣特征的位置附近的位置处形成至少一个基准；获得沿着该阵列的边缘的边缘带的图像，所述边缘带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半，并且所述边缘带图像在长度上为至少X个单元并且显著小于第一图像中的视场；使用图案识别来自动计数X个单元以便确定包含感兴趣特征的期望行的位置；获得沿着期望行的行带图像，所述行带图像具有足够高的分辨率使得像素尺寸小于该阵列中的单元的最小重复尺度的一半，并且所述行带图像在长度上为至少Y个单元并且显著小于第一图像中的视场，并且所述行带图像包括至少一个基准和感兴趣特征；使用图案识别来沿着期望行自动计数Y个单元以便确定包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置；以及确定至少一个基准和包含感兴趣特征的单元地址X、Y的位置之间的偏移；以及使用所记录的偏移来控制粒子束相对于样本的放置。

[0117] 虽然本发明的以上描述主要针对用于局部区域导航的高精确度射束放置的方法，但应认识到执行本方法的操作的设备将进一步在本发明的范围内。此外，应认识到可以经由计算机硬件或软件或两者的组合来实现本发明的实施例。根据本说明书所述的方法和图，可以使用标准编程技术（包括配置有计算机程序的计算机可读存储介质）以计算机程序实现所述方法，其中，这样配置的存储介质促使计算机以特定和预定义的方式进行操作。可以以高级面向程序或对象编程语言来实现每个程序以与计算机系统通信。然而，如果需要，可以以汇编或机器语言来实现程序。在任何情况下，语言可以是编译或解释语言。此外，程序可以在专用集成电路上运行，出于该目的来对所述专用集成电路编程。

[0118] 此外，可以在任何类型的计算平台中实现方法，包括但不限于个人计算机、微型计算机、主机、工作站、联网或分布式计算环境、单独地、被集成到带电粒子工具或其它成像设备的计算机平台或与之通信的计算机平台等。可以以存储在存储介质或器件上的机器可读代码来实现本发明的方面，无论其是能移动的还是被集成到计算平台的，诸如硬盘、光学读和/或写存储介质、RAM、ROM等，使得其可被可编程计算机读取，以便在由计算机读取存储介质或器件以执行本文所述过程时配置和操作计算机。此外，可以通过有线或无线网络来传送机器可读代码或其各部分。本文所述的发明包括这些及其它各种类型的计算机可读存储介质（当此类介质包含用于与微处理器或其它数据处理器相结合地实现上述步骤的指令或程序时）。本发明还包括根据本文所述的方法和技术被编程时的计算机本身。

[0119] 可以将计算机程序应用于输入数据以执行本文所述的功能并从而对输入数据进行变换以生成输出数据。输出信息被应用于诸如显示监视器的一个或多个输出设备。在本发明的优选实施例中，变换数据表示物理和有形对象，包括在显示器上产生物理和有形对象的特定视觉描述。

[0120] 本发明的优选实施例还利用诸如FIB或SEM的粒子束设备以便使用粒子束对样本进行成像。用来对样本进行成像的此类粒子固有地与样本相交互，从而导致一定程度的物理转变。此外，遍及本说明书，利用诸如“计算”、“确定”、“测量”、“生成”、“检测”、“形成”等术语的讨论还指的是计算机系统或类似电子设备的操纵被表示为计算机系统内的物理量的数据并将其变换成被类似地表示为计算机系统或其它信息存储、传输或显示设备内的物理量的其它数据的动作和过程。

[0121] 本发明具有广泛的适用性，并且能够提供如以上示例所述和所示的许多益处。本实施例将根据特定的应用而大大地改变，并且不是每个实施例都将提供可由本发明实现的

所有益处并满足可由本发明实现的所有目的。适合于执行本发明的粒子束系统商业上可从例如本申请的受让人FEI公司处购买到。然而,即使大部分前述描述都针对FIB研磨和成像的使用,但用来处理期望样本的射束可以包括例如电子束、激光束或例如来自液态金属离子源或等离子体离子源的聚焦或成形离子束或任何其它带电粒子束。此外,虽然大部分前述描述是针对粒子束系统,但本发明可以应用于采用能活动样本工作台来导航到样本特征的位置的任何适当样本成像系统。

[0122] 虽然大部分前述描述是针对半导体晶片,但本发明可以应用于任何适当的衬底或表面。此外,每当在本文中使用时,那些术语将被理解为包括自动或自动化过程或步骤的手动发起。每当使用计算机处理来自动处理扫描或图像时,应该理解可以在不用一直生成实际可见图像的情况下处理原始图像数据。术语“图像”以不仅包括示出表面的外观的所显示的图像而且包括表征表面上或下的多个点的信息的任何收集的广泛意义来被使用。例如,对应于当粒子束处于表面上的不同点处时所收集的二次电子的数据的收集是“图像”的一种类型,即使该数据不被显示。收集关于样本或工件上的点的信息是“成像”。

[0123] 在以下讨论和权利要求中,以开放的方式来使用术语“包括”和“包含”,并且因此应将其解释为意指“包括但不限于”。术语“集成电路”指的是在微芯片的表面上被图案化的一组电子组件及其互连(共同地为内部电路元件)。术语“半导体器件”一般指的是可以被集成到半导体晶片、从晶片分割(singulate)或被封装以在电路板上使用的集成电路(IC)。术语“FIB”或“聚焦离子束”在本文中用来指任何准直离子束,包括被离子光学装置聚焦的射束和成形离子束。

[0124] 当在本文中讨论系统工作台或射束放置或导航的位置误差或精确度时,术语 $\pm 100\text{ nm}$ (或 $\pm 30\text{ nm}$ 或 $\pm X\text{ nm}$ )意味着射束可以在 $100\text{ nm}$ (或 $30\text{ nm}$ 或 $X\text{ nm}$ )的最大误差内指向样本上的位置。术语“ $\pm X\text{ nm}$ 的精确度”或“ $X\text{ nm}$ 或更好的定位精确度”意味着该精确度为至少 $X\text{ nm}$ 且包括所有更小的值。术语“ $X\text{ nm}$ 或更大的精确度”意味着精确度为至多 $X\text{ nm}$ 且包括所有更大的值。

