



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105264635 B

(45)授权公告日 2018.11.20

(21)申请号 201380074020.7

(22)申请日 2013.12.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105264635 A

(43)申请公布日 2016.01.20

(30)优先权数据

61/747516 2012.12.31 US

61/747515 2012.12.31 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.08.28

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/078315 2013.12.30

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/106182 EN 2014.07.03

(73)专利权人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 S.斯通 S.H.李 J.布拉克伍德
M.施米德 H.H.金

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001

代理人 张凌苗 胡莉莉

(51)Int.Cl.

H01J 37/317(2006.01)

(56)对比文件

CN 102779713 A, 2012.11.14,
JP 特开2006-98189 A, 2006.04.13,
US 2008/0290291 A1, 2008.11.27,
US 2010/0288925 A1, 2010.11.18,

审查员 丁瑞平

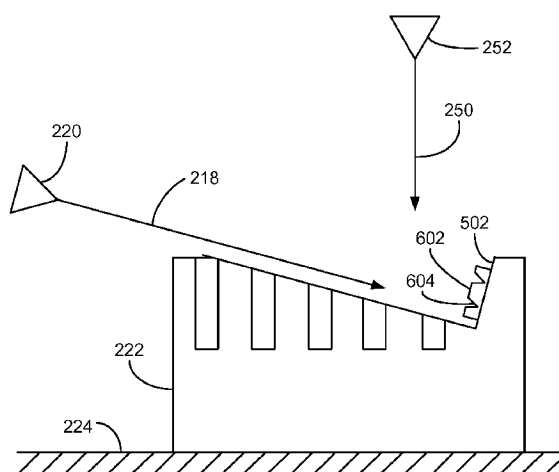
权利要求书1页 说明书9页 附图10页

(54)发明名称

用于利用带电粒子束的倾斜或掠射研磨操
作的基准设计

(57)摘要

一种用于利用带电粒子束分析样本的方法，所述方法包括将束引导向样本表面；研磨表面以暴露在样本中的第二表面，其中研磨在离子源远侧的第二表面的端部到比在离子源近侧的第一表面的端部大的相对于参考深度的深度；将带电粒子束引导向第二表面以形成第二表面的一个或多个图像；通过检测电子束与第二表面的相互作用，形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像；将横截面的图像装配成感兴趣的特征中的一个或多个的三维模型。提供了一种用于改进的基准和在纳米级三维结构中形成确定暴露的特征的深度的方法。



1. 一种用于利用带电粒子束分析样本的方法,所述方法包括:
将带电粒子束引导向样本的第一表面;
研磨第一表面以暴露在样本中的第二表面,其中研磨在离子源远侧的第二表面的端部到比在离子源近侧的第一表面的端部大的相对于参考深度的深度;
将带电粒子束引导向第二表面以形成第二表面的一个或多个图像;
通过检测电子束与第二表面的相互作用,形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像;
将横截面的图像装配成感兴趣的特征中的一个或多个的三维模型。
2. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:
研磨第二表面以暴露第三表面,第三表面在样本内比第二表面更深;
将带电粒子束引导向第三表面以形成第三表面的一个或多个图像;
通过检测电子束与第三表面的相互作用,形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像。
3. 如权利要求2所述的方法,其中根据第二表面形成的图像和根据第三表面形成的图像被假设为形成感兴趣的特征中的一个或多个特征的三维模型。
4. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中由离子束执行研磨。
5. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中利用电子束形成图像。

用于利用带电粒子束的倾斜或掠射研磨操作的基准设计

技术领域

[0001] 本发明涉及带电粒子束研磨,并特别地涉及形成用于扫描电子显微镜的平面横截面视图的方法。

背景技术

[0002] 在多种应用中使用带电粒子束系统,包括诸如集成电路、磁记录头和光刻掩膜之类的微制造器件的制造、修理和检查。诸如从本发明的受让人FEI公司商业上可获得的DualBeam之类的双束系统通常包括可以以对目标的最小损害提供高分辨率图像的扫描电子显微镜(SEM)以及可以被用于改变衬底和形成图像的离子束系统,所述离子束系统诸如聚焦或成形束系统(FIB)。这样的双束系统例如在Hill等人的美国专利号7,161,159中被描述,所述专利通过引用其整体而被并入到本申请中。在某些双束系统中,定向FIB与垂直方向成诸如52度的角度并且垂直地定向电子束镜筒(column)。在其他系统中,电子束镜筒是倾斜的并且FIB被垂直地定向或者也是倾斜的。在其上安装样本的台架(stage)可以通常是倾斜的,在某些系统中高达大约60度。

[0003] 用于双束系统的普通应用是在微制造期间分析缺陷和其他故障以寻找故障、调整和改进微制造工艺。缺陷分析在包括设计验证诊断、生产诊断的半导体生产的所有方面以及微电路研究和开发的其他方面中是有用的。随着器件几何形状继续缩小和引入新材料,今天的半导体的结构复杂性以指数方式增长。用这些新材料产生的许多结构是凹腔(re-entrant)、向后穿透先前的层。因此,器件故障的缺陷和结构性原因经常远远隐藏在表面之下。

[0004] “逆向处理(deprocessing)”意味着移除结构以暴露下层结构。某些时候逆向处理对于表征埋入的结构是必要的。当前的逆向处理技术集中于递送数据以及以平面形式访问(access)结构——精心制作研磨器(mill)以产生与器件表面正交的表面,以便允许成像、探测或其他定位技术。同样地,劈开晶片或平行重叠地(lapping)逆向处理产生信息/对结构的访问的平面。当前的成像和故障隔离技术(微探测、扫描电容显微镜检查,电压衬度成像)访问该平面表面以提供结构/度量学数据或者用于进一步隔离故障的电信息。

[0005] 相应地,缺陷分析经常要求在三维基础上的横截和观察缺陷。能够执行三维缺陷分析的更好的系统比以往更加重要。这是因为存在隐藏的和/或更小的更多缺陷,并且另外在许多情况下需要化学分析。此外,用于缺陷表征和故障分析的结构性诊断解决方案需要在较少的时间中递送更可靠的结果,允许设计者和制造商自信地分析复杂的结构性故障、理解材料成分和缺陷的源,并且增加产量。

[0006] 另外,虽然将在现有技术集成电路中的感兴趣的大部分区域限制于在正常平面区域中(即,SRAM或NAND闪存单元占据不同的X和Y位置,其中活跃的小体积在Z方向上)的集成电路(IC)器件的小体积,但是演进新的技术需要在三维的感兴趣的体积(VOI)的更多不同的隔离。因为将有源区限制于衬底晶片表面,所以当前技术感兴趣区域(ROI)的标识通常涉及X/Y位地址、在管芯(die)上的门(gate)X/Y地址,或者某些其他必要的X/Y定位数据。新兴

