



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107533017 B

(45) 授权公告日 2021.01.08

(21) 申请号 201680023239.8

(22) 申请日 2016.03.22

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107533017 A

(43) 申请公布日 2018.01.02

(30) 优先权数据

62/137,078 2015.03.23 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2017.10.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2016/050328 2016.03.22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02016/149817 EN 2016.09.29

(73) 专利权人 泰科英赛科技有限公司

地址 加拿大安大略省

(72) 发明人 克里斯多夫·帕夫洛维奇

亚历山大·索金

弗拉迪米尔·马丁塞维奇

(74) 专利代理机构 上海申新律师事务所 31272

代理人 董科

(51) Int.CI.

G01N 23/00 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

G01R 33/565 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101371326 A, 2009.02.18

WO 2011089911 A1, 2011.07.28

JP 2000149853 A, 2000.05.30

US 2008210867 A1, 2008.09.04

US 2008093551 A1, 2008.04.24

EP 0370322 A2, 1990.05.30

US 2014226003 A1, 2014.08.14

EP 1455378 A1, 2004.09.08

US 2005146714 A1, 2005.07.07

US 2008210867 A1, 2008.09.04

审查员 王琴

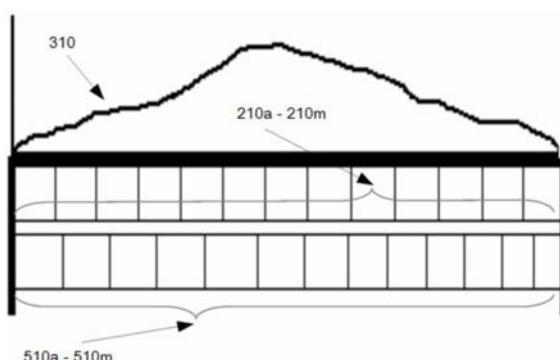
权利要求书2页 说明书15页 附图12页

(54) 发明名称

与成像装置中失真校正相关的方法、系统和装置

(57) 摘要

本文公开了与失真校正成像相关的装置、系统和方法，该失真校正成像旨在采集衬底上的图像相关数据，所述装置、系统和方法包括：一光束发射器，用于将发射指向衬底上预期位置处，以及一信号检测器，用来确定与所述发射相关联的信号强度值；其中所述信号强度值与校正后的衬底位置相关联，所述校正后的衬底位置是从所述预期衬底位置和校正因子中确定的，所述校正因子是所述预期衬底位置的一个函数。



1. 一种用于对衬底中至少一层的至少一部分进行成像的成像装置，其特征在于，所述装置包含：

一光束发射器，用于将发射导向引导衬底，以便在衬底的多个预期位置处产生代表衬底的所述部分的可检测信号；和

一信号检测器，用于检测每个所述预期位置的所述可检测信号的成像特征；

一个或多个激励器，用于改变所述发射相对于所述衬底的位置，以在所述衬底的每个所述预期位置处检测所述成像特征；

其中所述成像装置于每个所述预期位置处自动地将所述成像特征与预设图像分辨率和校正衬底位置相关联，以用于生成失真校正图像，其中所述校正衬底位置是从所述预期位置和校正因子确定的，其中所述校正因子是所述预期位置和所述预设图像分辨率的一个函数，所述预设图像分辨率对应于所述预期位置；

其中所述成像装置被配置成对准多个所述失真校正图像以形成衬底中至少一层的所述部分的马赛克图像，所述失真校正图像包括至少两个不同的图像分辨率。

2. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述成像特征包括所述可检测信号的强度。

3. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述校正因子对于所述成像装置的至少一个操作特征是预先确定的。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的装置，其特征在于，所述激励器为光束激励器，用来改变相对于所述衬底位置的所述发射方向，以在一个或多个不同的预期位置处检测所述成像特征。

5. 根据权利要求1至3中任一项所述的装置，其特征在于，所述激励器为装置激励器，用来改变所述信号检测器的位置从而改变所述信号检测器和所述衬底的相对位置，以检测一个或多个不同预期位置的所述成像特征。

6. 根据权利要求1至3中任意一项所述的装置，其特征在于，所述激励器为衬底激励器，用来改变所述衬底的位置使所述衬底保持相对应所述光束发射器和所述信号检测器。

7. 根据权利要求1至3任一项所述的装置，其特征在于，所述信号检测器为多个不同的对应的预期位置中的每一个确定相对应的特征，并且其中所述成像装置自动将每个所述相对应的特征与相应的校正衬底位置关联，以用来生成所述失真校正图像。

8. 根据权利要求1至3任一项所述的装置，其特征在于，其中与给定的预期位置所对应的给定图像像素位置的给定图像像素值是以所述成像特征的相应比例为基础，所述成像特征的相应比例与至少一个或多个所述校正衬底位置中的任一个相关联，而所述校正衬底位置至少部分重叠所述给定图像像素位置。

9. 根据权利要求1至3任一项所述的装置，其特征在于，所述装置是选自以下组别：光学成像装置，FIB，SEM，TEM，X射线装置，MRI，离子束装置，CT扫描和CAT扫描。

10. 根据权利要求3所述的装置，其特征在于，其中至少一个操作特征包含所述装置的一个当前成像分辨率。

11. 一种在成像装置中校正图像失真的方法，该成像装置包含一光束发射器，用来将发射指向衬底，以在预期位置处生成表示所述衬底的可检测信号，以及一信号检测器，该信号检测器用于确定代表所述可检测信号的成像特征，该方法包括：

使所述发射照射到所述衬底上；

测量与所述预期位置相关联的可检测信号的成像特征和与位置相关的图像分辨率；

确定与用于生成失真校正图像的成像特征相关联的校正衬底位置，从所述预期位置和指定校正因子确定所述校正衬底位置，该指定校正因子被预定为所述预期位置的函数，所述失真校正图像具有与所述校正衬底位置相关联的图像分辨率；

将测量得到的所述可检测信号的所述成像特征与所述校正衬底位置相关联；

为至少一个其他预期位置重复所述测量、确定和关联步骤；以及

将多个所述失真校正图像对齐以形成衬底中至少一层的部分的马赛克图像，所述失真校正图像包括至少两个不同的图像分辨率。

12. 根据权利要求11所述的方法，其特征在于，所述成像特征包含所述可检测信号的强度。

13. 根据权利要求11所述的方法，其特征在于，所述校正因子为了所述成像装置的一组操作特征而进一步被预定。

14. 根据权利要求11至13任一项所述的方法，其特征在于，所述方法进一步包括具有与衬底上预期位置相对应的给定图像像素位置的给定图像像素值，所述给定图像像素值是以所述成像特征的相应比例为基础，所述成像特征与一个或多个所述校正衬底位置相关联，而所述校正衬底位置重叠所述给定图像像素位置的至少一部分。

15. 一种从成像装置中生成衬底的图像的方法，所述成像装置包含一光束源，用于将发射定向到基板上的预定位置以获得与所述预定位置相关联的图像分辨率，以及一信号检测器，用来确定与所述发射相关联的信号特征值，该方法包括：

用所述信号检测器采集多个信号特征值，每个所述信号特征值表示在实际位置处的衬底特征；

通过利用校正因子校正所述预定位置，为每个给定的信号特征值确定与其相关联的实际位置；并

为图像生成图像像素值，其中给定图像像素位置处的给定图像像素值是以所述位置相关图像分辨率和至少一个所述给定信号特征值的相应比例为基础，该给定信号特征值的校正衬底位置与所述给定图像像素位置的部分相对应；

从多个所述图像像素值生成图像，所述图像像素值包括至少两个不同的所述位置相关图像分辨率。

16. 根据权利要求15所述的方法，其特征在于，所述校正因子与所述成像装置的至少一个操作特征相关联。

与成像装置中失真校正相关的方法、系统和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及扫描成像系统和装置,尤其涉及与扫描图像的失真校正有关的方法、系统和装置。

背景技术

[0002] 扫描成像装置提供了图像失真问题的示例性说明,并且它们涵盖所有可能具有类似问题的广泛系统。这种问题可能导致图像失真,而图像失真是与扫描期间图像捕获的理想位置和实际位置之间的差异相关的误差引起的。许多扫描和非扫描成像装置可能受到影响,且可以包括电子束系统、聚焦离子束系统、激光成像系统、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)和光学系统。扫描系统的特征在于,在目标衬底上扫描图像捕获机制,并且在这种扫描期间进行图像数据采集。非扫描系统可能对衬底进行一次或多次的图像数据采集。在任一情况下,图像数据采集的理想位置和实际位置间的差异可能导致所得图像的失真。

[0003] 当采集到一个表明部分待成像衬底,例如衬底的表面或横截面的特征的信号时,在衬底上被分析的实际位置与被分析的理想位置之间通常会出现些许程度的误差。所述衬底上的分析位置至少与当前的相对位置有关,和/或与一种或所有光束发射器、发射的光束、信号检测器和衬底的相对定向有关。分析的实际位置可能通常与用于分析的预期位置不同,这在评估所述表面或横截面的特征时,包括,例如当可适用的信号分析值被组合在一起时用来形成图像会引起失真。与所述成像装置相关的各种复杂来源及其间的相互作用可能引起实际位置和预期位置之间的差异。

[0004] 多种误差来源可能导致用来分析的衬底上的预期位置和实际位置之间的差异。这些误差可能由诸如意外的电磁场值、机械和控制系统缺陷、镜头缺陷、环境变化、扫描速率(在使用扫描成像装置的情况下)等因素和这些因素间的相互作用所引起的。在被成像的衬底上,这些因素和其他因素会在用来数据采集的预期位置和实际位置之间引发偏移,在所述被成像的衬底上,这种推测的位置可能基于许多因素,包括所述光束发射器、所述光束、所述信号检测器和所述衬底自身的相对位置和位置。由于误差来源的数量,在任何情况下,其间的相互作用和在不同时间解释所有这些在确定不同测量值的样本测量的实际位置时的误差,以及在生成图像时解释这些误差的复杂性,在任何情况下,尤其是在更高分辨率和/或为了较大区域的情况下,一直很有难度。此外,当拼接这种图像用来形成一更大的图像,或垂直(即3-D模型)对齐这种被拼接的或其他形式的图像时,图像失真会引发另外的不确定性。

[0005] 用于扫描图像数据采集器的另一个误差源可能是由相对于对应的图像区域的衬底捕获区域的相对尺寸的差异,以及衬底上这些差异的不一致性而导致的。这可能导致,例如,扫描基础设施的行进率相对于采样率发生变化。同样地,在第一位置获取的样本可能与所述表面或横截面的某一特定区域相对应,且该样本之后可以用来生成与该位置处的像素相对应的图像数据,但由于所述衬底不同位置处产生的上述误差的差异,所述区域在另一

位置可能会有所不同。

[0006] 提供背景信息的目的是为了揭示申请人认为可能具有相关性的信息。不承认，也不应该认为上述任何信息即构成现有技术。

发明内容

[0007] 下文呈现了本文所描述的总体发明构思的简要内容，以基本了解本发明的某些方面。该内容并非本发明的广泛内容。它不旨在限制本发明的关键元素或决定性元素，或描述本发明的范围，除此之外，以下说明书和权利说明书明确或隐含地描述了本发明。

[0008] 根据本发明的一个方面，提供了与成像装置中失真校正相关的方法、系统和装置，该成像装置克服了已知技术中的一些缺点，或至少提供了一种有用的替代方案。例如，在一些实施例中，提供了解释从衬底获取图像数据方面的复杂错误的改进方法。例如，一些实施例提供了解释诸如增加图像分辨率，和/或增加相对于这些分辨率的图像表面的改进方法。

[0009] 在一个实施例中，提供了一种对衬底进行成像的成像装置，该装置包含一光束发射器，用于将发射指向所述衬底，以便在衬底上的预期位置处产生代表衬底的可检测信号；以及信号检测器，用来检测所述可检测信号的强度；其中所述成像装置自动将所述强度与一校正后的用于生成失真校正图像的衬底位置相关联，其中从所述预期位置和一校正因子来确定所述校正后的衬底位置，该校正因子是所述预期位置的一个函数。