[0125] 在本说明书中未具体地定义任何术语的程度上,意图是对术语给定其普通且平常的意义。附图意图帮助理解本发明,并且除非另外指明,并不按比例描绘。

[0126] 虽然已详细地描述了本发明及其优点,但应当理解的是在不脱离由所附权利要求定义的本发明的精神和范围的情况下可以对本文所述的实施例进行各种变更、替换和修改。此外,本申请的范围并不意图局限于本说明书中所述的物质、装置、方法和步骤的过程、机器、制造、组成的特定实施例。如本领域的普通技术人员将容易地从本发明的公开认识到的,根据本发明,可以利用执行与本文所述的相应实施例基本上相同的功能或实现基本上相同的结果的目前存在或稍后将开发的物质、装置、方法或步骤的过程、机器、制造、组成。因此,所附权利要求意图在其范围内包括物质、装置、方法或步骤的此类过程、机器、制造、组成。

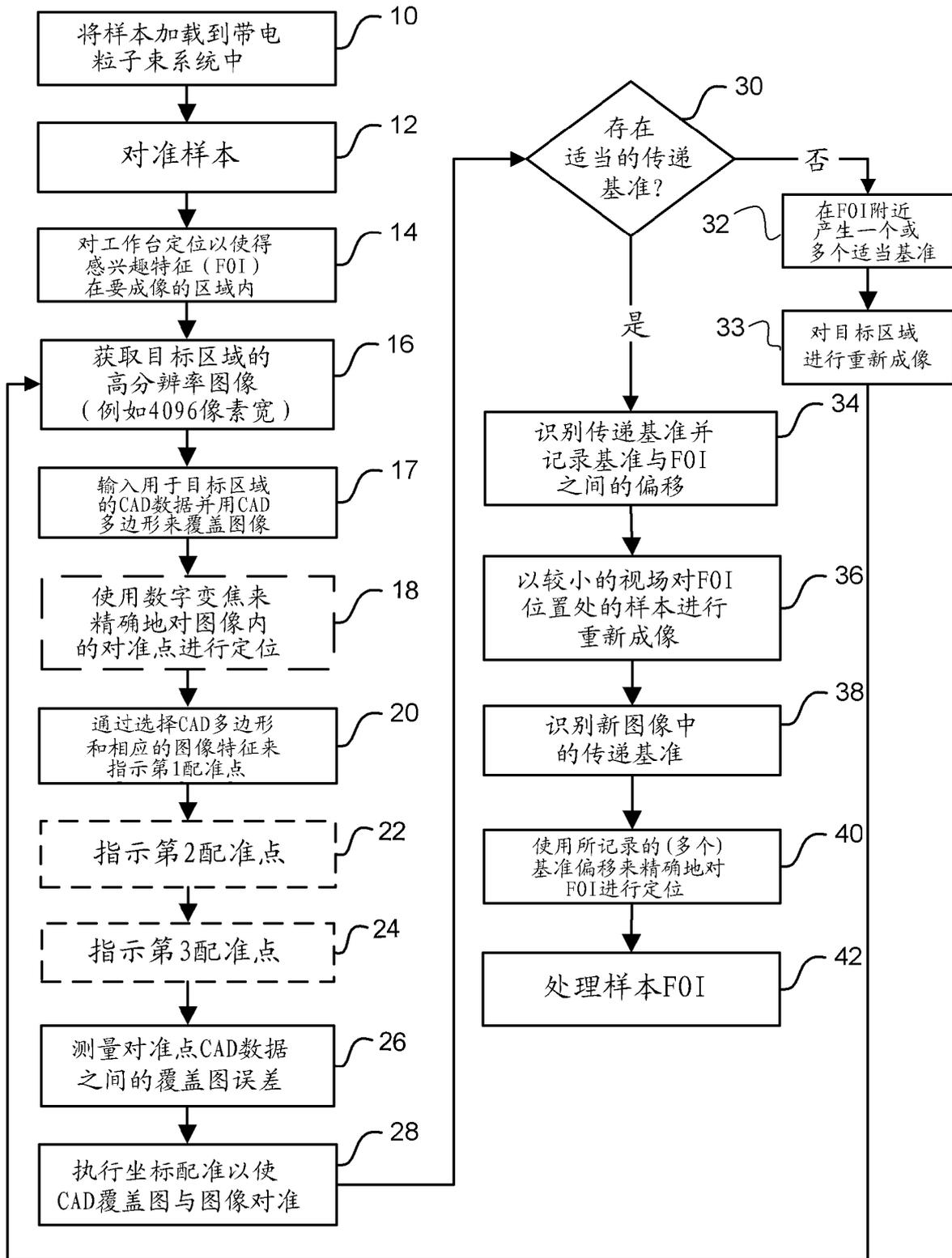