的3D IC制造技术没有将有源区域限制于在Z方向上的一个平面。有源区域具有许多级的有源器件。X、Y和Z坐标信息是必需的。

[0007] 图1示出了用于使用如在现有技术中已知的双束SEM/FIB系统暴露横截面的方法。通常,为了分析在样本102内的特征,聚焦的离子束(FIB)暴露垂直于具有将被查看的隐藏的特征的样本材料的表面112的顶部的横截面或面108。因为SEM束轴106通常相对于FIB束轴104成锐角,所以优选地移除在面的前面的样本的一部分以使得SEM束可以具有访问以对所述面成像。现有技术方法的一个问题是通常必须沿着沟槽的长度暴露大量横截面以形成适当地表征沟槽的足够大小的样本的集合。

[0008] 针对相对于由FIB造成的开口(opening)为深的特征,现有技术方法遭受降低的信噪比。情况与使闪光照进深孔中以尝试形成孔的侧面的图像的情况类似。例如,典型的铜互连沟槽是5-8纳米(nm)宽、120纳米深。来自SEM的电子中的许多电子保留在沟槽中并且不被散射回到检测器。

[0009] 例如在缺陷分析应用中的另一缺点是必须沿特征的长度取许多横截面以找到缺陷。这可以是耗时的过程。如果缺陷位于横截面之间,那么可能错过该缺陷或者必须取更多的横截面,增加验证过程的时间的长度。

[0010] 当将离子束用于暴露3D IC或三维纳米级结构的一部分用于分析时,不仅仅精确地确定感兴趣的特征的X-Y坐标还精确地确定Z坐标可以是必要的,所述Z坐标即在工件表面之下的特征的深度。对于处理纳米级的特征,现有技术不是充分准确的。

[0011] 经常将基准用于定位在样本工件上的感兴趣的特征。当以另一倾斜的定向查看时,以FIB在一个定向上在样本上制定(make)的基准不提供最优特征用于成像和后续的FIB研磨参考。

发明内容

[0012] 本发明的实施例针对用于利用带电粒子束分析样本的方法和系统。方法的实施例包括将带电粒子束引导向样本的表面;研磨表面以暴露在样本中的第二表面,其中研磨在离子源远侧的第二表面的端部到比在离子源近侧的第一表面的端部大的相对于参考深度的深度;将带电粒子束引导向第二表面以形成第二表面的一个或多个图像;通过检测电子束与第二表面的相互作用形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像;以及将横截面的图像装配成感兴趣的特征中的一个或多个的三维模型。

[0013] 本发明的另一实施例涉及用于在样本上形成基准的方法和系统。方法的实施例包括定位样本以使得带电粒子束被引导向样本用于第一研磨操作,以基本上正交于第二角度的第一角度引导带电粒子束;将带电粒子束引导向样本以研磨在基本上平行于带电粒子束的样本上的面;研磨在基本上平行于带电粒子束的样本上的面;在样本的被研磨的面上形成基准;以及定位样本以使得带电粒子束被引导向样本用于第二研磨操作,以第二角度引导带电粒子束,第二角度相对于样本表面不大于十度。

[0014] 在另一实施例中,使用切割的角度确定在纳米级的三维结构中的暴露的特征的深度,所述切割的角度暴露来自切割的边缘或者来自参考标志的水平特征的特征和距离。

[0015] 本发明的实施例还包括用于执行上文提及的方法的系统。系统包括聚焦的离子束系统、扫描电子显微镜和样本台架。

附图说明

- [0016] 为了更彻底地理解本发明及其优点,现在连同附图参考以下的描述,其中:
- [0017] 图1示出了用于使用如在现有技术中已知的双束SEM/FIB系统暴露横截面的方法;
- [0018] 图2示出了显示离子束以掠射角(glancing angle)研磨样本222的顶表面;
- [0019] 图3示出了在执行掠射角研磨操作之后的样本工件的侧视图,其中多个相邻的特征基本上相同;
- [0020] 图3A示出了使用来自孔304、306、308和310的测量和不同的深度形成的“虚拟”孔312;
- [0021] 图4示出了在执行掠射角研磨操作之后的样本工件222的俯视图,其中多个相邻特征302-310基本上相同;
- [0022] 图5示出了样本工件222的侧视图,已经定向所述样本工件222用于研磨面502,面502将接近于正交/垂直于最后的研磨定向;
- [0023] 图6示出了具有在面502上形成的三维基准602的样本工件222的侧视图;
- [0024] 图7是示出了根据本发明的实施例的形成适于掠射角研磨的基准的步骤的流程图700;
- [0025] 图8示出了适于实现本发明的一个或多个实施例的典型的双束FIB/SEM系统800;
- [0026] 图9是示出了根据本发明的一个或多个实施例的执行样本分析的步骤的流程图900;
- [0027] 图10示出了具有三维纳米级结构的样品;以及
- [0028] 图11是示出了本发明的另一实施例的流程图。

具体实施方式

[0029] 通过引用其全部而被并入到本文中的美国专利申请系列号13/710,931公开了样本分析方法,所述方法不是使用正交定向的FIB来暴露的横截面的序列,而是利用掠射角研磨技术,其中以相对于样本表面的非常小的角度对FIB定向,优选地以不大于 10° 的角度。因为以相对于样本表面的这样的小角度定向离子束,所以相对于离子源的被研磨掉的样本材料的量将更大。即,研磨暴露的表面到样本的端部上的较大深度,该样本的端部相比于最接近于离子源的端部距离离子源最远。这使得暴露的表面具有相对于原始样本表面的向下的斜坡。一旦已经暴露了倾斜的样本表面,然后就可以例如利用电子束自上而下对暴露面成像。按照提供的结构信息,暴露的倾斜面的图像将本质上是平面视图和多个横截面视图的组合。

[0030] 图2示出了离子束以掠射角研磨样本222的顶表面。在图2的实施例中,将样本222安装在标准的 45° 预倾斜的样本桩(stub)202上,所述样本桩202继而安装在诸如双束SEM/FIB之类的离子束系统中的倾斜样本台架224上。定向电子束和离子束,其中电子束250正交于非倾斜样本台架并且与离子束218成大约 52° 的角度。在其他实施例中,未使用预倾斜样本桩202并且通过样本台架倾斜和/或镜筒倾斜设置样本的倾斜。

[0031] 根据本发明的实施例,掠射角研磨技术被用于以渐增的深度形成感兴趣的特征的连续的平面横截面视图。然后重建连续的平面横截面视图以在渐增深度的方向上形成感兴

趣的特征的三维模型(“3D”)。本发明的实施例特别良好地适于形成多个相邻特征的连续的平面横截面视图,所述多个相邻特征基本上相同,诸如硅通孔(TSV)。材料离束源越远,掠射角研磨移除材料到越大的深度。针对基本上相同的多个相邻特征,将距离束源最远的特征研磨到比更接近束源的特征更大的深度。可以选择掠射角研磨的角度,使得可以重建在多个相邻特征中的每个上形成的部分以形成一个感兴趣的特征的三维模型。即,可以利用一个研磨操作而不是多个研磨操作制作3D模型,形成一个感兴趣的特征的连续的更深横截面并且将它们重建为3D模型,这相当大地减少处理时间。