[0010] 在另一个实施例中，提供了一失真校正成像装置，用于采集衬底图像相关数据，该装置包含一光束发射器，用于将发射指向所述衬底上的预期位置，以及一信号检测器，用于确定与所述发射相关联的信号强度值，其中所述信号强度值与一校正后的衬底位置相关联，从预期衬底位置和一校正因子中确定所述校正后的衬底位置，所述校正因子是所述预期衬底位置的一个函数。

[0011] 在另一个实施例中，提供了一种在成像装置中校正图像失真的方法，该成像装置包含一光束发射器，用于将发射指向衬底，以便在预期位置产生表示衬底的可检测信号，以及信号检测器，用来确定所述可检测信号的强度值。该方法包含以下步骤：使所述发射照射到所述衬底上；测量与所述预期位置相关联的可检测信号的强度；确定与所述强度相关联的、用于产生失真校正图像的校正衬底位置，从预期位置和一校正因子中确定所述校正后的衬底位置，该校正因子是所述预期衬底位置的一个函数。

[0012] 在另一个实施例中，提供了一种为成像装置确定基于位置的校正信息的方法，该成像装置包含一光束发射器，用于将发射指向衬底，以便在预期位置产生表示衬底的可检测信号，以及信号检测器，用来确定与所述可检测信号相关的强度。该方法包含以下步骤：将具有已知表面特点的衬底放置在所述成像装置中；通过检测多个预期衬底位置中的每一个的所述可检测信号的强度，来测量表明所述表面特点的表面特点特征，同时令该成像装置的至少一个运行特征保持恒定，分别检测表明所述表面特征特点的信号强度值；以及基于所述表面特点的多个测量位置中的每一个位置与所述表面特点的对应的实际位置之间的相应差异，根据所述测量衬底位置，来确定每个测量位置和相应实际位置的关联性。

[0013] 在另一个实施例中，提供了一种从成像装置中产生衬底图像的方法。该成像装置包含一光源，用于将发射指向衬底的预期位置处，以及一信号检测器，用来确定所述与所述发射相关的信号的强度值。该方法包含以下步骤：用所述信号检测器采集多个信号强度值，

每个信号强度值表示实际位置处的衬底特征；通过使用校正因子来校正所述预期的衬底位置，为多个信号强度值中的每一个强度值确定与所述信号强度值相关联的实际位置，所述校正因子是所述预期衬底位置的一个函数；并且为所述图像生成图像像素值，每个图像像素值是基于至少一个信号强度值对应的比例，所述信号强度值的校正衬底位置与所述一部分图像像素相对应。

[0014] 在另一个实施例中，提供了一种用于对衬底进行成像的成像装置。该装置包含一光束发射器，用于将发射引导至衬底处，以便产生表示所述衬底的预期区域的可检测信号；以及一信号检测器，用于检测每个所述预期区域的所述可检测信号的强度；以及一数字处理器，其可操作来处理所述相应的强度，以自动将其与用来生成失真校正图像的校正区域相关联，其中从所述预期区域及与所述预期区域相关联的校正因子中确定所述每个校正区域。

[0015] 在另一个实施例中，提供了一种在成像装置中校正成像失真的方法。该成像装置包含一光束发射器，其用于将发射引导至衬底处，以便产生表示所述衬底的预期区域的可检测信号；以及一信号检测器，用于为每个检测区域确定所述可检测信号的相应强度。该方法包含以下步骤：使发射照射到所述衬底上；测量与每个预期区域相关联的相应强度；对于每个预期区域，从所述预期区域和指定校正因子中限定一校正区域，该指定校正因子与所述预期区域相关联；将所述测量到的强度与所述校正区域相关联；以及基于所述测量强度和所述校正区域的所述关联来生成失真校正图像。

[0016] 包含光束导向系统在内的许多系统通常包括补偿电子装置，以调整照射到衬底上的发射的位置的错误特征，跨过衬底的扫描速度，以及所得的检测到的信号，以考虑多种可能的特征，这些特征可能影响衬底上的实际位置与推测位置，该衬底引发信号采集。这些系统可能包括或导致因光束改变效应而产生的基本几何非线性，光束改变效应可用于控制光束方向，但也可能没有实际的方法来完全校正其来源，也没有任何使图像失真的其他元素。其他特征可能促使因信号测量偏移引起的图像失真；这些特征包括由扫描电子学、非线性放大、电和静电场变化、信号检测器（包括电子、透镜和其他信号采集和检测装置）、非线性或不正确的校正机制和算法，以及其他等引起的误差。虽然每个因素造成的失真本身都是复杂的，但此类因素的组合，包括已知的和未知的，会引发难以解释的关联失真，并且其影响与非常高分辨率的成像相关联；此外，衬底上所有位置上的这类失真会有所不同或随着时间推移而不同。用高分辨率成像，这些小的未经校正的失真会引起不必要的误差，并且随着成像特征越来越小，这些不必要的误差可能在所得图像中引发更多更明显的失真。甚至于像素级别的失真也可能导致不必要的误差。提供解决由众多复杂的来源引发的失真的一种方案的方法、系统和装置是必需的。

[0017] 当扫描成像装备采集的多个图像被拼接在一起，或相邻图像上的特征以某种方式（如，跨过两个或更多个图像的电路线）被相连或连接时，会产生与图像失真相关的另一相关问题。由于失真经常是一致的，因此只要使用相同分辨率且表示所述衬底同一尺寸的图像，就有可能在这些拼接或连接中保持完整性；这使得相邻失真图像的对齐而不会损失太多完整性，因为在相似分辨率图像的边缘和衬底处的相对失真也是相似的。然而，鉴于一些衬底在不同区域具有明显不同的特点密度和尺寸，被拼接的图像必须使用分辨率和尺寸足以构成所述衬底上最密集或最小特征的组成图像，即使所述部分衬底通常不需要这样的图

像,因此,在某些情况下,大大增加了用来创建整个图层的图像拼接的图像数量。当任何给定图层的图像(或图像的拼接)或衬底的横截面表达彼此垂直对齐时,这种问题会进一步加剧,例如在对半导体设备进行评估和/或逆向工程时,或进行生物、地理三维建模,和其他三维结构时,这是所必需的,该三维结构使用横截面图像建模。所述图像的分辨率和成像区域的尺寸可能与任何图层或横截面上任何地方发现的最小或最密集的特征相关联。有必要校正图像失真,以能够对不同分辨率的图像进行校正对齐,和/或捕获成像衬底的不同尺寸的区域。

[0018] 通过阅读完以下具体实施例的非限制性描述后,其他方面、特征和/或优势将变得更加显而易见,其中具体实施例的非限制性描述仅通过附图来示出。

附图说明

[0019] 本发明的若干实施例将仅通过参考实施例附图的方式提供,其中:

[0020] 图1示出了部分衬底和同一衬底的图像示意图,用来说明图像捕获的实际位置和图像捕获的预期位置之间的差异的失真效果;

[0021] 图2示出了给定的图像的第一行像素的代表图,该给定图像是根据即时公开的主题的一个实施例而生成;

[0022] 图3根据即时公开的主题的一个实施例示出了失真曲线的示例性和说明性图,通过图形表示一成像装置的基于位置的失真;

[0023] 图4根据即使公开的主题的一个实施例示出了失真曲线的示例性和说明性图,通过图形表示一成像装置的基于位置的失真,同时还一并示出了一行未校正的图像像素;

[0024] 图5根据即时公开的主题的一个实施例示出了失真曲线的示例性和说明性图,通过图形表示一成像装置的基于位置的失真,同时还一并示出了一行未校正的图像像素以及与所述未校正的图像像素相对应的位置校正捕获图像数据;

[0025] 图6根据本文公开的主题的一个实施例示出了用来说明图像像素位置的示意图,同时还一并示出了相对应的位置校正捕获图像相关数据;

[0026] 图7根据本文公开的主题的一个实施例示出了拼接图像中的一图像放大部分的示意图,该拼接图像拍摄于衬底第一图层;

[0027] 图8根据本文公开的主题的一个实施例示出了拼接图像中的一图像放大部分的示意图,该拼接图像拍摄于衬底第一图层,与图7所示的图形放大部分的位置相对应;

[0028] 图9根据本文公开的主题的一个实施例示出了一图像的失真校正的放大部分,该图像取自第一图层的拼接图像,其被来源于拼接图像中的的图像的失真校正放大部分所覆盖,而该拼接图像拍摄于一第二图层;

[0029] 图10根据本文公开的主题的一个实施例示出了一第一图层的拼接图像中的一图像的非失真校正放大部分的示意图,该图像的非失真校正放大部分被拍摄于第二图层的拼接图像中的一图像的非失真校正放大部分所覆盖;

[0030] 图11根据本文公开的主题的一个实施例示出了被拼接在一起的图像集的示例图像,以示出部分被延迟的未知样本的图层;

[0031] 图12根据本文公开的主题的一个实施例示出了取自图11所示出的拼接图像集的示例图像;

[0032] 图13a和13b示出了图像的放大区域,该图像来源于从一未知样本的一给定的图层的图像中拍摄的第一图像集,分别靠近所述成像区域的边缘和所述成像区域的中部;

[0033] 图14a和14b示出了图像的放大区域,该图像来源于从一未知样本的另一个图层拍摄的第二图像集,所述未知样本的另一个图层与所述给定的图层垂直相邻,分别靠近所述成像区域的边缘和所述成像区域的中部;

[0034] 图15a和15b示出了应用图像校正的所述给定图层和另一个图层的对应区域的覆盖图像,所述区域分别靠近所述成像区域的边缘和所述成像区域的中部;

[0035] 图16a和16b示出了未应用图像校正的所述给定图层和另一个图层的对应区域的覆盖图像,所述区域分别靠近所述成像区域的边缘和所述成像区域的中部。

具体实施方式

[0036] 通过参考附图所示出的示意图和图示,将能更全面地描述本发明,其中所述示意图和图示示出了本发明的代表性实施例。然而,本发明会以不同的方式来实施、应用和使用,并且不应该被理解为限制本文所阐释的示例性实施例。更确切地说,提供这些实施例是为了在说明和简要解释中理解本申请,以便将本发明的真实范围传达给本领域内的技术人员。

[0037] 通常,成像系统需要从至少衬底一部分中获取图像相关数据,然后根据衬底上或衬底内的位置来转化这些信息,该衬底与所述图像数据捕获相关。例如,光,包括自然光或源于照明的光,从表面被反射,并且一个或多个光强度测量装置将一个或多个光强度值与所述的光的反射的位置相关联。类似地,在离子束或电子束装置中,朝衬底发射一束粒子,那么所述反射粒子的强度就表示所述衬底的特征;在这种装置中,强度数据与粒子被反射的区域相关联。在透射电子显微镜中,粒子(或光,或其他电磁辐射)的发射被引导穿过材料,并且在衬底另一侧上检测到的发射强度表示衬底位置的衬底特征,所述发射穿过该衬底位置。每当这种情况,在图像数据捕获的预期位置与用来在此位置图像捕获的区域的尺寸之间,以及在所述衬底上或穿过所述衬底的所述发射的真实照射的尺寸和位置之间通常会存在差异。当与所述图像数据捕获相关联的值被分配到所得图像上的位置时,图像捕获区域的预期位置和尺寸与图像捕获区域的实际位置和尺寸之间的差异将导致所采集图像数据中的所得到的图像的失真。本发明的实施例可能表征发射源、发射、衬底和发射检测器的各种相对布置的差异;在一些情况下,这些差异的特征在于,与所述成像系统的一个或多个操作参数相关联。基于所述差异的特征,本发明的实施例可以校正与每个图像数据采集相关联的图像捕获区域的位置和/或尺寸。基于一个或多个图像数据采集,通过确定图像像素值,本发明的实施例可以生成图像及其部分。所述图像数据采集具有与至少部分相对于所述衬底的像素位置对应的校正位置和/或尺寸。

[0038] 预期和实际图像位置之间的差异有许多来源。例如,镜头缺陷,电磁控制器的不规则性,光束激励器和照射点之间的非线性关系,不完美的校正算法和机制,环境的变化,或各种复杂或甚至未知的错误来源中的任何一种都会导致这种差异。许多现代成像系统试图对此作出解释;然而,随着分辨率和放大倍数的增加,即使是最细微的差异,也会导致失真。在扫描装置中,当所述图像捕获机制扫描衬底时,所述差异可能进一步导致采样率与图像捕获位置的变化率之间的非线性。