图 1

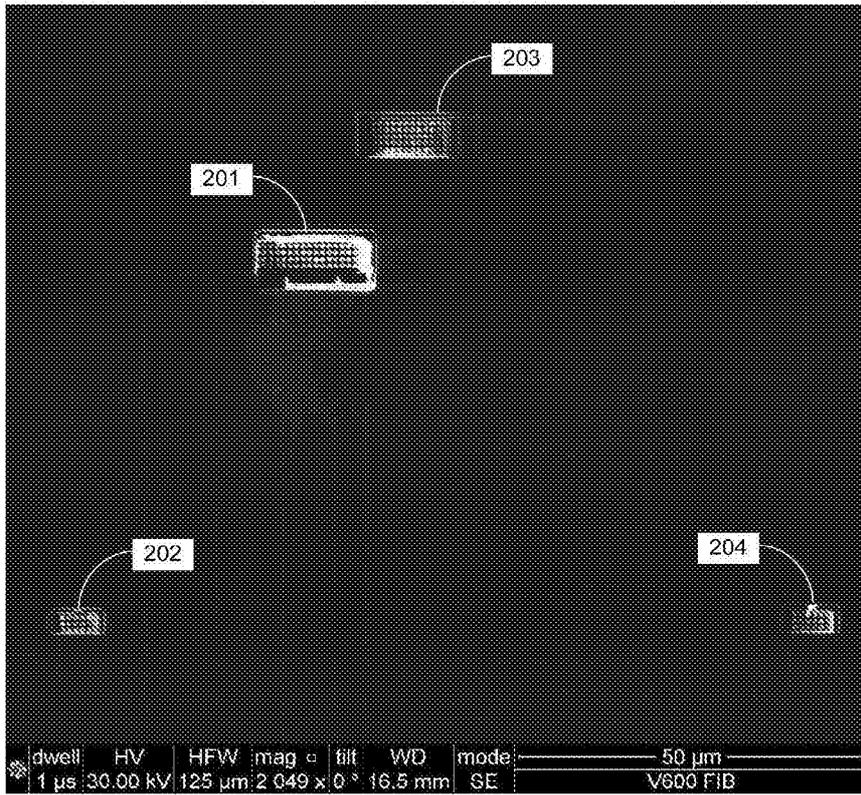


图 2



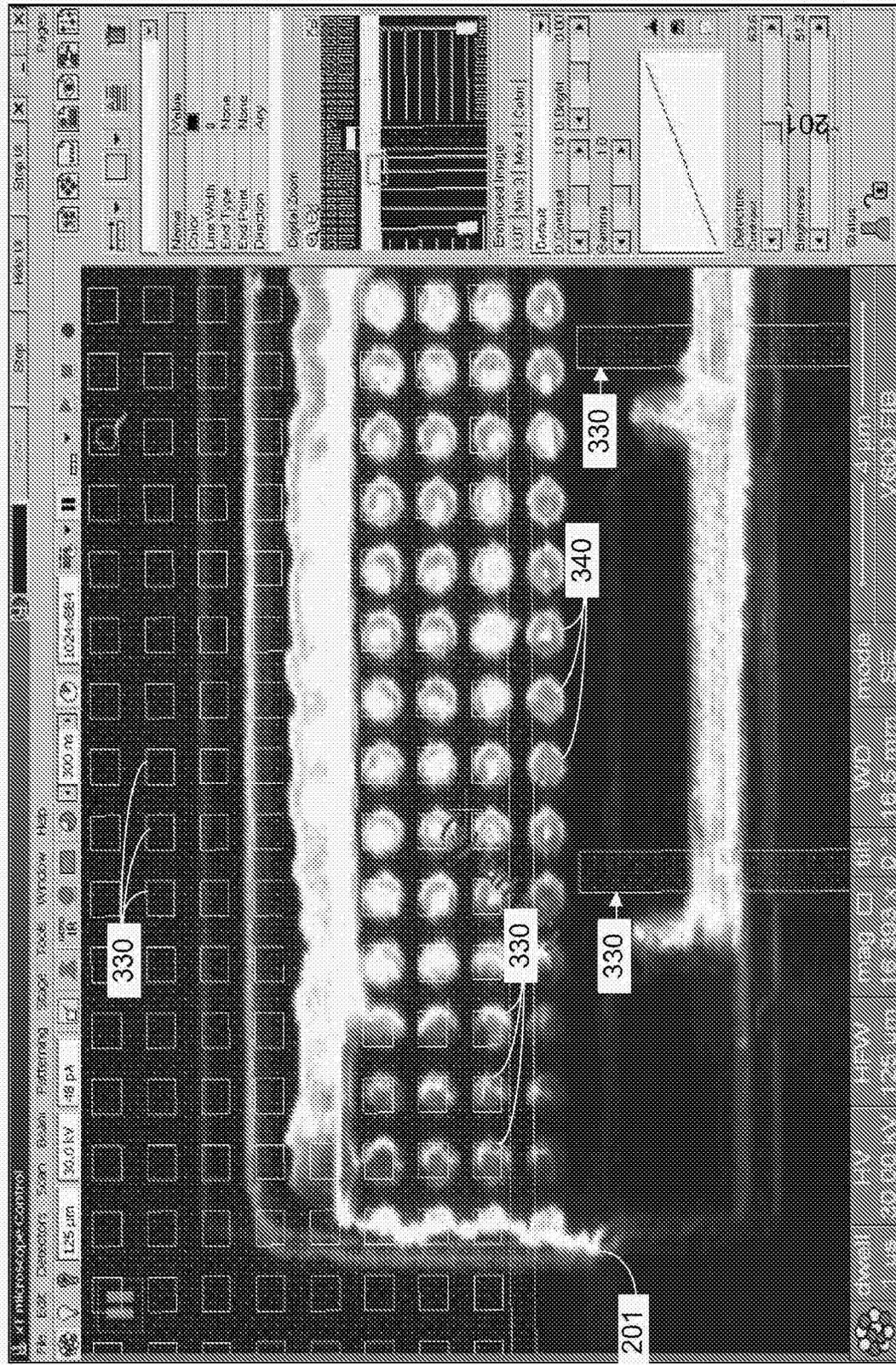


图 4





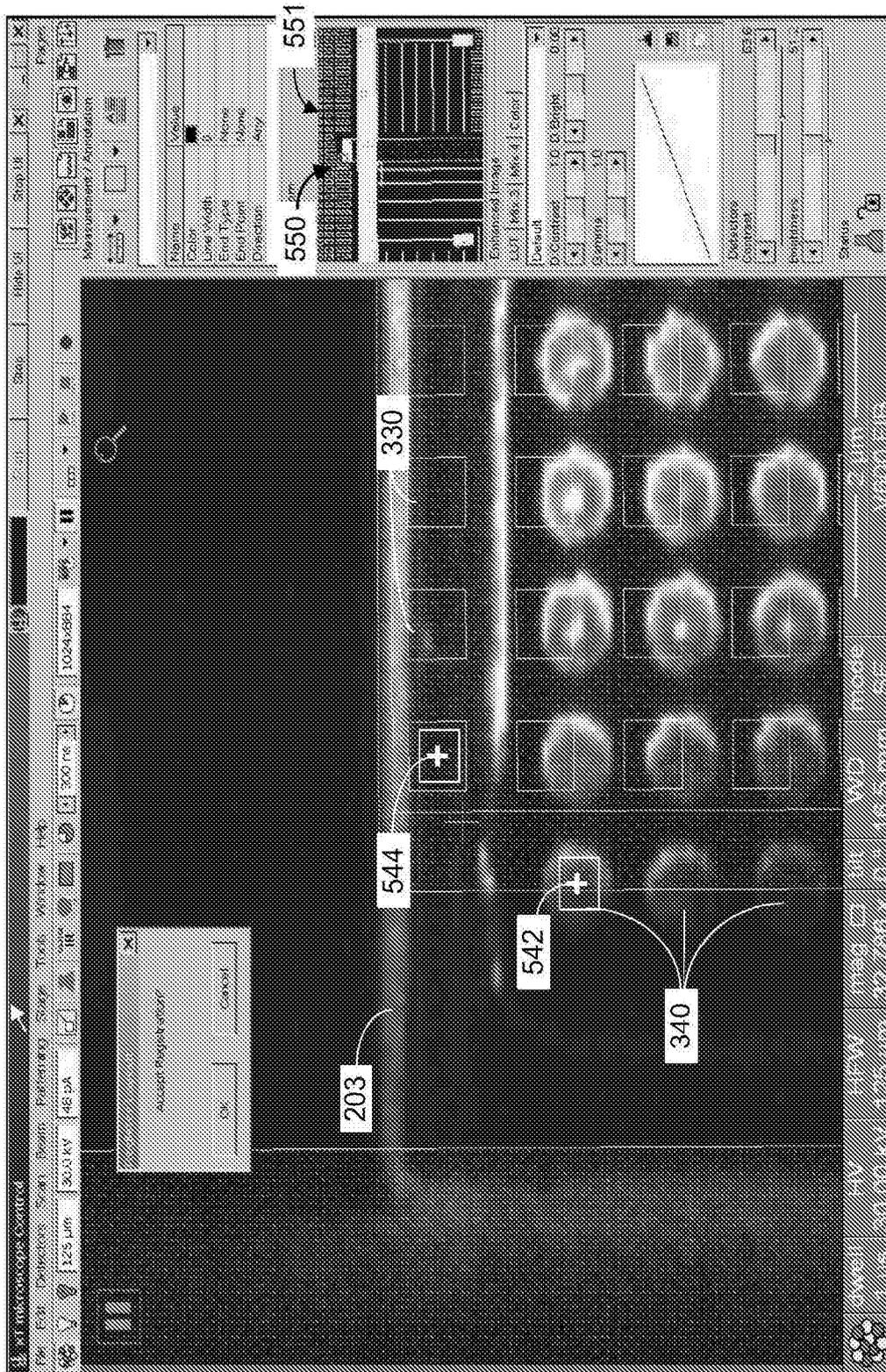