[0032] 图3示出了在执行掠射角研磨操作之后的样本工件222的侧视图,其中多个相邻特征302-310基本上相同。从离子束源220以相对于样本工件222的顶表面的掠射角来引导聚焦的离子束218。因此,特征310比特征304被研磨到更大的深度。从电子束源252以相对于样本工件222的顶表面几乎正交的角度引导电子束250以形成多个相邻特征302-310的横截面的图像。申请人已经认识到,半导体制造过程通常充分受控,使得被设计为具有相同形状的附近的结构事实上本质上相同。通过组合多个本质上相同的特征的不同深度处的测量形成三维图像比多次测量在不同的深度处的单个特征地研磨单个特征快得多。

[0033] 因为多个相邻特征302-310基本上相同,并且以沿着特征的变化的深度制造多个相邻特征302-310的横截面,那些特征的横截面的图像可以被计算机软件装配以形成接近特征中的一个的3D模型。即,在暴露在倾斜表面上的不同深度处测量特征302、304、306、308和310的直径。图3A示出了使用来自孔304、306、308和310的测量和不同的深度形成“虚拟”孔312。虽然虚拟孔312被示出为根据四个测量形成的示例,但是来自相同的结构的测量的实际数量可以大得多。垂直分辨率将取决于束218切割工件的角度和在相同的特征之间的距离。即,以更浅的角度,在相邻结构的测量之间的深度上的差别将更小。如果需要更高的垂直分辨率,则根据相同的特征的三维重建过程可以与附加的研磨操作组合。例如,如果来自以不同深度暴露的相同的结构的测量提供了针对每50 nm的深度的测量,则在初始测量之后,束218可以从倾斜表面研磨25 nm并且可以执行测量的另一集合,在第二集合中的每个测量来自不同于在第一集合中的测量的深度。例如,在第一集合中的测量可以来自100 nm、150 nm、200 nm等的深度。在研磨之后,在第二集合中的测量可以来自125 nm、175 nm、225 nm等的深度。梳理(combing)测量的两个集合提供在每25 nm的垂直高度处的测量,并且可以将测量组合成一个虚拟特征。特征不限于孔,但可以是重复的任何特征。步骤是本质上以浅角度研磨工件;测量沿着被研磨的面以不同的深度暴露的基本上相同的特征的尺寸;然后,组合不同特征的测量以确定处于单个虚拟特征的不同深度的尺寸;以及可选地,以附加的测量步骤执行附加的研磨步骤以提供在不同的深度处的附加测量来改进虚拟特征的测量的垂直分辨率。

[0034] 图4示出了在执行掠射角研磨操作之后的样本工件222的俯视图,其中多个相邻特征302-310本质上相同。

[0035] 取决于研磨的角度以及多个相邻特征的几何形状和间隔,可能需要以渐增的深度执行若干掠射角研磨来获得足够的横截面以提供用于3D模型的足够的分辨率。例如,如果研磨的角度太陡或多个相邻特征在水平方向上相隔太远或两者,则相邻特征的横截面在垂直方向上可能相隔太远。即,相邻特征的横截面可能在深度上不足够接近并且在垂直方向上,两者之间可以存在间隙。可以执行后续的掠射角研磨操作以在较大的深度处获得横截

面图像的第二集合。

[0036] 在某些半导体应用中,多个相邻特征可以具有小于10 纳米(nm)的尺寸。因此,后续的掠射角研磨操作可以仅比先前的掠射角研磨操作深1-2 nm。研磨操作的准确放置对于获得准确的横截面和准确的3D模型是关键的。然而,因为以掠射角引导FIB,所以使用感兴趣的特征的图像的束的准确放置是困难的。通常将基准用于定位样本工件上的特征。然而,被用于定位样本工件上的特征的典型基准被放置在样本工件的顶表面上,用于自上而下的束成像。被放置在样本工件的顶表面上的基准在掠射角研磨操作的情况下具有若干缺点。基准通常被放置在样本工件的顶表面上。FIB的掠射角使得难以利用FIB在样本工件的顶表面上观察基准用于束放置。而且,因为后续的掠射角研磨操作可以仅比先前的掠射角研磨操作深1-2 nm,所以在样本工件的顶表面上的基准可能距被研磨的表面的底部太远而不能提供针对准确的束位置的参考。

[0037] 根据本发明的实施例,以与到FIB的最终研磨位置更正交的定向产生基准。为了做到这一点,需要产生将接近于正交/垂直于最后研磨定向的被研磨的面,然后将样本定向到研磨位置并且在被研磨的面中产生基准。图5示出了样本工件222的侧视图,已经定向所述样本工件222用于研磨将接近于正交/垂直于最后的研磨定向的面502。通过旋转样本台架180度并且倾斜台架使得当执行掠射角研磨操作时,离子束218基本上垂直或正交于离子束的入射角而可以以该定向防止样本工件222。当执行掠射角研磨操作时,面502还基本上垂直或正交于该离子束的入射角,使能在束成像和图案化期间的更高质量的基准用于参考。然后在面502中研磨基准。

[0038] 替代地,可以在面502上形成三维基准。通过引用其全部而被并入到本文中的美国专利申请系列号13/112,981公开了以可检测程度延伸到在样本的表面上方的三维的三维基准。三维(“3D”)基准是可以从不同的角度同时识别的单个参考点。通过在感兴趣的区域附近的样本上沉积材料的块并且然后将独特的图案研磨到顶部和侧面中来构造3D基准。相对于背景块材料,这些图案将具有不同的亮度和对比度值,这虑及图像识别。可以根据一个或多个束以及根据各个台架倾斜和旋转位置来识别基准。3D基准虑及在几乎垂直的平面上使用图像识别的FIB切割放置。例如,可以将基准标志切割入凸起的铂衬垫的顶部和侧面,这允许从该掠射角的离子束图像识别。

[0039] 图6示出了具有形成在面502上的三维基准602的样本工件222的侧视图。通过使用电子束250或离子束218和已知的沉积方法在面502上沉积材料来形成3D基准602。3D基准602可以包括被蚀刻在基准中的一个或多个图案604,所述一个或多个图案604改进了基准602的对比度和可读性。因为基准602基本上正交于离子束218,所以可以利用基准602更精确地引导离子束218。而且,基准602和图案604更接近于利用掠射角研磨操作研磨的表面并且提供在顶表面基准之上的改进的参考点。

[0040] 图7是示出了根据本发明的实施例的、形成适于掠射角研磨的基准的步骤的流程图700。方法在开始框702处开始。在步骤704处,旋转和倾斜样本,使得将FIB引导向样本产生在掠射角研磨操作期间基本上垂直于FIB的样本上的面。在步骤706处,在掠射角研磨操作期间,将FIB引导向样本以产生基本上正交于FIB的样本上的面。在步骤708处,在掠射角研磨操作期间,在基本上正交于FIB的样本的面上沉积或蚀刻基准。还可以以图案蚀刻沉积的基准以改进对比度/识别度。在步骤710处,旋转和倾斜样本,使得将FIB引导向样本工