[0039] 在一些实施例中,可以观察到图像数据捕获与偏差的尺寸和方向之间存在较强的关系;因此,对于其他恒定的操作特征集,所述偏差的本质在图像捕获的相同位置上通常是相同的,而与衬底无关。因此,对于扫描和非扫描成像装置,就可以确定与图像数据捕获的预期位置相关的校正因子,然后将该校正因子应用于与任何给定的图像数据相关联的位置数据。

[0040] 当拼接的、缝合或以其他方式垂直或水平对齐相关联的图像时,一个已经减轻与图像失真问题有关的过去的观察是,既然相同分辨率的图像在相同位置的失真是相同的,那么图像就可以被对齐到其尺寸相同的程度。例如,如果水平或垂直相邻的图像的尺寸相同,则在相应顶点和边缘处的失真程度将是相同的。因此,如果相邻图像的尺寸相同并被适当地对齐,则从第一图像传送到第二图像的特征将会有对齐,并因此作为所述相同特征的连接或组件被成像,以使所述连接特征在这些位置的失真是相同的。如果所述图像的尺寸不同,那么他们可能不一定在相应的位置对齐;相邻图像中的连接特征将不一定连接(即便他们在所述衬底上),导致不正确的拼接图像或对齐图像。这使得需要在所述设备的任何位置需要的最小分辨率下对衬底所有表面或横截面进行成像。对于在宽度和/或长度上明显大于图像的相应尺寸的衬底,尤其如果存在多个需要彼此对齐的图层,这可能会大大增加所需的图像捕获的数量。在相同的情况下,即所述衬底在结构密度上可能变化很大,并且这种密度的位置和程度在成像之前是未知的,可能需要在衬底的每个位置和每个图层上更广泛地采集图像数据。例如,当逆向工程化一个集成电路时,该集成电路的特征非常小(小于20纳米)且具有较高和可变的密度时,因此需要非常高分辨率的图像,并且其连接在许多不同的图层上,那么就需要在相同的分辨率下对每个连续的图层的所有部分进行成像,其中具有最小和/或最密集特点的区域需要相同的分辨率。例如,这可能导致捕获到成千上万的不需要的图像;从而消耗了大量的时间和成像和处理资源,而这些处理资源本可以更好地用在其他地方。

[0041] 任何扫描成像系统都可能受到影响,包括那些包含以下部分的扫描成像系统(a)入射波束,该入射波束在样本上被扫描、扫过,导致检测到受影响、发射的或反射的信号;或(b)由一检测器检测到的受影响的、发射的或反射的信号,该检测器跨过样本被扫描;或(c)前两者的组合。不扫描衬底而是在离散位置处(位于衬底的上方或位于衬底之内)捕获图像数据的一个或多个选择的成像系统也在图像捕获的预期位置和实际位置之间表现出差异,因此,这种系统可能具备图像失真校正的方法和系统,正如本文所公开的方法及其适用的系统。非扫描成像系统也可能受到影响。根据这种本文中所公开的主题,任何系统可能具有此类被解决的或减小的误差引起的失真。这种系统将捕获的图像相关数据与位置相关联,以及可能在与所捕获的图像相关数据相关联的预期位置和与所捕获的图像相关数据相关联的实际位置之间存在差异。

[0042] 在许多光束导向的系统中,失真的具体原因是未知的,因为对失真进行任何校正的存在和程度是确定的,这种校正已被制造商应用。在扫描光束导向系统中,可能存在与图像数据采集相关联的采样率,该采样率与样本光束照射位置的变化率相关联,然而这通常被假设为线性关联。这通常是一个不正确的假设,特别是随着分辨率的增加。因此,对图像完整性而言,差异越来越成为问题,并且那里的校正也越来越无效。最终的图像可能在子像素级别失真,也就是说,即使在像素内也存在失真。

[0043] 在本发明的一个示例性实施例中,提供了两个成像系统,第一个系统包含第一扫描电子显微镜(“SEM1”),另一个系统包含第二扫描电子显微镜(“SEM2”)。每个系统还包括一(或共享)高分辨率图像相关数据捕获系统,一计算处理设备,其在通信上被耦合到可应用的SEM和高分辨率图像相关捕获系统上,并且在该系统上面装载有软件,(1)根据本文公开的方法,目的是将失真校正应用在个体图像上;(2)为毗邻的图像提供“图像拼接”;以及(3)镶嵌,叠加和导航镶嵌图像。每个系统将与一个校准样本相结合来操作,该校准样本由具有至少纳米精度的、具有已知尺寸的一系列网格线的衬底组成,并且用于成像样本(例如集成电路样本)。在操作期间,通过在每个SEM上特定的操作条件下对所述校正样本的表面拍摄一系列SEM图像,及通过为给定的操作条件的集定位来确定适当的失真校正。不同的操作条件包括工作距离(通常固定在8毫米左右),像素停留时间(通常固定为每像素0.20微秒),孔径尺寸(通常固定在60微米),检测器信号放大范围(通常固定在“高”),图像像素分辨率(通常固定为 16000×16000),加速电压(通常固定在8kv,9kv,10kv中的每一个),视场或“FOV”(通常固定在50微米,75微米,100微米,150微米中的一个)。通过将校准样本与源于所述装置中的所得图像进行比较,衬底位置或失真曲线产生校正值可得到确定,这些校正值代表每个SEM的每一个排列和上述参数的组合。任何数量的参数,不仅限于上述列出的参数,也可以随着样本采集的数据而变化,从而为任何给定的成像装置,包括上述系统中使用的参数的完整工作范围给出更加全面的失真曲线。应该注意的是,并非所有参数都以相同程度影响失真,并且根据所使用的设备,可以采用一些简化参数。实验设计方法可以用来更好地表征每个参数的影响,包括其间的相互作用。每个特定的SEM(甚至来自同一供应商并且在相同的操作参数下操作)可以具有不同的灵敏度和失真;只有通过测量全部FOV和每个图像的参数空间的全部范围,并且基于所需的最终精度进行判定,才能使用正确的失真值。在上述示例性系统中,需要单像素精度,但在某些情况下可能需要子像素或超像素精度。

[0044] 在特定操作条件下,一旦为给定的系统确定校正失真值,则可以使用最合适参数来成像位置样本(如部分延迟的IC)。通常,最基本的要求需要更快的成像(因此具有相对较大的FOV),同时仍然具有足够的像素分辨率以识别最小的电路元件。在给定的像素分辨率条件下,对于有用的成像而言,若这些元件太小,则会需要具有更高分辨率的更小的FOV。虽然这可能需要对衬底的成像区域进行重复成像,但这是确定小/密集特征的一般位置以及与之相关的必要的分辨率的最佳方式。

[0045] 对于上述系统,下列初始设置可以应用在SEM1:1000x 1000微米成像区域;100微米FOV(每个图像捕获100x100微米的区域);10x 10图像拼接(共100个图像;每个图像(6.25纳米/像素) $16,000 \times 16,000$ 像素的图像捕获);10千伏的加速电压;具有60微米孔径的图像捕获装置;以及“高”增益信号放大。将基于位置的校正失真值应用于所述图像,以创建一个新的 $16,000 \times 16,000$ 像素的图像失真集,然后将该集可靠地对齐到拼接图像,该拼接图像提供所述样本的成像图层的适用FOV的未失真图像。图7示出了一个单个图像的放大部分。

[0046] 然后可以再次对样本进行部分延迟,以显示样本的下一图层(具体地说,在IC示例的情况下,附加电路),并且在一个不同的SEM上重复成像步骤,但参数(以将新外露的电路图层与更小的电路元件匹配)稍微不同。例如,SEM2具有1000x 1000微米的成像区域,50微米FOV(每个图像是50x50微米),20x 20图像(共400个图像)的拼接, $16,000 \times 16,000$ 像素的图像捕获(3.125纳米/像素),加速电压8千伏,一个60微米的孔径,并具有“高”增益信号放

大。图8示出了位置中一个单个图像的放大部分，该放大部分与图7所示出的x和y坐标相对应。

[0047] 基于位置的失真校正值适用于每个SEM，并且条件的每个集被用于来自两个数据集的每个单个图像。校正后，这些图像集被拼接、对齐并布置成马赛克。将一个图像集覆盖在另一个图像集上，并显示出几个像素尺寸的特征完美对齐。如图9(源于拼接的一个单个图像的放大部分)所示，在不同的操作条件和图像分辨率的情况下，失真校正图像可以彼此叠加显示，其中每个图层上的相应特征彼此对齐，尽管被不同的SEM拍射。特别是在由不同SEM上的不同分辨率产生的情况下，拼接、对齐和重叠为校正图像的结果可能显示出从一个数据集到另一个数据集特点之间的不对齐的重要示例，这可在图10中看到，在图10中相同的单个图像的被放大部分被重叠，没有失真较真，这与图9中所示出的单个图像的被放大部分相对应。

[0048] 在衬底表面的典型的图像捕获中，光束通过其图像被捕获的区域，该光束可能是光学、电子、离子、电磁等。在许多情况下，以光栅模式扫描所述衬底，以从其表面或横截面或部分获得更完整的数据采集。光栅模式的特征通常在于，沿一第一方向从一第一侧向一第二侧第一次通过，然后在第二方向的正上方或下方的位置处快速返回到所述第一侧，然后沿所述第一方向从所述第一侧向所述第二侧沿着平行于第一次通过的路径再次通过，然后重复。并非所有光栅扫描均以平行线进行；有些成之字形，星形，蛇行形，随机导向地通过，或其他形状。不需要沿扫描路径采集衬底表面或横截面的不同部分，样本取自于一个或更多采样率；通过移动光束/衬底/采集装置导向至任何给定的位置，操作光束发射和检测，采集图像相关数据，将其与预期位置相关联，可以采集一个或多个离散图像捕获位置，然后基于预期位置确定校正因子。图像采集的一个或多个离散位置可以用来表征图像表面、横截面或其区域的特点或特征。

[0049] 在一些实施例中，在光束沿着上述图案被引导向所述表面时，衬底表面的部分的图像被捕获，同时合适的发射器测量发射的、反射的或受影响的信号。测量到的信号可以以预定的采样率被采集(或记录)。在使用电子成像系统的情况下，电子可以反射(反向散射)、被吸收、或触发发射(第二电子或X射线)。除了吸收和反射之外，离子束系统可以产生用于表征图像捕获位置的二次电子。光(例如激光和/或可见光)可以反射或生成用于衬底图像捕获表征的光子发射。也可以使用其他光束导向信号。所得到的测量值(即图像相关数据)被分析，并可以基于测量到的信号强度来生成图像，这将根据表面上的形状和特征、组成和结构而不同。表面上的形状和特征、组成和结构会影响有多少个电子被引导向检测器等。在许多电子成像装置中，所述检测器被配置成每隔一定时间测量或记录样本，因光束激励器将以理想的预定速率来移动光束照射(通过改变所述光束的方向，或两个或更多光束发射器、衬底及发射检测器的相关位置)的位置。每个样本与像素、像素组、像素的一部分(例如，可以从单个像素中组合多个样本)，或图像组成部分相对应。

[0050] 电子成像装置中的电子束的扫描方向，及其通过期间的变化速率，通常是由电磁场生成和控制利用一个或多个相对的电极对控制的，该相对的电极对之间存在电位差。通过控制每个电极处的电压相对强度，可以控制光束的方向。在许多情况下，每个电极的电压由数字模拟转换器(即DAC)和相应的电压放大器控制，尽管电压放大器通常高度专业化和精密地用于生产非常精密和精确的电压，其可能在所得到的电磁场中产生少量意想不到的