图 7

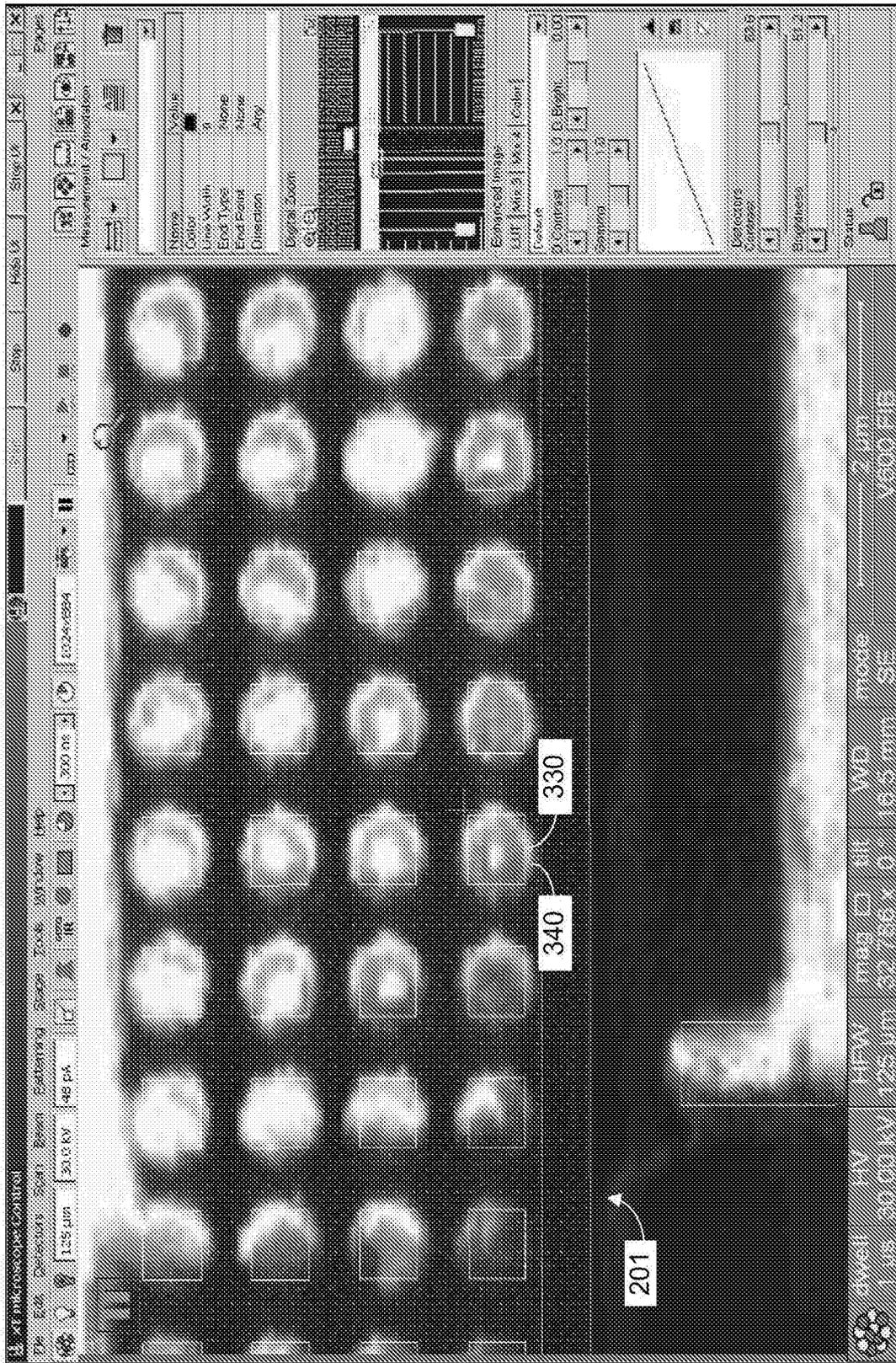


图 8

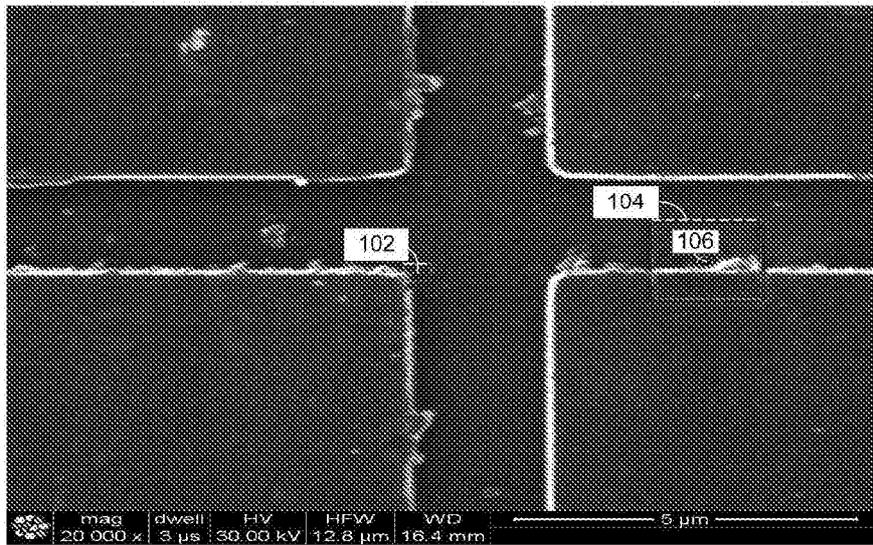


图 9

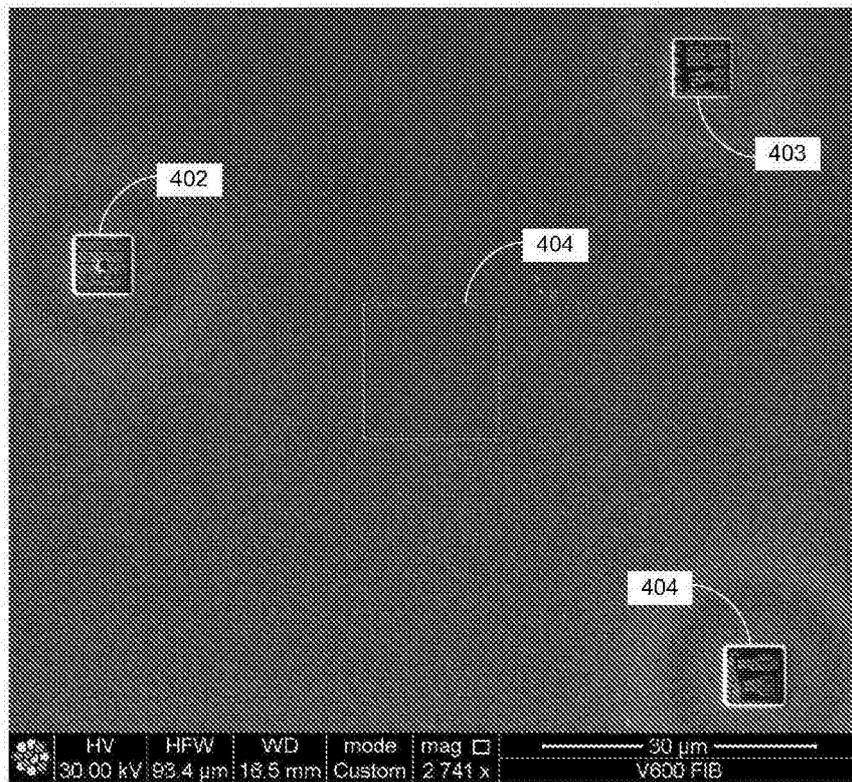