件执行掠射角研磨操作。

[0041] 图8示出了被用于实现本发明的一个或多个实施例的典型的束FIB/SEM系统800。聚焦的离子束系统800包括具有上颈部分812的排空外壳(envelope)811,离子源814和包括提取器电极和静电光学系统的聚焦镜筒816位于所述上颈部分812内。离子束818从离子源814朝向样本822穿过镜筒816以及以820示意地指示的静电偏转装置之间,其包括例如定位在下腔室826内的可移动样本台架824上的半导体器件。采用离子泵828用于排空颈部分812。在真空控制器832的控制下,利用涡轮分子(turbomolecular)和机械泵送系统830排空腔室826。真空系统在腔室826之内提供在大约 1×10^{-7} Torr和 5×10^{-4} Torr之间的真空。如果使用蚀刻辅助气体、蚀刻阻滞气体或沉积前驱体(precursor)气体,腔室的背景压力可以上升,通常到约 1×10^{-5} Torr。

[0042] 将高压电源834连接到离子源814以及连接到在聚焦镜筒816中的适当的电极用于形成离子束818并且向下引导向离子束818。根据由图案生成器838提供的规定的图案操作的偏转控制器和放大器836耦合到偏转板820,由此可以控制束818以在样本822的上表面上描绘(trace out)出相应的图案。在某些系统中,在最后的透镜之前放置偏转板,如本领域中公知的那样。

[0043] 离子源814通常提供镱的金属离子束,虽然可以使用诸如多会切磁场(multicusp)或其他等离子体离子源之类的其他离子源。离子源814通常能够在样本822处被聚焦成次十分之一(sub one-tenth)微米宽的束用于通过离子研磨、增强的蚀刻、材料沉积修改样本822,或者出于对样本822成像的目的。将被用于检测次级离子或电子发射用于成像的带电粒子倍增器840连接到放大器842。放大的信号被转换成数字信号并且经受信号处理器单元843的信号处理。产生的数字信号用于在监视器844上显示工件822的图像。

[0044] 扫描电子显微镜841连同电源和控制单元845还被提供有FIB系统800。通过施加在阴极852和阳极854之间的电压,从阴极852发出电子束850。借助于聚光(condensing)透镜856和物镜858将电子束850聚焦于精细点。借助于偏转线圈860在标本上二维地扫描电子束850。由电源和控制单元845控制聚光透镜856、物镜858和偏转线圈860的操作。

[0045] 可以将电子束850聚焦在工件822上,所述工件822在下腔室826内的样本台架824上。当在电子束中的电子撞击工件822时,发射次级电子。由被连接到放大器842的次级电子检测器840或被连接到放大器842的反向散射电子检测器862检测这些次级电子。放大的信号被转换成数字信号并且经受信号处理器单元843的信号处理。产生的数字信号用于在监视器844上显示工件822的图像。

[0046] 气体输送系统846延伸到下腔室826中,用于引入气态蒸气并且将气态蒸气引导向样本822。Casella等人的美国专利号5,851,413“Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing”描述了合适的液体输送系统246,所述专利被转让给本发明的受让人。在Rasmussen的美国专利号5,435,850“Gas Injection System”中描述了另一气体输送系统,所述专利也被转让给本发明的受让人。

[0047] 打开门870,用于将样本822插入到可以被加热或冷却的样本台架824上,并且还用于为内部气体供应贮存器服务,如果使用所述内部气体供应贮存器的话。门被联锁以使得如果系统在真空中,则门不能被打开。高压电源向在离子束816中的电极提供适当的加速电压用于激励和聚焦离子束818。束FIB/SEM系统例如从本申请的受让人FEI公司、

Hillsboro, Oregon商业上可获得。

[0048] 图9是示出了根据本发明的一个或多个实施例的执行样本分析的步骤的流程图900。过程在终止符902处开始。在步骤904处,将离子束218引导向样本222的第一表面以研磨样本222的至少一部分。基准602被用作离子束放置的参考。在优选实施例中,第一表面是样本222的顶表面并且离子束218被以掠射角引导向顶表面的边缘附近而不是被以几乎垂直的角度引导向顶表面。在步骤906处,离子束218研磨第一表面以暴露在样本222中的第二表面,其中研磨在离子源214远侧的第二表面的端部到比在离子源814近侧的第一表面的端部大的相对于参考深度的深度。即,沿着暴露的第二表面的长度,将更远离束源的第二表面的端部研磨到比最接近束源的第二表面的端部更大的深度。深度上的差别是由于束相对于第一表面的角度。因为角度是掠射角,所以可以使得沿这整个第二表面的深度上的差别仅与将被分析基于的特征一样深。在步骤908处,将来自SEM 841的电子束250引导向第二表面用于形成第二表面的图像。在步骤910处,通过检测电子束与第二表面的相互作用,形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像。例如,可以将次级电子检测器240或反向散射电子检测器862用于从次级电子形成图像,当电子束250被引导向样本222的第二表面时发射所述次级电子。在步骤912处,装配在步骤910中形成的图像以形成感兴趣的特征的三维模型。

[0049] 当以角度使用FIB移除材料时,使深度以给定位置为目标是有用的。使用来自在表面上的位置的偏移,可以基于研磨的角度移除材料到目标的深度。即,利用产生的研磨角与聚焦的离子束的已知角度,可以通过距离表面标志/基准的位置的偏移,根据位置计算暴露面的深度的位置。使用计算,FIB可以被定位,从而当成角度研磨时,使其跨给定点处于目标深度。

[0050] 图10示出了3D集成电路1002的一部分,其中将倾斜表面1004切割入工件的顶表面1012。角度 θ 是精确已知的,由聚焦的离子束以所述角度 θ 切割表面1004。然后可以使用距斜坡的开始的水平距离 X_1 准确地确定特征1020的深度。根据三角法,深度 Z 等于 θ 的正切乘以 X_1 。 X_1 可以是难以确定的,因为由于在表面1004和表面1012之间的小的角度,控诉(indict)斜坡的开始的线1008可能难以被精确地定位。代替使用线1008作为参考特征,诸如基准标志1010之类的参考特征可以在顶表面中被研磨并且被用于确定 X_2 ,然后可以用于根据在基准标志和线1008之间的已知距离确定 X_1 。还可以在特征附近发现现有的特征或者现有的特征还可以被发现是感兴趣并且将其用作参考。参考特征优选地足够接近于感兴趣的特征,电子束或离子束可以对感兴趣的特征和参考特征两者成像而不移动台架。通过“水平距离”意味着在顶表面1012的平面中并且在正交于线1008的方向上,到对应于正交于特征的顶表面平面的、到顶表面平面上的投影的点的距离。

[0051] 图11描述了暴露结构并且确定在暴露的结构的面之下的深度的方法。在步骤1102中,感兴趣的区域位于工件上。可以例如使用计算机辅助设计(CAD)数据定位感兴趣的区域以提供在晶片坐标系中的区域的坐标。在可选的步骤1104中,相邻于感兴趣的区域研磨基准标志。在步骤1106中,优选地利用聚焦的离子束研磨浅沟槽以暴露埋入的特征。在距基准或其他参考特征指定的距离处优选地研磨沟槽。在某些实施例中,使用晶片坐标可以单独地确定沟槽位置而不使用局部参考标志,尽管局部参考标志的使用增加准确性。