波动，并且因此，有些在穿过样本区域光束的移动方便的变化被成像，最终在任何给定时间的光束位置可能与预期的位置出现不对应。例如，当光束照射位置接近所述图像捕获区域（相对于更靠近成像捕获区域的变化率）的边缘时，所述图像捕获位置的变化率可能小幅加速或减慢。此外，当横向视野增加时，所述光束的速度朝着所述样本的边缘变化（这可能或不可能正确，电子学可能会考虑到这一点，并且透镜也会影响这一点）。由于所述光束的位置的非线性变化率以及电子检测器的常规采样间隔，结果是图像失真，因所述电子成像装置在给定的图像中、从位置中辨别像素，该位置在给定的通道的中部比与相邻像素相关联的位置更接近（或更远），该相邻的像素更接近通道的开端或与结尾更接近。此外，对于更接近样本区域的顶部或底部的通道，而非更接近样本区域的中心，相邻的像素之间的相对距离可能是不同的。在所述图像捕获区域上的给定位置的照射位置可能相对于图像捕获区域上的其他位置而变化。在任何情况下，许多组件的影响和相互作用也可能导致失真。实际上，尽管光束以线性速率被扫描，本系统的光学元件和透镜也会影响样本上光束的最终位置。

[0051] 在许多应用中，其中任何一个应用中所产生的失真并不足以在任何给定的图像中有效影响识别相邻特点的能力，也不会对齐相邻的图像。然而，无论在较低分辨率下失真程度是多么微小，在表面（或横截面）上对高分辨率表面进行成像将会加剧任何一个失真。当每个表面（或横截面）存在非常多数量的图像时，尤其是当每个图像捕获区域的视野较大时，和/或被成像的表面相对于图像捕获区域尺寸和/或特点尺寸和/或所需的分辨率非常大时，将相邻图像对齐到一个拼接示可能会出现问题。

[0052] 失真会导致垂直对齐多个镶嵌的图像的错误，因为用来从一图层到另一图层垂直对齐的结构可能由于图像失真而无法对齐，若有可能，会难以辨别对齐的位置；此外，即使可以识别相邻的结构，在两个相邻图层的一个区域或位置中的对齐，可引起相对于另一图层或位置的对齐错位。在对IC进行逆向工程的示例中，电路引线的对齐错位将引发在给定电路中断开的错误识别。在一些实施例中，可以使用不同类型的检测和成像，例如可以评估衬底的各种性质，包括密度、材料分析和/或化学组成，以及其他跨过表面或横截面的性质或特征。例如，在一些全部具有不同视野（放大）的情况下，系统可以在一个图像中使用二次电子检测器（SE），然后在另一图像中使用后向散射电子检测器（BDS），然后在另一个图像中使用能量色散X射线光谱（EDS）映射。通过确认任何失真已被校正，可以将所述相同衬底的各种图像重叠，而不会导致特特和结构的对齐错位。

[0053] 通过将样本区域的尺寸最小化并确保所有成像图层的样本区域的相同尺寸和垂直对齐，然后确保所有图像相对于彼此具有垂直对齐的顶点和/或边缘，可以在一定程度上减轻这种问题。如果它们按照其顶点对齐，则垂直导向的结构将出现在相应垂直对齐的图像中。不幸的是，并非任何给定图层的所有区域及实际上所有图层具有相等或类似的结构密度。然而，为了确保样本区域的失真在所有重叠的图像上对齐，为了确保镶嵌的图层能被正确地对齐，最小化和相同尺寸的样本区域必须在所有图层上从一图层到另一图层被捕获。所述最小化和相同尺寸的样本区域与相邻的重叠图层完美地对齐。

[0054] 在创建一个三维结构实例中，取出一个图像，去除样本的成像部分，并且再取出一个图像，然后与所述第一个图像垂直对齐，并重复这些步骤。即使在一个位置（即在图像中心位置的对齐是正确的，但是在边缘处可能未对齐）适当对齐，所述失真会引起图层之间明

显的未对齐。以下三个示例示出了图层成像、图层去除和重复构建图像的镶嵌的对齐的堆叠，以表征衬底。(1) FIB/SEM: 用SEM拍摄一张图像或图像的拼接，用FIB对图层进行切片，然后所述SEM拍摄另一拼接图像，然后是FIB切片，然后是SEM图像。(2) 显微镜用薄片切片机/SEM: 用SEM拍摄一张图像或图像的拼接，用所述显微镜用薄片切片机对图层进行切片，用SEM拍摄一张表面的图像，并重复步骤。(3) 延迟集成电路: SEM拍摄一张图像，然后通过其他方法，如机械或化学去除图层，从IC中去除切片，然后拍摄另一张SEM图像，并重复延迟和SEM成像的步骤。在这些和其他情况下，相同样本中相邻图层的每个图像可被对齐来分析给定样本内存在的结构。在一些情况下，不需要去除图层，因为已经有一些成像技术可以为衬底的横截面提供图像相关数据，而无需物理去除正位于在成像的横截面的上方和下方的衬底的任何部分。横截面成像的非限制性示例包括以下非限制性示例：磁共振成像 (MRI)、核磁共振成像 (NMRI)、磁共振断层摄影、计算机断层摄影(包括但不限于X射线CT, 正电子放射断层造影术 (CAT扫描)，计算机辅助断层扫描，超声扫描术或超声检查。所述图像失真校正方法和系统可以在任何系统中实现，所述任何系统可能包括上文所述类型的横截面成像。

[0055] 本发明校正每个样本区域内的失真，从而允许在任何给定的图层中更容易地对齐样本区域，而且允许在任何给定图层内以及从图层到图层使用变化的样本区域尺寸。这大大减少了对衬底所有图层进行完整成像所需的样本区域数量。通过校正镶嵌中每个图像，以更能代表实际表面，不需要再对图像和/或图像顶点进行对齐，并且在不影响镶嵌的情况下，可以在不同的图层上、或实际上不同表面上的区域使用不同的放大成像。在一些实施例中，这是通过在所得图像中修改采样的坐标来完成的，来为系统所引入的非线性进行校正，该校正方法是通过测量测试样本的成像特点并将其与这些特点的实际已知位置相比较，这可能取决于电子成像装置的特征和各种反应室条件。因此，通过校正与捕获图像相关数据关联的位置，可以估计代表图像中像素的真实位置的图像数据，并且可以校正位置，从而消除或明显减少失真。

[0056] 在第一个实施例中，本主题涉及一种方法和系统，用于在给定条件下，相对于样本上特点的实际已知位置，对比所得图像上的特点，然后根据预期位置将此对比应用到所述相关不活图像中。在另一个实施例中，本主题涉及将预定图像校正因子应用到每个捕获图像相关数据的方法和系统，这发生在将所述图像相关数据应用到与所述校正值相对应的图像中的像素中之前，从而校正跨过衬底捕获区域的图像失真。在另一个实施例中，本主题涉及动态地应用合适的预定图像校正因子的方法和系统，这取决于衬底的给定的图像捕获区域的分辨率和图像相关数据捕获的预期位置，该分辨率可能因实际或假定的特征密度而不同，并且将与所述图像捕获区域相对应的任何失真校正图像，与对应于垂直或水平相邻的图像捕获区域的一个或更多失真校正图像对齐。

[0057] 参考图1，其示出了由成像系统待成像的第一图案100，和所述图案100的所得图像110。由于系统扫描和样本时间非线性，所述图像110具有不均匀的垂直线间距，原因是与扫描成像系统相关联的缺陷。如特征111和101所示，垂直线位移在开端为0，以及在该图像的末端也为0，如特征102和112所示。所述特征的实际位置和图像特点110之间的偏差，可以用来确定失真曲线，其中特征的实际位置可从图案100中得知。失真曲线根据预期位置可用来确定失真校正因子。

[0058] 参考图2，其示出了给定图像200的第一行像素。在一些扫描成像系统中，当光束照

射点越过所述衬底时,以给定的速率对图像相关数据进行采样;每个样本被用来生成像素值210a至210m。由于采样率和扫描率之间的非线性,就会发生失真。为了提供说明性示例,将假设相同的成像系统,在相同操作特征下操作,用图1中示出的已知的图案100来生成衬底的所述图像110。通过将所述图像110与具有已知特点100的所述衬底进行对比,可以生成一失真曲线。如图3所示的示例,失真曲线以图形的形式生成,该失真曲线代表这种对比。在失真图表300中的失真曲线310示出了像素偏移的程度,该像素偏移被应用在图2示出的像素行的每个像素的边缘处,如图4所示。图5示出了此应用的结果,同时还示出了数据采集510a至510m的实际位置。该位置校正样本510a至510m代表从此处收集的失真校正图像相关数据的位置。然而,由于像素尺寸实际上在所得图像中是固定的,所采集到的样本必须被校正至固定图像像素。这是基于与位置校正采集图像相关值成比例的每个样本重叠固定像素的量,通过计算校正像素图像值而实现的。对于仅考虑单个维度的像素行,可使用以下示例性方程式来确定像素的校正值:

$$[0059] \quad corrPx[i] = \sum_{j=1}^n px[j] * \frac{[j].length}{corr[i].length}$$

[0060] 其中*i*是像素行中的固定像素指数;corrPx[i]=是像素行中第*i*个固定像素的校正图像相关值;*j*是每个位置校正样本的指数,及重叠在所述固定像素上的每个位置校正样本的部分的指数;*n*是位置校正样本,及重叠在第*i*个固定像素值上位置校正样本的部分的总数量;px[j]是每个位置校正样本的图像相关值,或重叠在固定像素上的位置校正样本的部分的图像相关值;[j].length是每个位置校正样本的长度,或重叠在固定像素上的位置校正样本的长度;以及corr[i].length是第*i*个固定像素的长度。作为澄清示例,如果仅是位置校正样本的一部分重叠在固定像素上,那么由此,校正图像相关值的贡献将是采样图像相关值乘以固定像素长度(而不是位置校正样本的整个长度)上仅在位置校正样本重叠部分的分数。

[0061] 虽然图1至图5示出了与一行像素相关联的实施例,或越过一个维度的失真校正,例如成像区域的宽度,但相同的原理可应用在两个维度和三个维度。失真曲线可被生成以校正越过图像区域的长度和宽度的失真,以弥补在样本的所有区域处的采样预期位置和实际位置之间的差异。对于一些应用和系统,在特定分辨率下,越过宽度的失真校正仅提供足够的校正。在其他情况下,可能需要越过长度和宽度的失真校正。上述公式将被修改为以下2D公式:

$$[0062] \quad corrPx[i] = \sum_{j=1}^n px[j] * \frac{[j].area}{corr[i].area}$$

[0063] 其中值和上述的相同。*j*仍为每个位置校正样本的指数,及重叠在所述固定像素上的每个位置校正样本的部分的指数,除了在这种情况下,每个图像相关值的比例是基于每个位置校正样本的重叠区域或其部分,其中图像相关值被用在校正图像相关值中。至于三维,对于衬底的每个横截面,可能生成一个不同的二维失真曲线,或在衬底的整个体积上会生成失真曲线的完整三维表示形式。在前者情况下,利用每个图层的3421不同的2D失真曲线,所述2D公式可应用在每个图层上。或者,对于固定3D像素的体积而言,在固定的3D像素内可以生成一个完整的3D失真曲线,在该曲线中,根据每个位置校正样本的体积或其部分

体积的比例来计算上述公式。当图层去除不可能或不可取并且成像方法不需要这种去除时，所述3D失真曲线和适用的失真校正将将会被用于横截面分析。

[0064] 在一个实施例中，提供了一种用来对衬底进行成像的成像装置，该装置包含一光束发射器，用于将发射导向衬底上的预期位置处，以便产生代表衬底的可检测信号。所述光束发射器可以是所述装置的一整体部件，两者都可以生成和引导具有可定义的工作特征（如组成、强度等）的特定光束组成的光束。在其他情况下，所述光束发射器可能会允许或引导环境光或其他电磁辐射朝向衬底。所述光束可以包括以下非限制性示例：光，电子，离子，X射线，磁能，电磁能。换而言之，所述成像系统可以是光学成像系统，或者它可用不同类型的粒子（如X射线、离子等）来照射样本，或者它可用各种形式的电磁辐射或能量（如X射线、电磁波等）来照射样本。源于所述光束发射器的发射使得所述衬底生成一可检测的信号，该信号与其上面的特定位置相关联。所述可检测信号可能包括发射的散射或反射光束，或它可能包含二次电子或其他激发。无论哪种方式，所述发射的照射都会引发源于衬底上或中的某一特定位置的可检测信号。