图 10

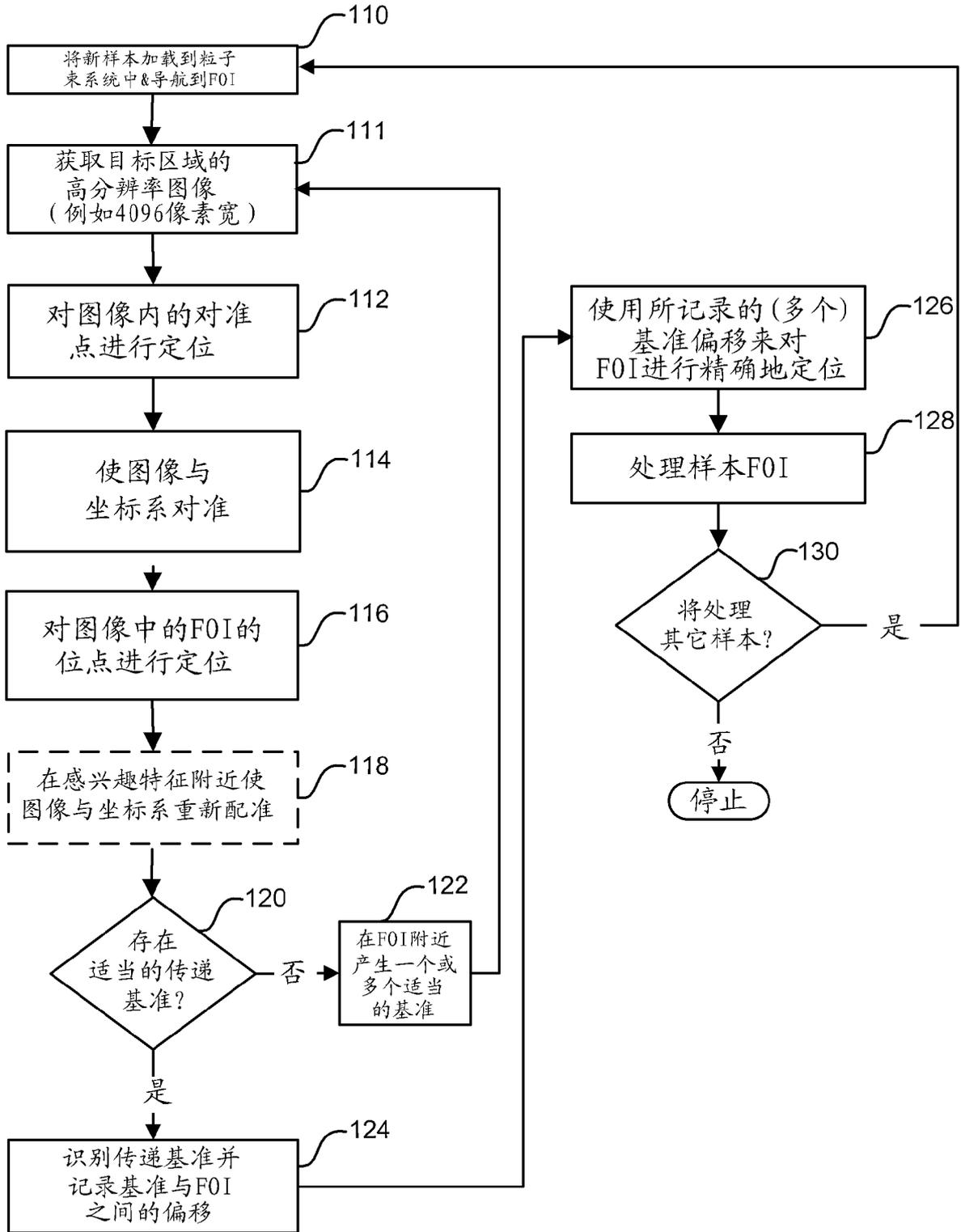


图 11

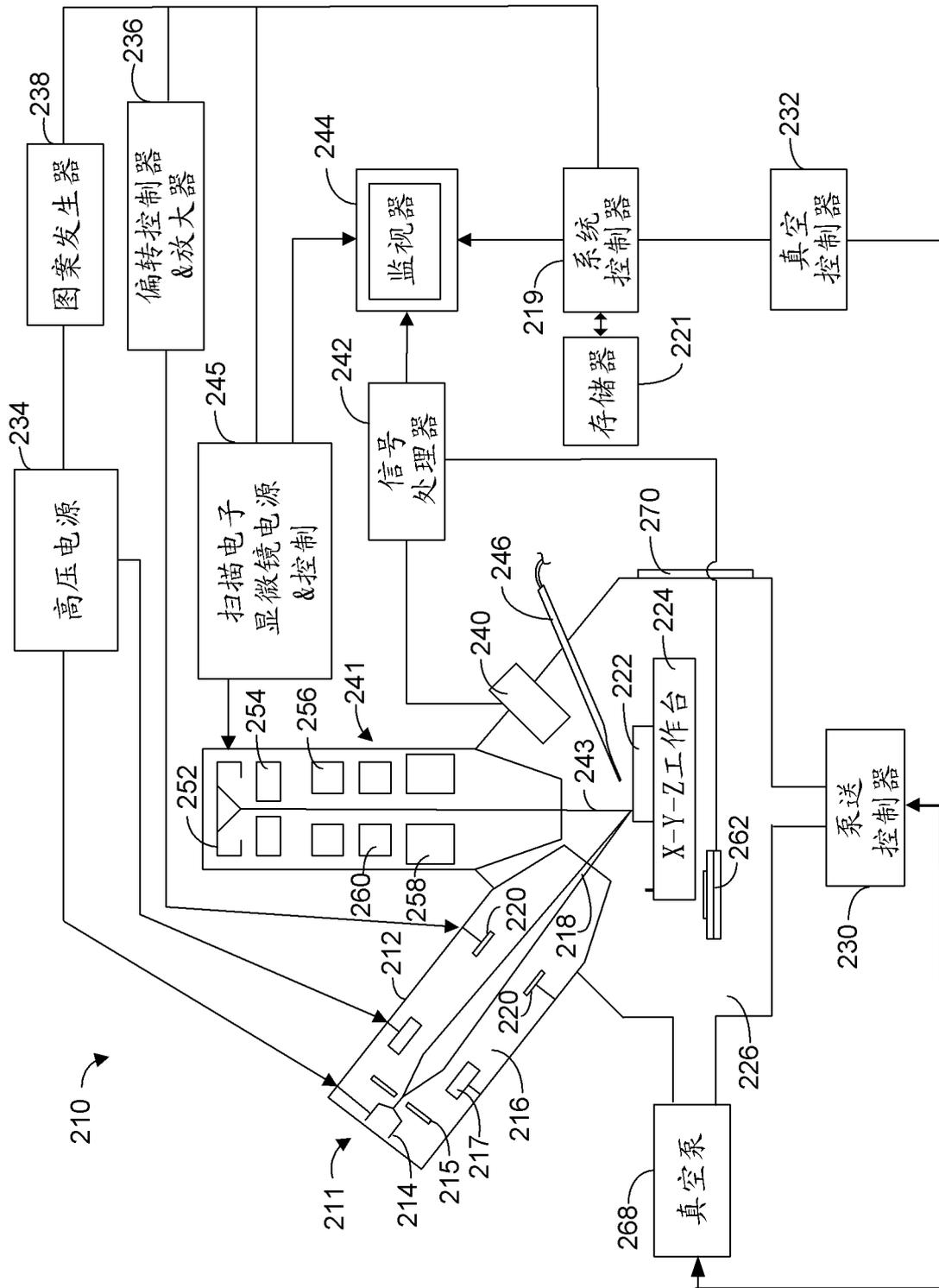


图 12