[0052] 在步骤1106中研磨沟槽之后,通过在步骤1108中测量在沟槽的开始和基准之间的

距离 X_3 来确认沟槽相对于基准的位置 X_3 。这可以例如通过使用SEM自顶向下地观察基准和沟槽的开始来执行,或者可以倾斜样本以提供沟槽的不同角度的视图。如果在倾斜表面上观察到特征1020,则在步骤1110中可以通过测量从基准标志到特征的、在X-Y平面中的、平行于Y轴的距离来准确地确定该特征的深度。如在上文中描述的那样,可以然后将特征的深度计算为 θ 的正切乘以 X_1 ,其中 X_1 等于从基准到特征的距离 X_2 减去在基准和边缘1008之间的距离。在步骤1112中,可以使用在步骤1110中的深度确定,在已知的深度处执行附加的处理。

[0053] 可以将本发明的实施例用于指示深度以便在期望的深度处执行附加的研磨或其他处理。即,距基准的水平距离可以被用于确定暴露的特征的深度或者可以被用于确定在其处执行附加的处理的深度。

[0054] 本发明的实施例针对一种用于利用带电粒子束分析样本的方法。方法包括将带电粒子束引导向样本的第一表面;研磨第一表面以暴露在样本中的第二表面,其中研磨在离子源远侧的第二表面的端部到比在离子源近侧的第一表面的端部大的相对于参考深度的深度;将带电粒子束引导向第二表面以形成第二表面的一个或多个图像;通过检测电子束与第二表面的相互作用,形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像;以及将横截面的图像装配成感兴趣的特征中的一个或多个的三维模型。可以由离子束执行研磨。可以利用电子束形成图像。

[0055] 方法可以包括研磨第二表面以暴露第三表面,第三表面在样本内比第二表面深;将带电粒子束引导向第三表面以形成第三表面的一个或多个图像;通过检测电子束和第三表面的相互作用,形成感兴趣的多个相邻特征的横截面的图像。根据第二表面形成的图像和根据第三表面形成的图像可以被假设(assume)为形成感兴趣的特征中的一个或多个特征的三维模型。

[0056] 本发明的实施例还针对一种用于在样本上形成基准的方法,该方法包括定位样本以使得带电粒子束被引导向样本用于第一研磨操作,以基本上正交于第二角度的第一角度引导向带电粒子束;将带电粒子束引导向样本以研磨基本上平行于带电粒子束的样本上的面;研磨基本上平行于带电粒子束的样本上的面;在样本的被研磨的面上形成基准;以及定位样本使得带电粒子束被引导向样本用于第二研磨操作,以第二角度引导带电粒子束,第二角度相对于样本表面不大于十度。在某些实施例中,第二角度相对于样本表面不大于5度。在其他实施例中,第二角度相对于样本表面不大于1度。

[0057] 本发明的实施例还针对一种分析三维微观结构的方法,该方法包括在工件上定位感兴趣的区域;在工件中以指定的角度切割沟槽,沟槽暴露感兴趣的特征;确定在沟槽的边缘和感兴趣的特征之间的水平距离;以及根据指定的角度和水平距离确定在工件表面的平面之下的感兴趣的特征的深度。方法可以包括确定在沟槽的边缘和感兴趣的特征之间的水平距离,所述确定包括确定在参考标志和感兴趣的特征之间的水平距离以及确定在参考标志和沟槽的边缘之间的水平距离。方法可以包括使用相邻于感兴趣的区域的聚焦的离子束来研磨参考标志。在某些实施例中,参考标志是在工件上的预先存在的特征。方法可以包括在根据水平距离确定的指定深度处处理工件。

[0058] 本发明的实施例还针对一种用于执行本文描述的任何方法的系统,系统包括聚焦的离子束系统、电子显微镜以及用于支撑样本的样本台架。

[0059] 本发明的优选实施例还利用粒子束装置,诸如FIB或SEM,以便使用粒子的束来对

样本进行成像。被用于对样本成像的这样的粒子固有地与样本交互,导致某个程度的物理变换。进一步地,贯穿本说明书,利用诸如“分析”、“计算”、“确定”、“测量”、“生成”、“检测”、“形成”等的术语的讨论还指代计算机系统或类似的电子设备的动作和过程,其操纵被表示为在计算机系统之内的物理量的数据并将所述数据转换成类似地表示为在计算机系统或其他信息存储、传输或显示设备之内的物理量的其他数据。

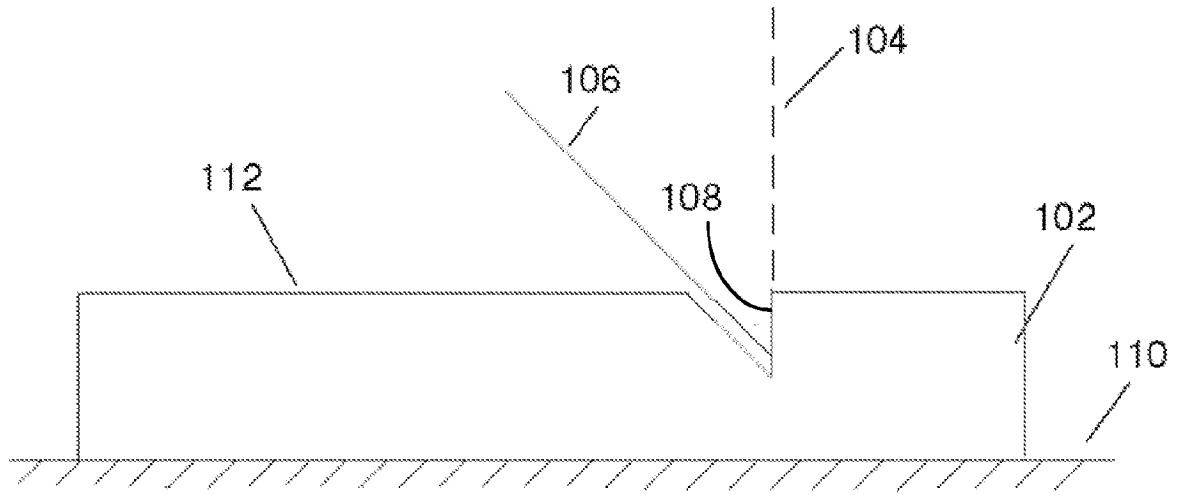
[0060] 本发明具有广泛的可应用性并且可以提供如在以上示例中描述和示出的许多益处。所述实施例将取决于具体应用而极大地变化,并且不是每个实施例都将提供所有益处并满足本发明可实现的所有目的。适于执行本发明的粒子束系统是商业上可获得的,例如来自本申请的受让人的FEI公司。