[0065] 在一些实施例中，衬底上的预期位置位于衬底的外表面上。可以针对衬底上的多个预期位置来采集或测量可检测信号，目的是为了生成图像而表征衬底的表面。在一些实施例中，预期位置位于衬底的内部横截面上；在这种情况下，可以沿材料的横截面处的位置，或沿内部特征采集所述可检测信号。在一些情况下，成像和对齐多个横截面以开发衬底的3D模型。或者，通过对衬底表面进行成像，从衬底去除图层，对外露的表面进行成像，并重复这些步骤，可垂直对齐3D模型或图像；然后可以垂直对齐所得到的图像。后一种方法会导致重复的去图层，因此，在大多数情况下，衬底被破坏。

[0066] 该装置进一步包含一个信号检测器，用来检测所述可检测信号的成像特征。在以下实施例中，所述可检测信号的检测到的成像特征通常与该信号检测到的强度相关联。然而，本领域内的技术人员将理解，可以单独或组合地测量和/或量化不同的信号特征，以对诸如信号波长、颜色、频率、相位、光谱、强度等特定衬底进行成像，并且不会脱离本公开发明的一般范围和性质。

[0067] 在一些实施例中，可检测信号可能是从所述光束发射器（如扫描电子显微镜即SEM中的电子，聚焦离子束装置（FIB）中的离子，或在光学系统中的光）中输出的发射的反射或后向散射。在其他情况下，所述可检测信号即穿过样本（如TEM）的发射。在其他情况下，一旦发射照射，就会生成二次粒子，诸如电子或电离粒子，且所述信号检测器可以测量或检测与其相关联的强度。在其他情况下，发射可能会引起其他类型的激励（和所得的松弛），该激励可通过信号检测器检测到并与预期位置相关联。

[0068] 该成像装置被配置为自动将所述强度与用于生成失真校正图像的校正衬底位置相关联，其中所述校正衬底位置通过所述预期位置和一校正因子得以确定。该校正因子是所述预期位置的一个函数。对于任何给定的系统，当至少一个操作特征维持在恒定值时，所述校正因子是基于预期位置而被预先确定的。例如，当反应室压力、温度和环境气体保持恒定并且光束强度和组成保持在恒定水平时，所述光束通过或被指向具有已知表面特征的衬底。将所得到的图像与所述已知表面特征相对比，以生成每个采样位置的校正因子。虽然多数系统试图将采样的预期位置和实际位置（该位置包括样本区域的尺寸）之间的任何误差最小化，并且的确很多系统也试图弥补任何此类误差，本公开的发明使用了用于成像系统

的经验数据,该系统具有至少一个恒定操作特征,以根据此位置,在所述衬底上的每个预期位置处生成校正因子。因此,所有的误差来源之间的复杂性及其间的相互作用,和弥补变得无关紧要,因为在给定操作状态下的每个系统都可以被表征,并且这种表征可以应用在这种操作状态下所有将来用途来校正失真。然后,校正因子可以被用来确定实际尺寸和位置,而检测到的信号与所述实际尺寸和位置相关,之后可以对所得到的图像进行任何失真校正,无论失真原因多么复杂。

[0069] 在一些实施例中,该系统是一个扫描成像系统,该扫描成像系统使用光束发射器激励器、衬底激励器或信号检测器器中的其中一个或其组合,以测量与衬底上不同预期位置相关联的信号强度。在一些例如使用SEM和/或FIB的实施例中,通过改变围绕这类线圈的电位降,电磁线圈可被用来改变射出的发射形状和方向,以将所述光束扫过所述衬底。在一些实施例中,机械激励器可以改变光束发射器本身的导向和位置。在这两种情况下,所述衬底和所述信号检测器保持静止。在其他情况下,发射的光束保持在相同定向和方向,同时移动所述衬底和/或所述信号检测器中的任何一个或两者。在某些情况下,这些组件的组合可被移动或保持不变。在任何情况下,与所述衬底上某一特定位置相关联的信号应该与给定的信号强度测量相关联。对于扫描成像装置,所述光束以预定的路径通过所述衬底,并且以预定的速率测量样品。至于其他类型的装置,采样率不必密切相关,因为该装置可以在预定的预期位置处采集样本,然后使用已生成的图像数据中的强度水平和预期位置(为失真而被校正)。

[0070] 在一些实施例中,信号强度值的多个样本被用来生成图像像素,其中每个信号强度值样本与所述衬底上或衬底内的实际位置相关联。由于所述衬底的实际位置不一定与所述图像的像素对齐,因此它们应该被校正。在一些实施例中,这是通过将每个像素与校正的强度值相关联来实现的,所述像素使用所述校正的强度值将像素图像值填充至像素,这反过来可被用于确定所述像素的颜色或灰度值。存在与每个预期衬底位置相对应的图像像素值和图像像素,并且所述图像像素值是以至少一个信号强度值的各自比例为基础,该信号强度值的校正衬底位置与所述图像像素的部分相对应。用每个强度值的比例来确定每个像素图像值的校正强度值,该强度值和与该像素位置相对应的校正位置相关联,所述比例等于像素尺寸的校正位置的尺寸的比例。例如,如果像素位置作为给定的校正位置(或确实如果所述校正的位置比所述像素要大)与相同的位置相对应,则该像素的校正强度值与源于该校正位置的强度测量相同。参考图6,该图示出了一个示例性确定。在与固定的图像像素600相对应的行中,C1的强度,或称为p[C1]的强度等同于具有与C1相对应的校正位置的所有样本610的比例。在这种情况下,C1精确地对应于A1,因此p[C1]等于p[A1]。只有A6有助于C6,所以p[C6]=p[A6]。C5对应于部分A5和A6;各自地,所以p[C6]=p[A6],65%的C5来自A5的一部分,35%来自于A6的一部分,所以p[C5]=0.65p[A5]+0.35p[A6]。尽管其他实施例可能会使用其他确定像素图像值的公式和方法,但一般而言,该贡献值将与检测到的强度值有关,而检测到的强度值与实际位置检测相关联。该实际位置检测与所述衬底上相同位置对应的部分或所有像素图像值相一致。

[0071] 在一些实施例中,该装置以整体的方式包含所述光束发射器、所述衬底台和所述信号检测器。在其他情况下,该装置包含一个系统,在该系统中,每个所述组件保持在非整体部分中。所述关联、测量、确定和校正步骤可以由在通信上耦合的计算装置来实现,它们

可以与设备整体地相关联,或替代地作为与装置或系统不一体的系统。正如本领域内技术人员将理解的,所述计算装置可能包括处理、通信和数据存储及记忆组件的不同组合。

[0072] 在一些实施例中,提供了一种在成像装置或成像系统中校正图像失真的方法。该成像装置或系统包含一光束发射器,用于将发射指向衬底,以便在预期位置产生代表关联的衬底的可检测的信号,以及一信号检测器,该检测器用来确定所述可检测信号的强度值。该方法包括以下步骤:使所述发射照射所述衬底,以便产生可检测的信号,该可检测的信号与预期位置相关联,而该预期位置典型地与正成像的衬底区域上的图像像素位置对应。该可检测的信号可能是来源于所述光束发射器的发射的反射的、散射的或非吸收的一部分,或它可以是由所述发射照射引起的二次信号。通过所述信号检测器测量可检测信号的强度,所述强度最初与测量的预期位置相关联;校正的衬底位置与测量得到的强度相关联,所述强度与用于生成失真校正图像的校正衬底位置相关联,其中,可从所述预期位置和校正因子中计算校正衬底位置,该校正因子是所述预期衬底位置的一个函数。一旦从衬底的一部分中测量到足够的强度值以为衬底(在其表面或其横截面上)区域提供图像数据,那么,通过将所有校正的衬底位置的比例量相关联,来确定每个图像像素的校正强度值,其中该校正衬底位置在成像区域与像素位置相对应。

[0073] 在一些实施例中,提供了一种在一个或多个恒定的操作特征下确定给定的成像系统的校正因子的方法。该方法涉及,在具有已知表面特征的衬底上,对与表面特征相关联的信号强度进行成像或检测,然后将所得图像与所述已知表面特征(或根据具体情况,与测量的预期位置相关联的信号强度值)进行比较。基于差异,一个或更多方向(或尺寸,即长度,宽度或深度)的转化可以根据预期位置而被确定。在给定的衬底中的每个预期位置处,所述校正因子被表达为具有方向的转化或载体,也可以被表达为一个或多个失真曲线或失真指数。该校正因子然后可被用来为在相同操作条件下的同一装置中成像的衬底解决失真校正。

[0074] 描述了一个来自于一个实施例的一组示例性成像结果,包括如图11至16所示,所得失真校正图像和对应的相同衬底的未校正图像。失真校正成像系统的该实施例包含一第一扫描电子显微镜(SEM-A),一第二扫描电子显微镜(SEM-B),一高分辨率图像捕获系统,一校正样本(包括一个具有纳米级精度的一系列已知网格线的衬底,其特征可由所述捕获系统检测),一集成电路样本,一相关联的数据处理设备(例如计算机),该数据处理设备用来运行各种软件应用,包括将失真校正处理应用于个体图像的软件、图像拼接软件、镶嵌叠加和导航软件。

[0075] 在上述系统中校正成像失真的其中一种方法的示例性实施例,包括下列步骤。使用SEM-A和SEM-B,在不同的操作条件下从校正样本中取出一系列的SEM图像。示例性操作条件可能包括:固定工作距离(8毫米),固定像素停留时间(每像素0.20微秒),固定孔径(60微米),固定检测器信号放大范围(高),固定像素分辨率(16000x 16000),加速电压(8千伏,9千伏,10千伏),视场FOV(50微米,75微米,100微米,150微米)。通过将上述参数的每个排列组合的所得图像与与所述校准样本的已知特征进行比较,可以根据预期位置(预期位置可以包括尺寸以及所得到的捕获位置的位置,因为在不同的预期位置,光束入射到衬底的表面上的区域尺寸会有所不同)确定每组操作条件的关系。校正函数可以得到开发,其中,当为所述成像装置在给定的一组操作参数下捕获图像数据时,可以为给定的预期位置的输入

返回实际区域的大小和位置及和图像捕获位置。

[0076] 最终,可以改变许多参数并采集数据,以便在FOV内在任何给定的位置上为表征失真给出完整的工作范围。应当注意的是,并非所有参数都会以相同程度影响失真,并且根据使用的设备,也可以利用一些简化参数。实验设计方法可被用来减少测试的数量。每个特定的SEM(甚至来自于同一供应商)可以具有不同的灵敏度,并且只有通过测量参数空间的范围并且基于所需的最终精度进行判定,才可以采用正确的算法。在本实施例中,需要单像素精度。

[0077] 一旦建立校正函数,使用最合适的参数(下表中所示的参数值)可对未知样本(部分延迟的IC)成像,以给出图像集#1。最基本的要求是最快成像(最大的FOV),同时仍然具有足够分辨率来识别最小的电路元件。下表示出了每个图像集的成像参数。

[0078]

参数	图像集#1的参数值	图像集#2的参数值
SEM	SEM-A	SEM-B
成像区域	1200x 1600微米	1200x 1650微米
FOV	100微米	75微米
成像拼接	12x 16图像	16x 22图像
图像数量	192	352
每个图像的像素	16,000x 16,000	16,000x 16,000
SEM千伏	10千伏	8千伏
SEM孔	60微米	60微米
SEM检测器增益	高	高

[0079] 在对整个图层进行图像采集后,部分延迟的IC被进一步部分延迟,以显示下一图层的电路,并且重复成像步骤但参数(以匹配具有较小电路元件的新外露的电路图层)不同且SEM不同。这创建了图像集#2,它们被拼接在一起以形成整个成像的图层1100,如图11所示。每个拼接图像的对齐线,如1110,在图11中有所示出。图12示出了图像集#2的一个单个图像。