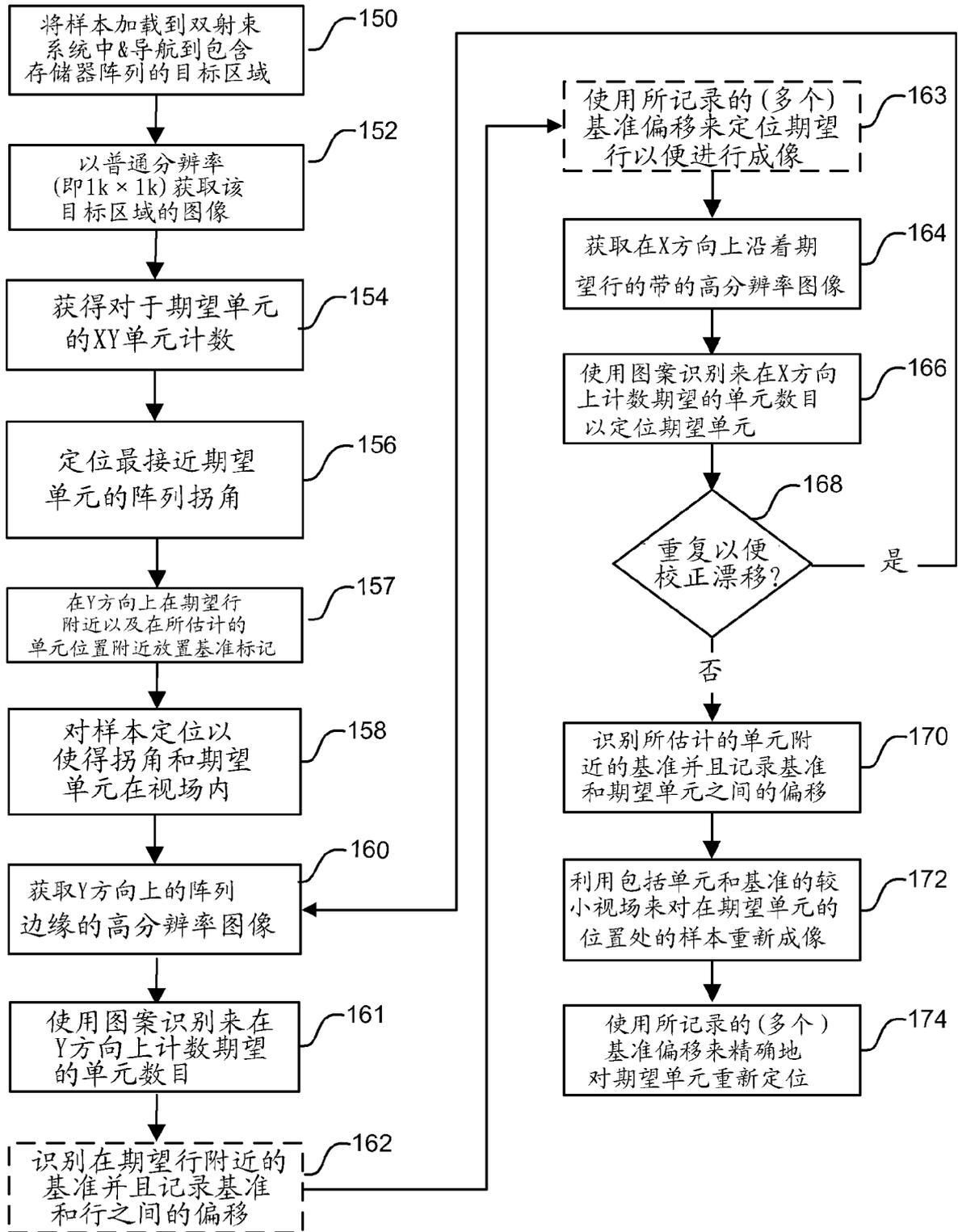


图 13

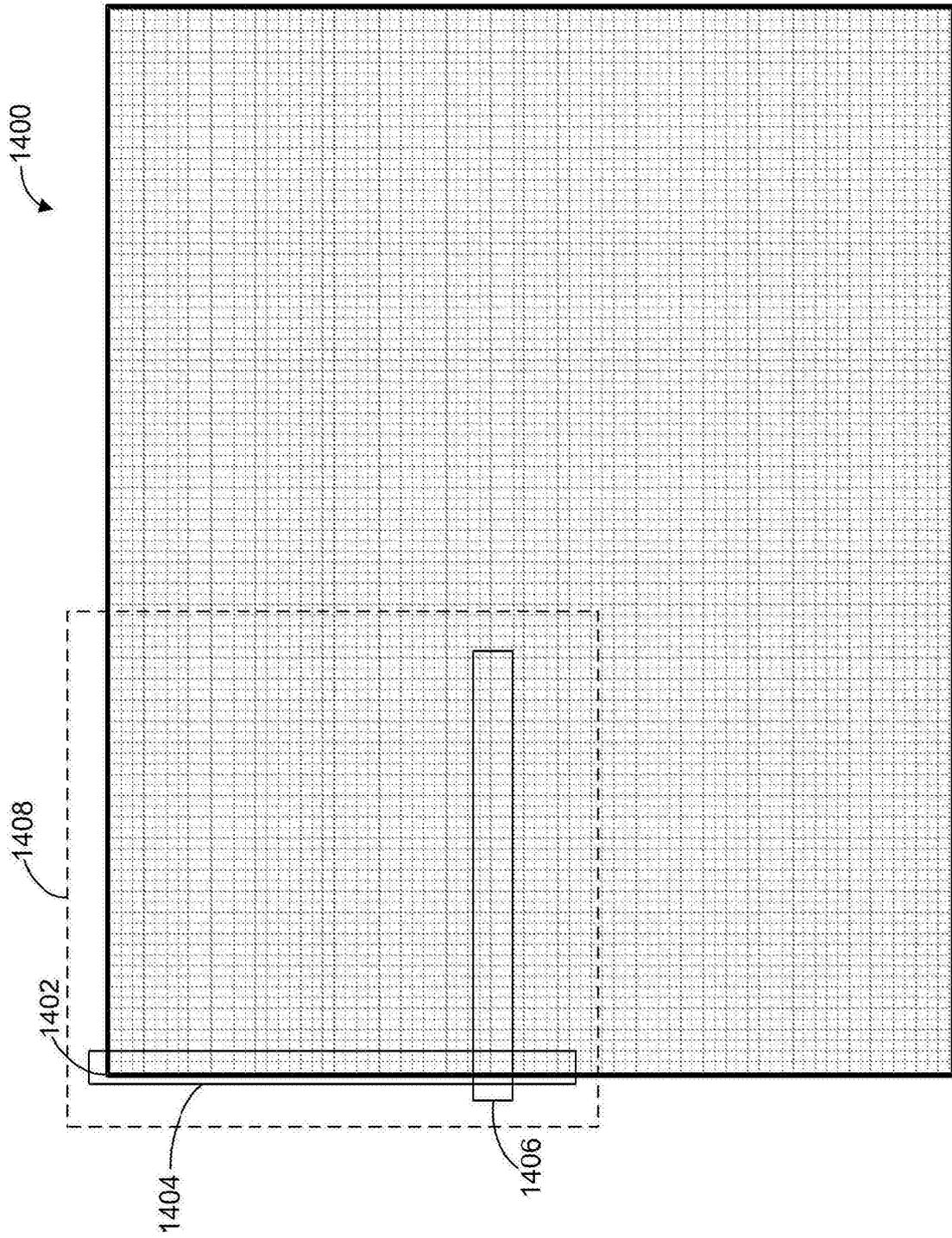


图 14

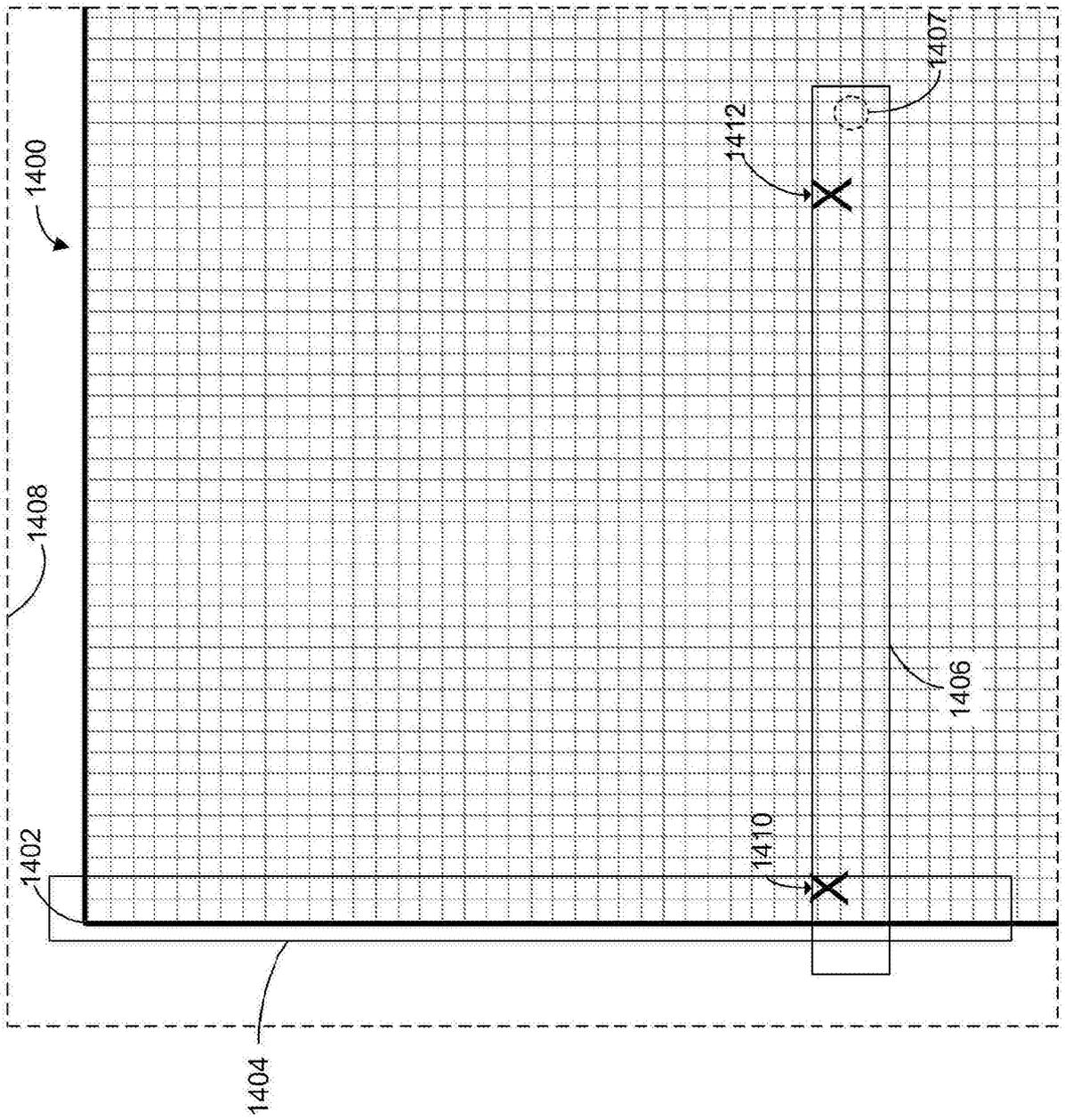


图 15