[0061] 尽管先前描述的大部分针对半导体晶片,但是本发明可以被应用于任何合适的衬底或表面。进一步地,无论何时在本文中使用术语“自动”、“自动化”或类似的术语,那些术语将被理解为包括自动或自动化过程或步骤的人工发起。在以下讨论中以及在权利要求书中,术语“包括”和“包含”以开放式方式使用,并且因此应被解释为表示“包括但不限于”。术语“集成电路”是指被图案化在微芯片表面上的电子部件及其互连(统称内部电气电路元件)的集合。术语“半导体芯片”一般地是指可以被集成到半导体晶片、与晶片分离或者被封装以供在电路板上使用的集成电路(IC)。术语“FIB”或“聚焦的离子束”在本文中用于指代任何准直射离子束,包括由离子光学聚焦的束以及成形的离子束。

[0062] 在本说明书中未具体定义任何术语的程度上,意图是术语将被赋予其简单和普通的含义。附图意图辅助理解本发明,并且除另有指示,否则不必按比例绘制。

[0063] 尽管已经详细描述了本发明及其优势,但是应理解,在不脱离如所附的权利要求书所限定的本发明的范围的情况下,本文可以做出各种改变、替换和变更。此外,本申请的范围不意图被限制为说明书中描述的过程、机器、制造、物质的成分、装置、方法和步骤的特定实施例。如本领域普通技术人员容易根据本发明的公开容易理解的那样,可以根据本发明利用现有或之后将被开发的、执行与本文描述的相应的实施例基本上相同的功能或实现基本上相同的结果的过程、机器、制造、物质的成分、装置、方法或步骤。相应地,所附的权利要求书意图在其范围之内包括这样的过程、机器、制造、物质的成分、装置、方法或步骤。