[0080] 适用于每个SEM和每组参数值的失真校正算法被应用于来自两个数据集的每个单独的图像。校正后,将这些图像拼接,对齐并布置成马赛克。图13示出了图像集#1中的一个图像的两个放大区域。图13a取自图像的左边缘附近,图13b取自中心附近。图14a和14b示出了图像集#2中的一个图像的两个放大区域;图14a示出了从图像集#2边缘附近的图像,图14b示出了图像集#2的中心附近的图像。在图15a和15b中,来自所述校正图像集#1中的一个图像的两个放大区域在自校正图像集#2中一个图像的响应的放大区域的顶部有所示出。图15a和15b示出了完美的垂直对准,其中图像集#2的互连通孔与图像集#1中的金属线精确对齐。在图像的边缘附近和中心附近,这是真实的。相反,图16a和16b示出了相同的区域,但图像未被校正。当放大的区域在图像的边缘很好地对准时,图像中心附近的未对齐是显而易见的。

[0081] 虽然本发明描述了各种示例性实施例,但本发明并不限于公开的实施例。相反地,本发明旨在覆盖包含在所附的权利要求书范围之内的各种修改和等同布置。

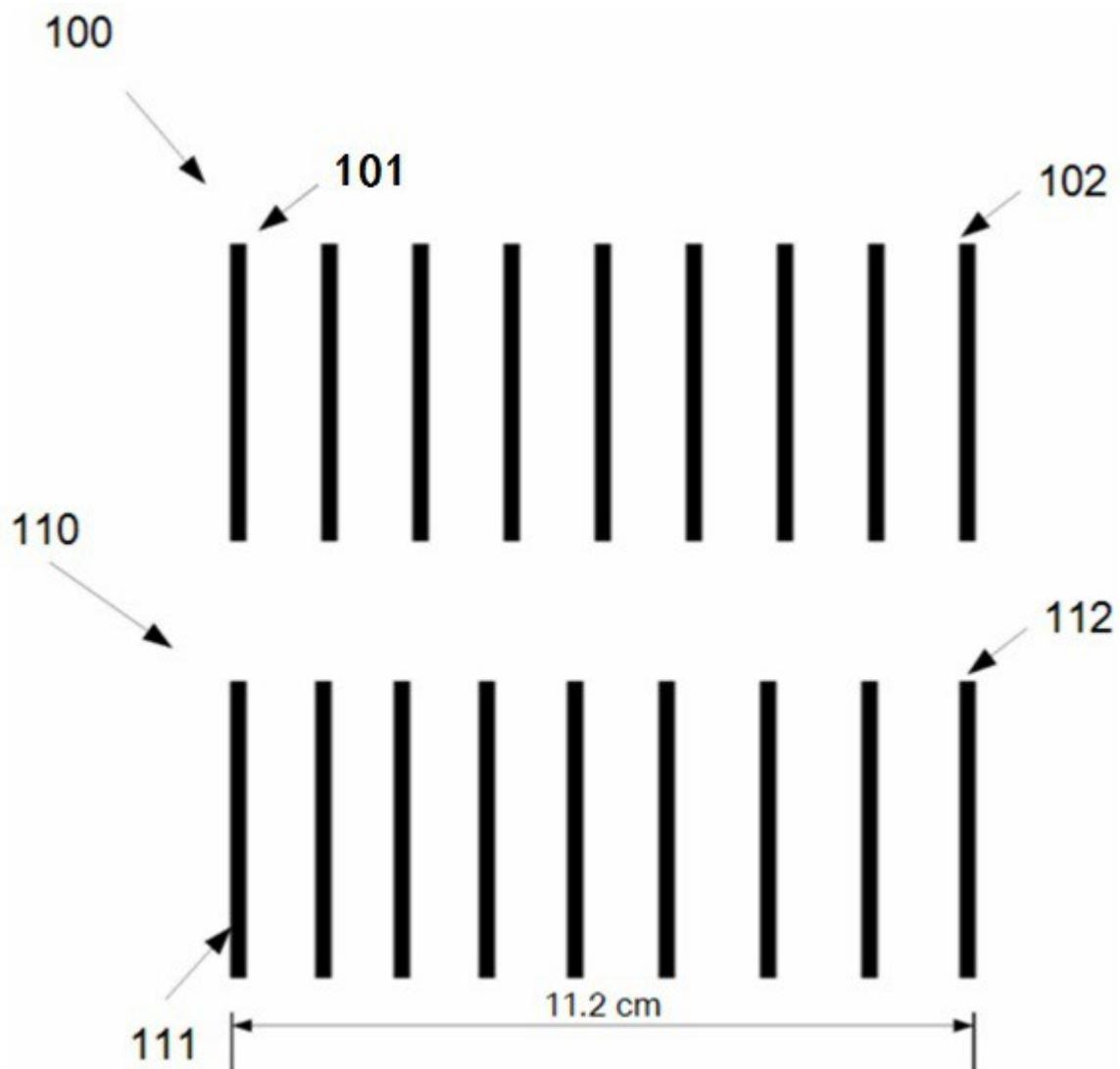


图1

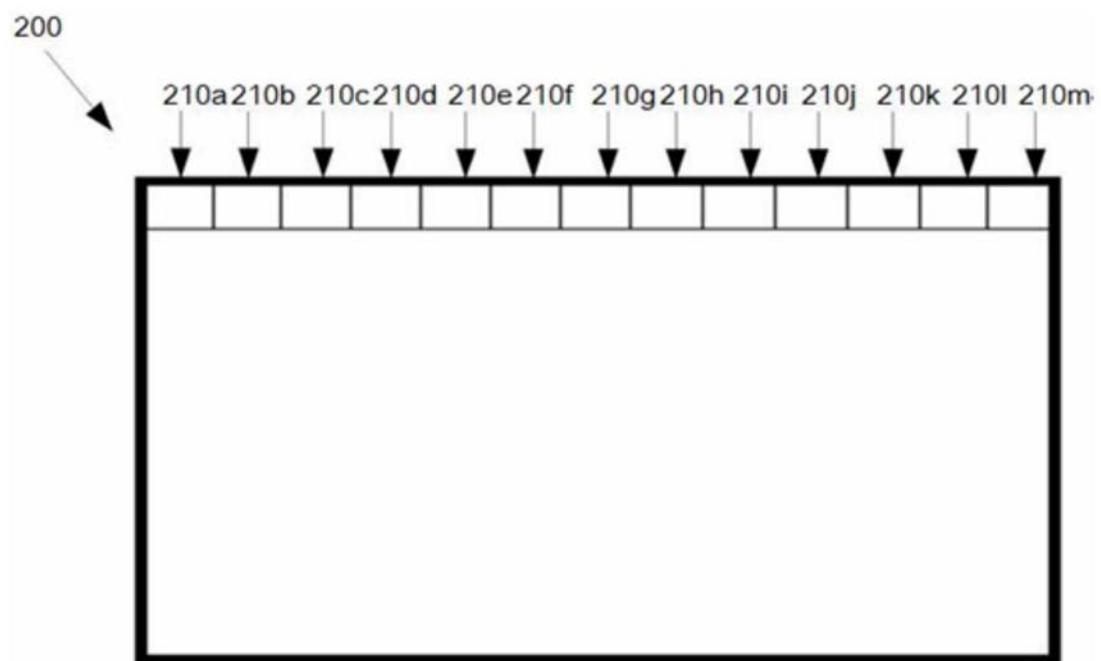


图2

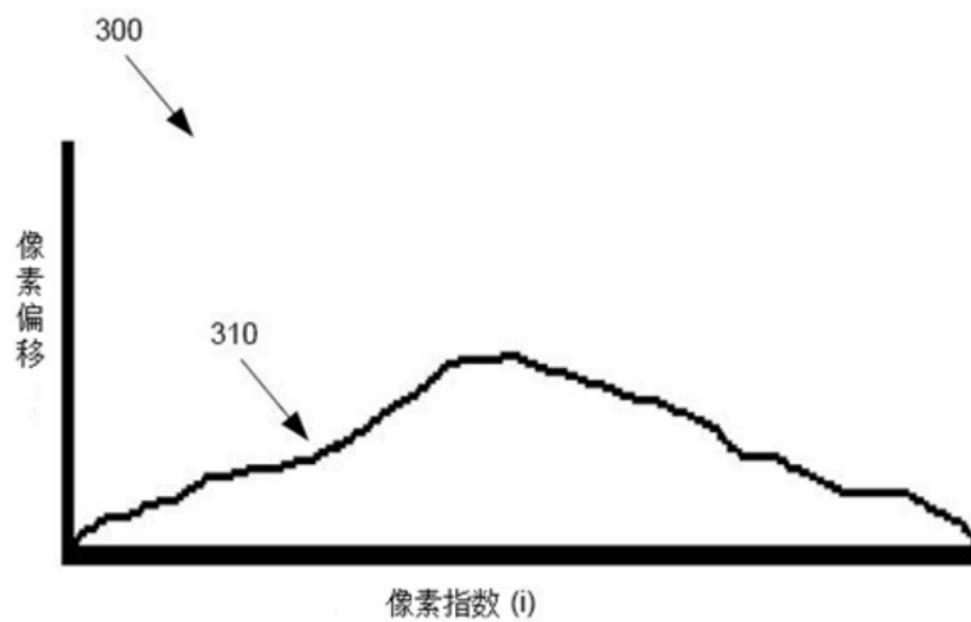


图3

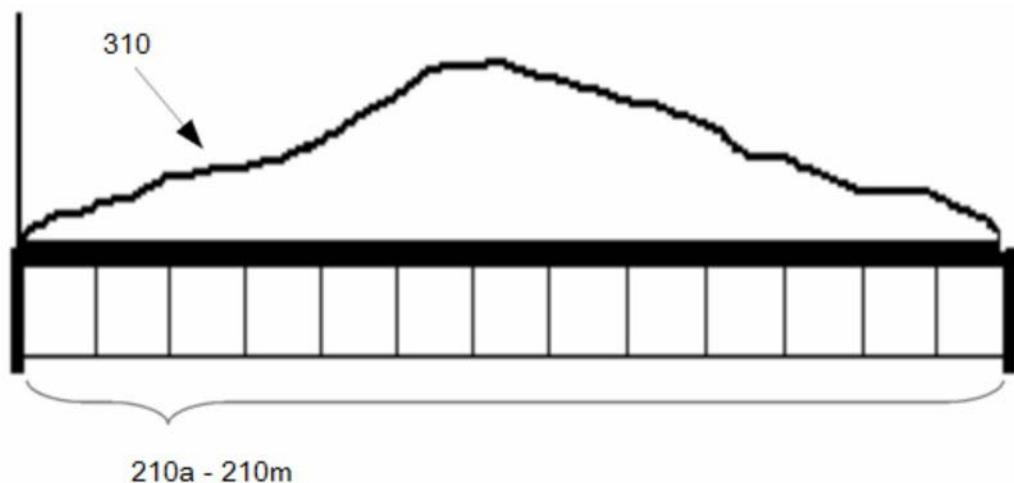


图4

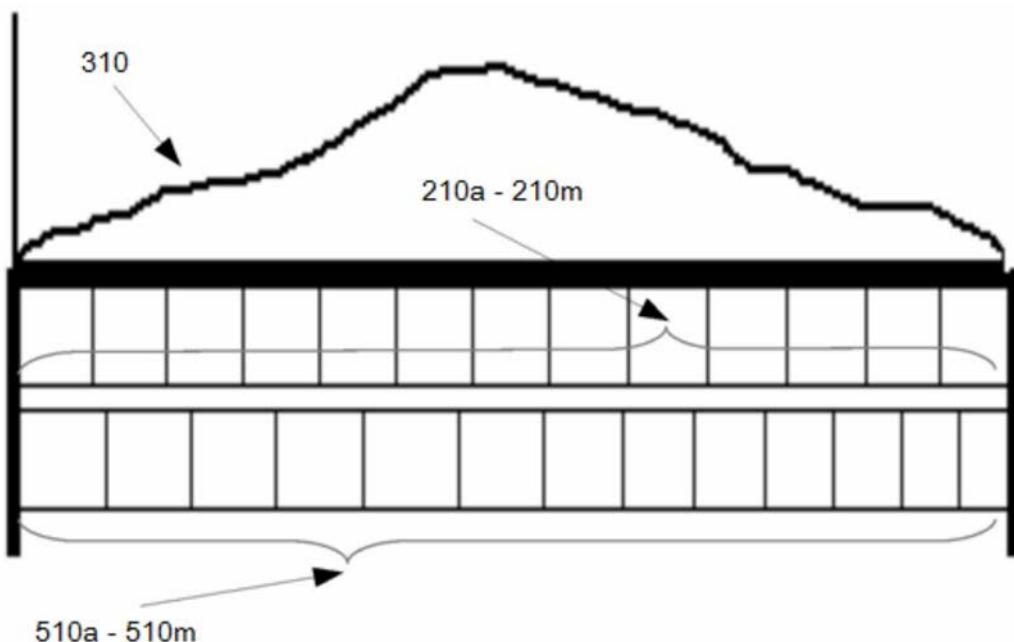


图5

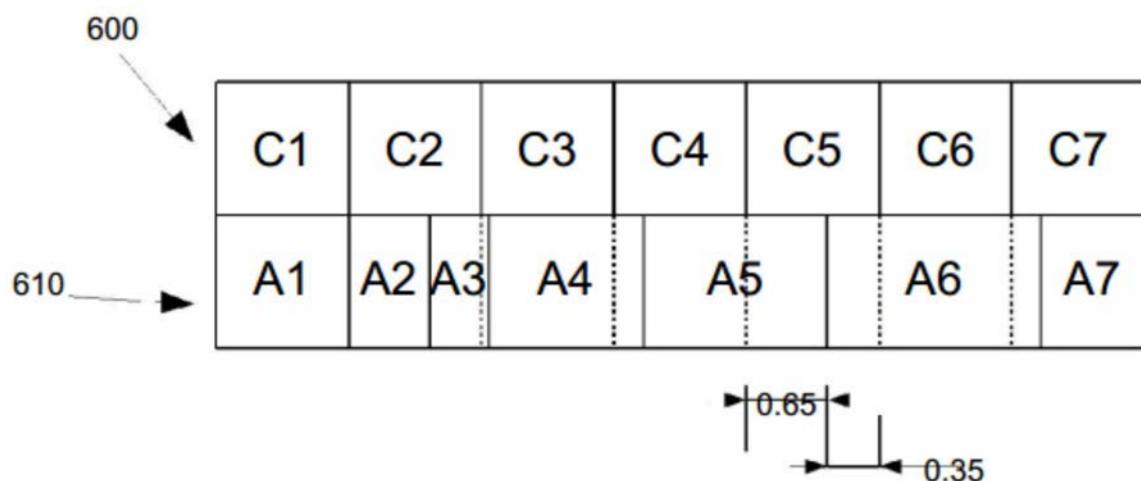


图6

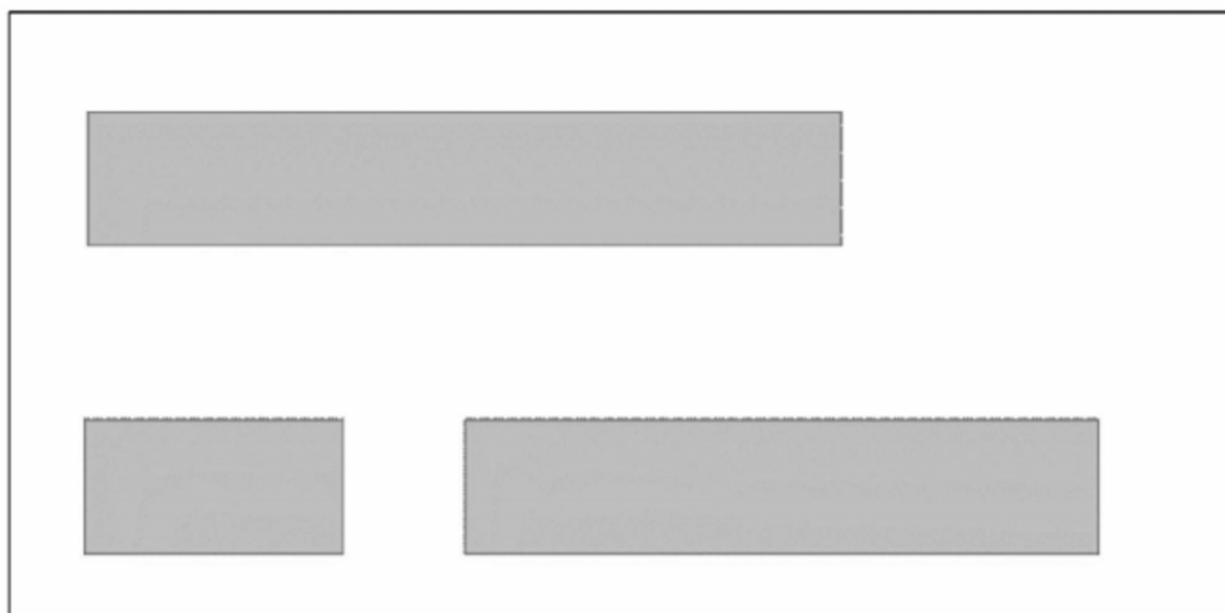


图7

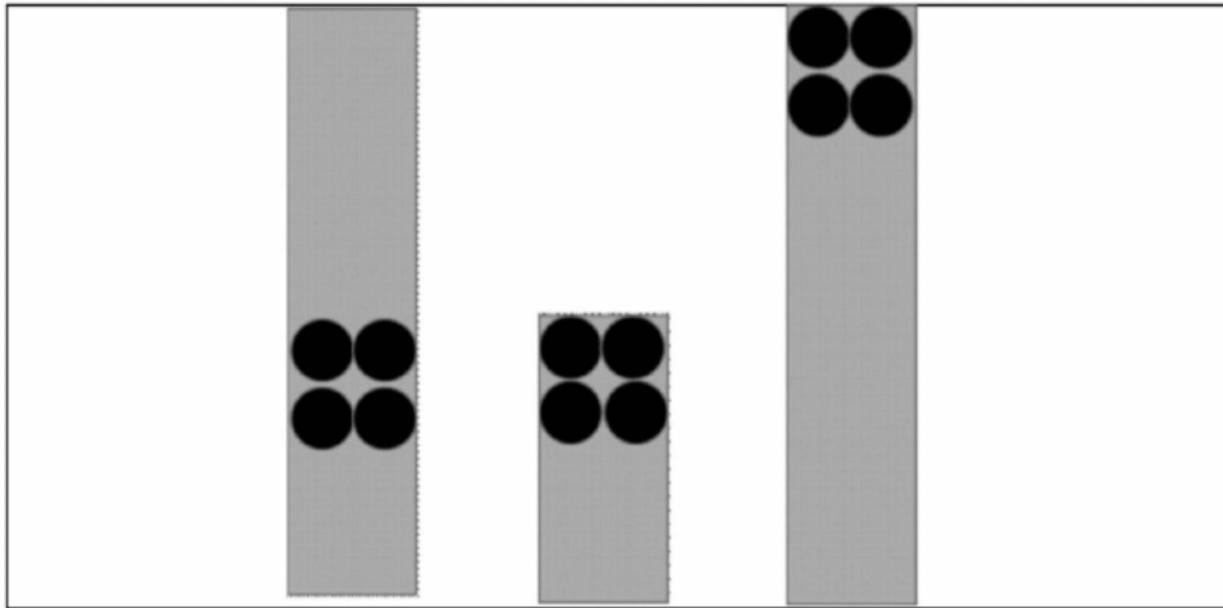


图8

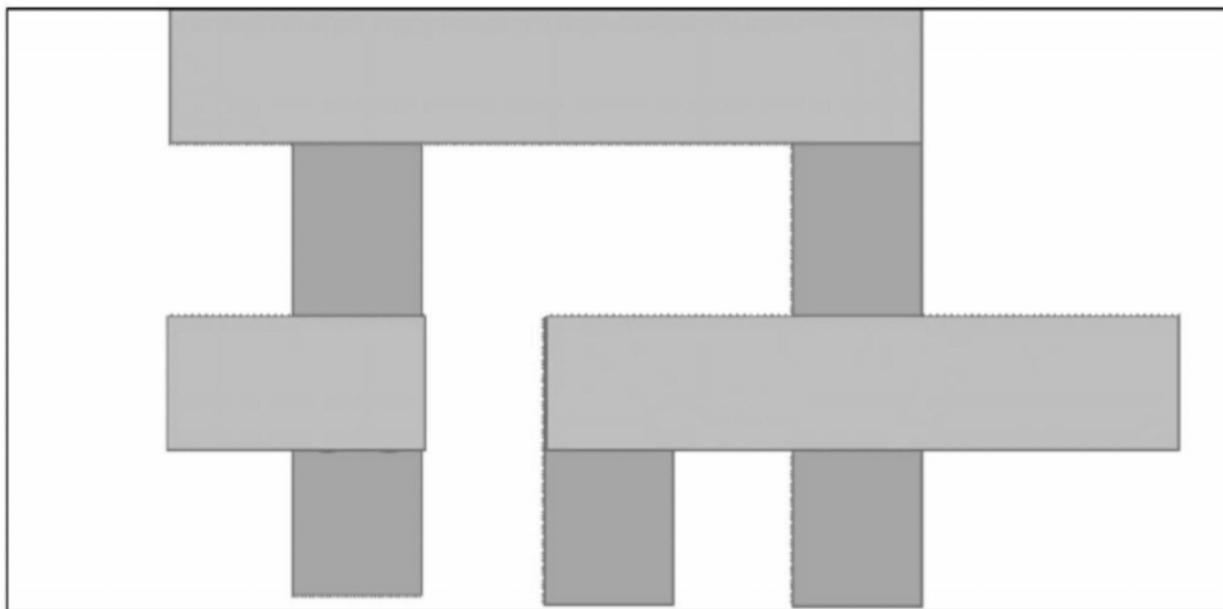