[0064] 我们要求保护如下。



现有技术

图 1

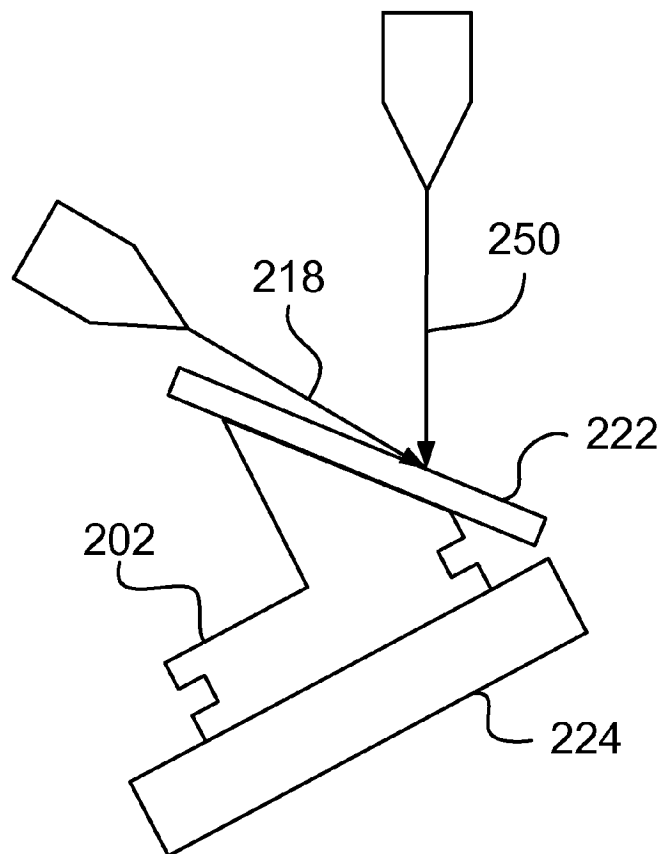


图 2

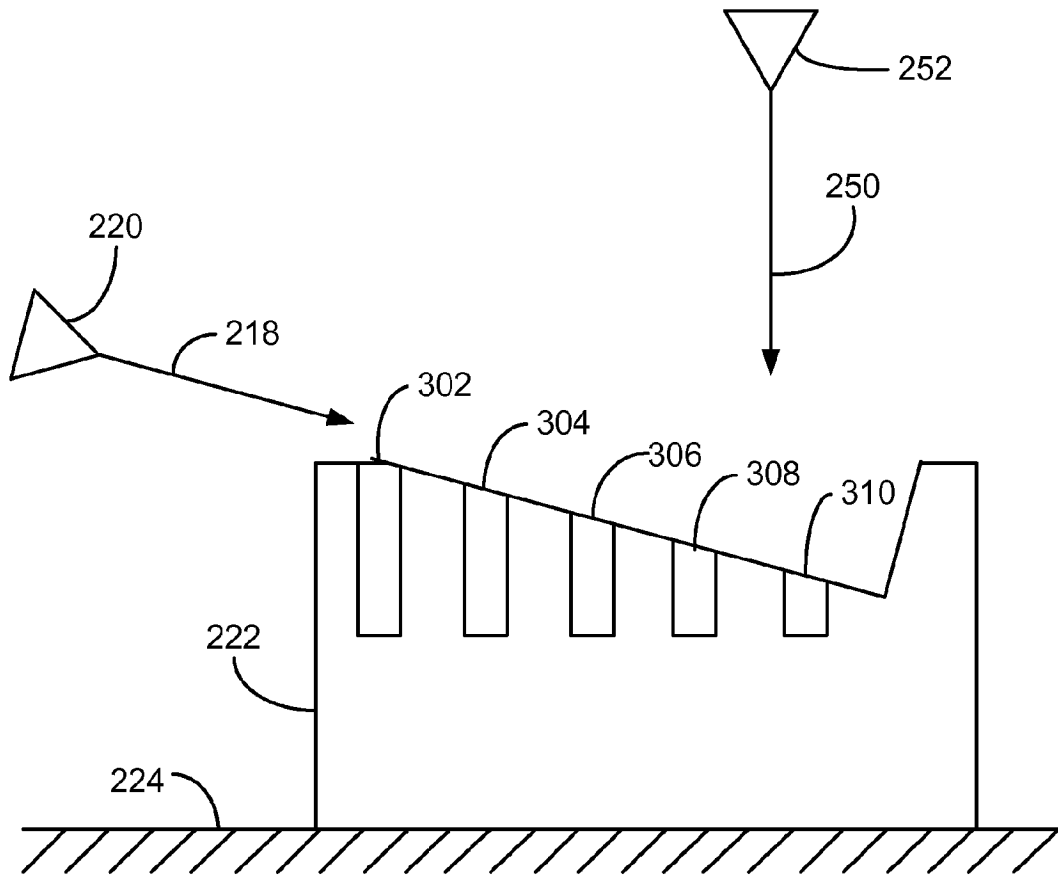


图 3

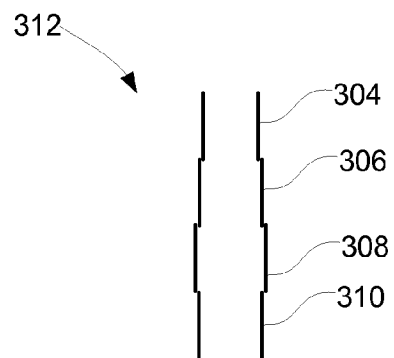


图 3A