图9

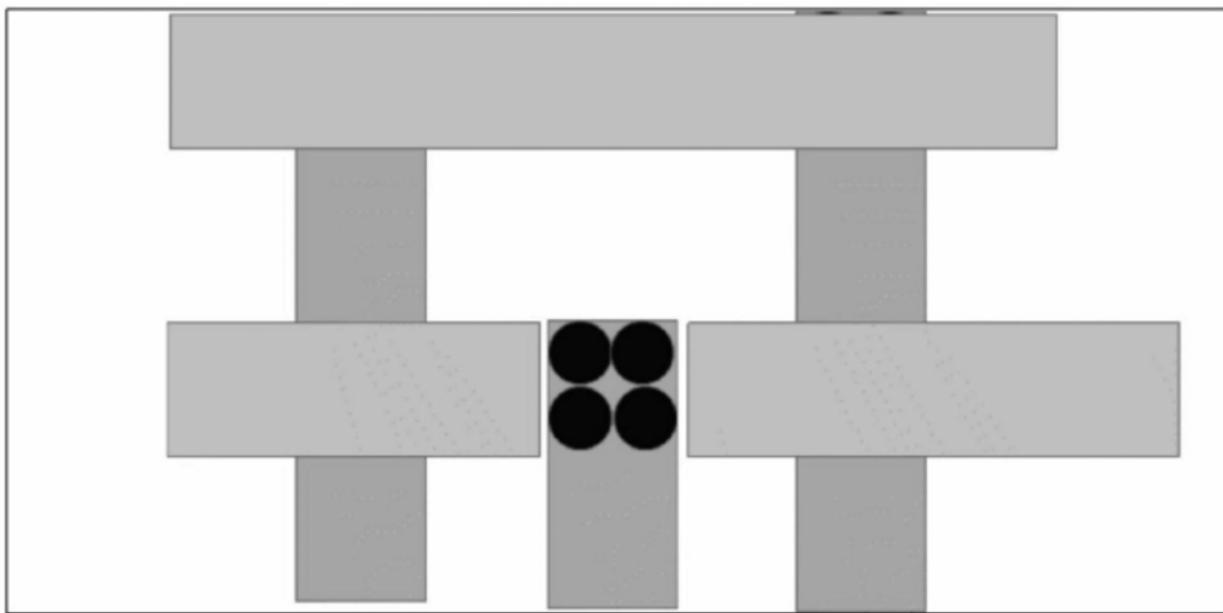


图10

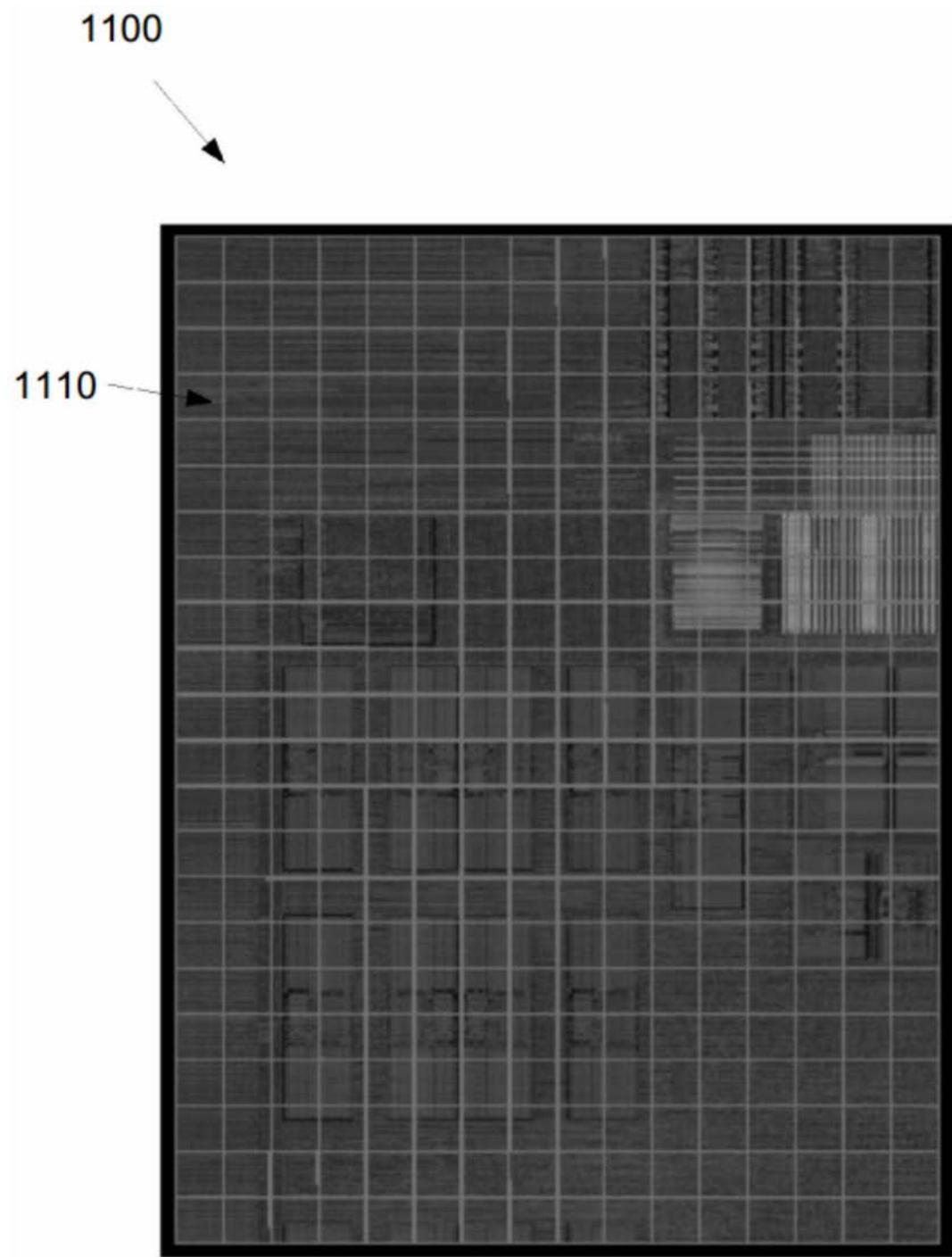


图11

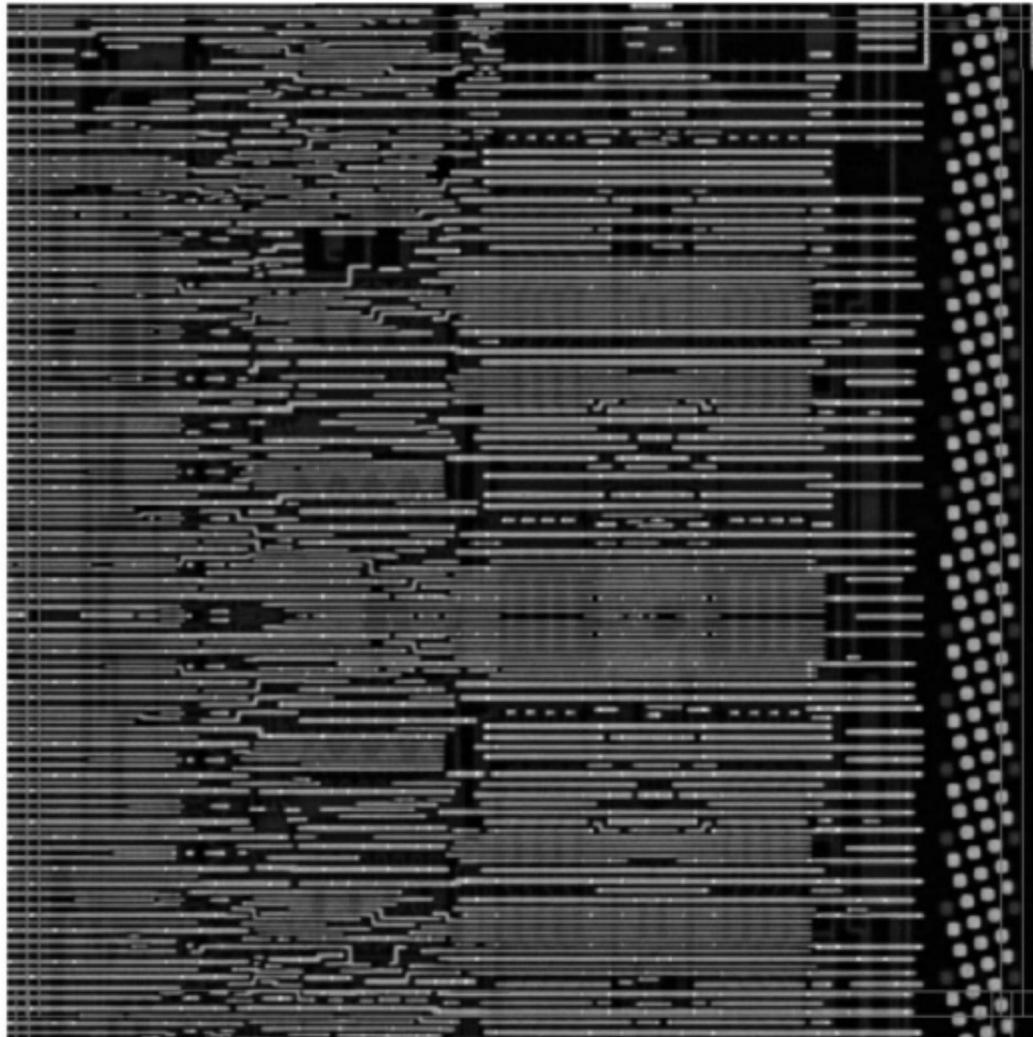


图12

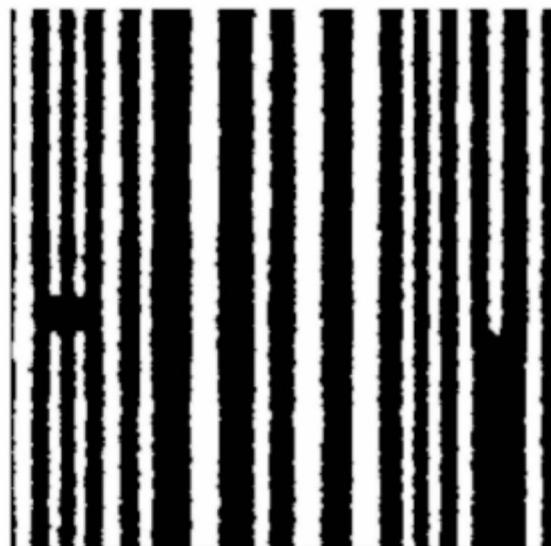


图13a



图13b



图14a

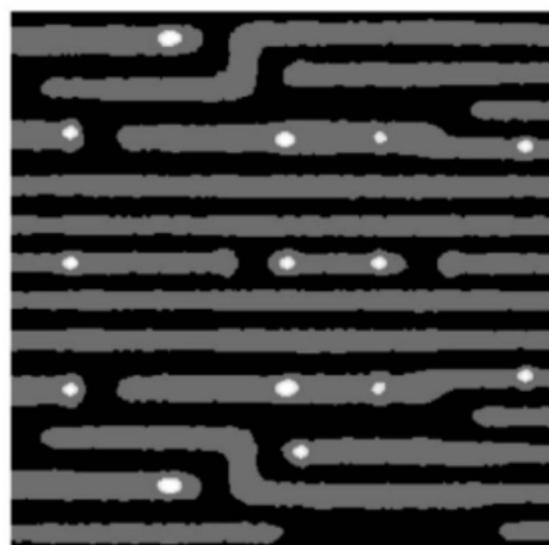


图14b

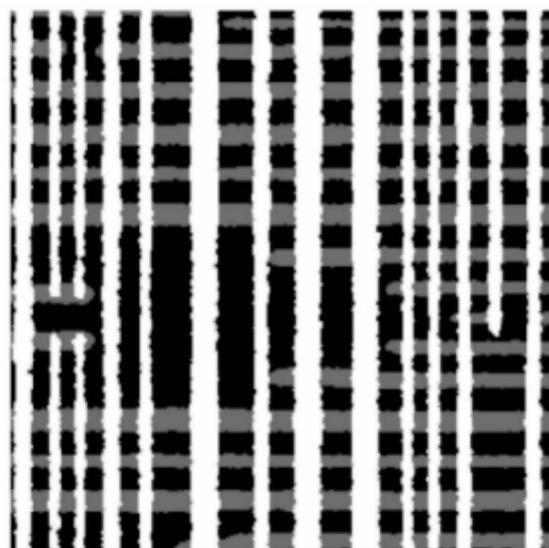


图15a

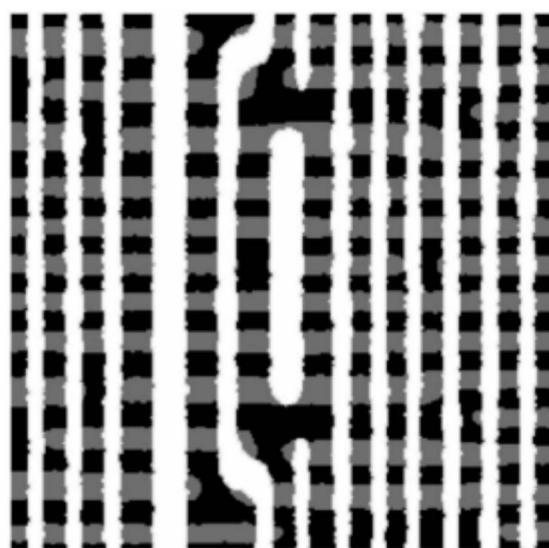


图15b

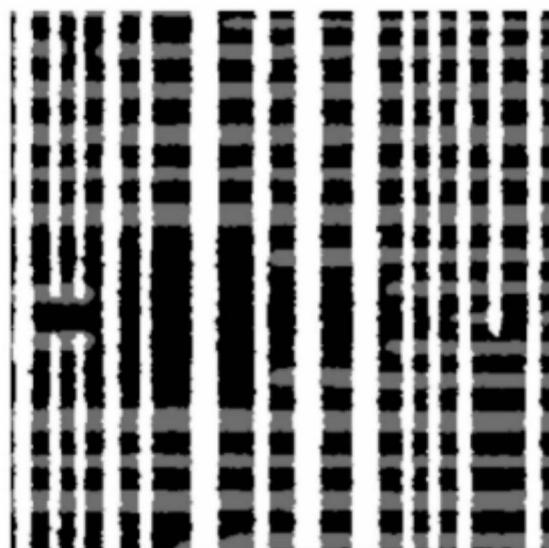


图16a



图16b