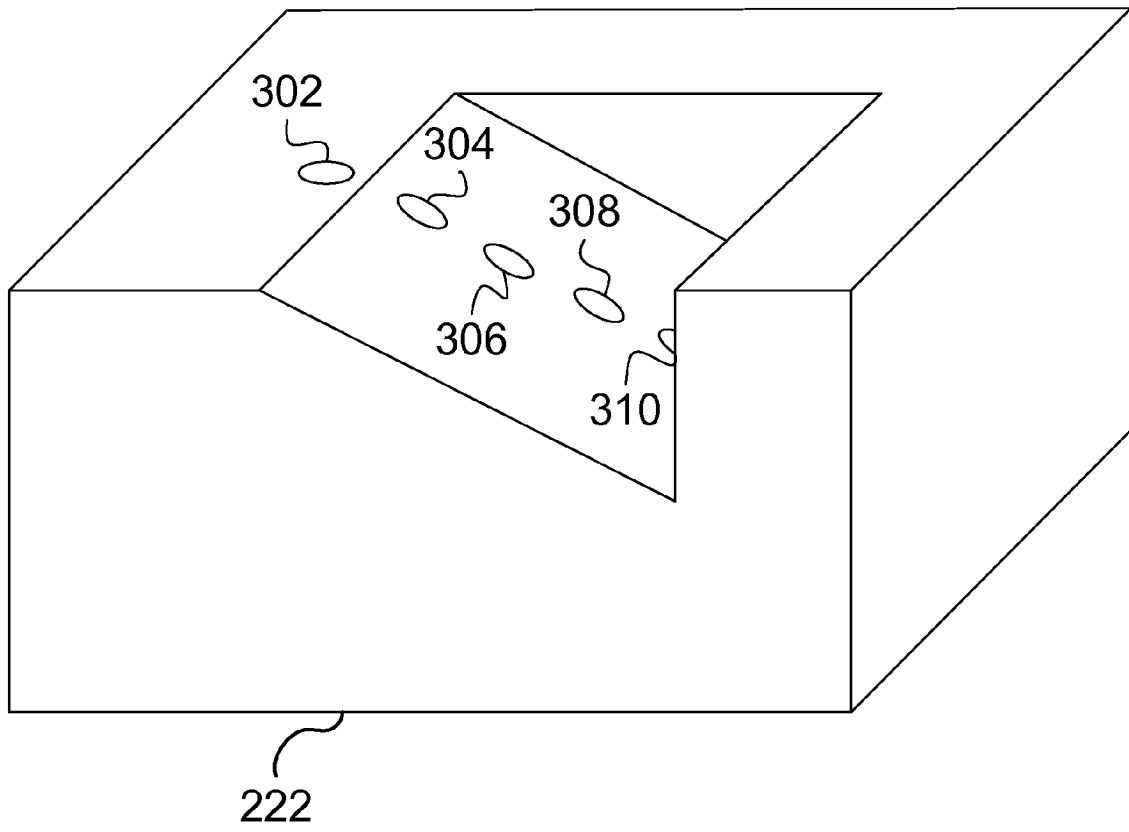


图 4

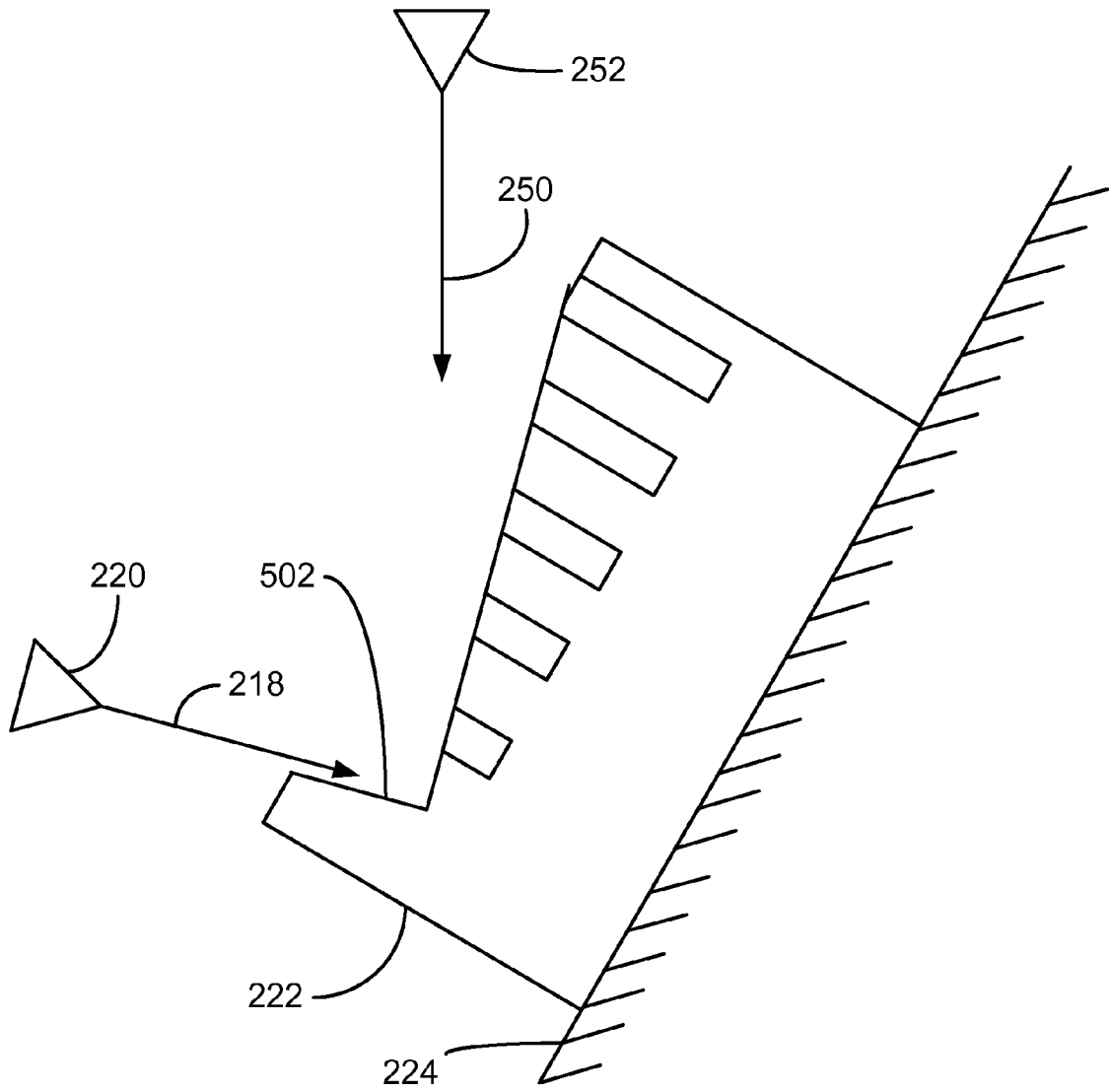


图 5

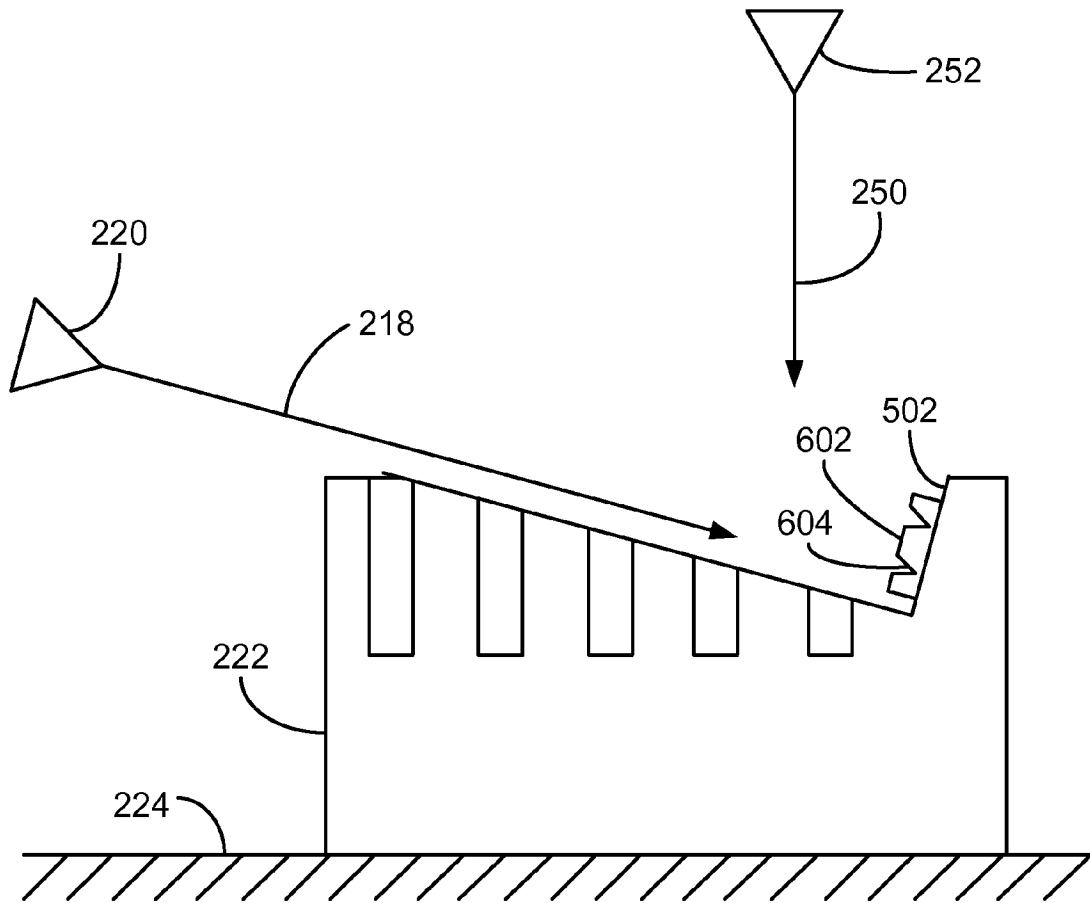


图 6

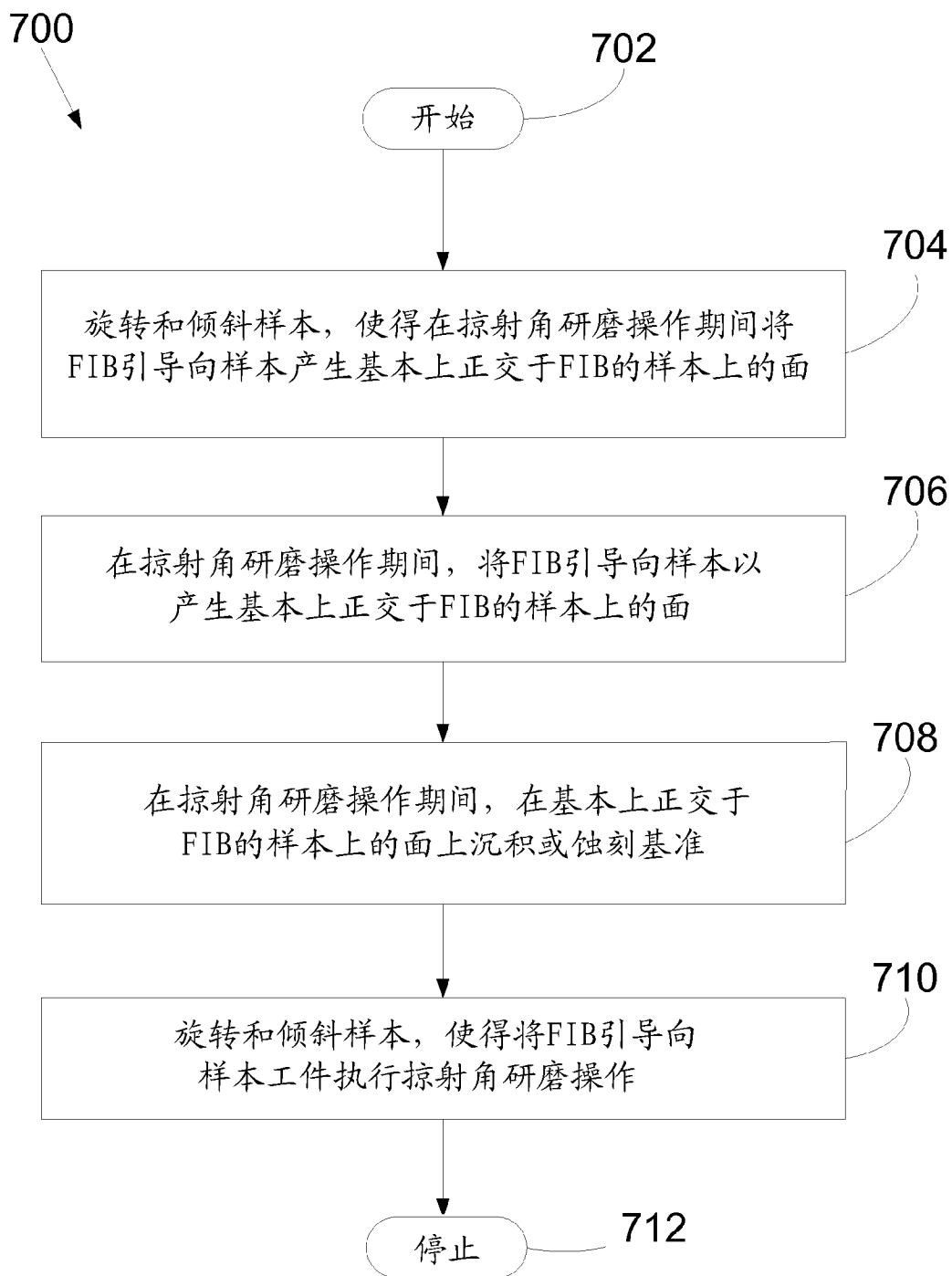


图 7

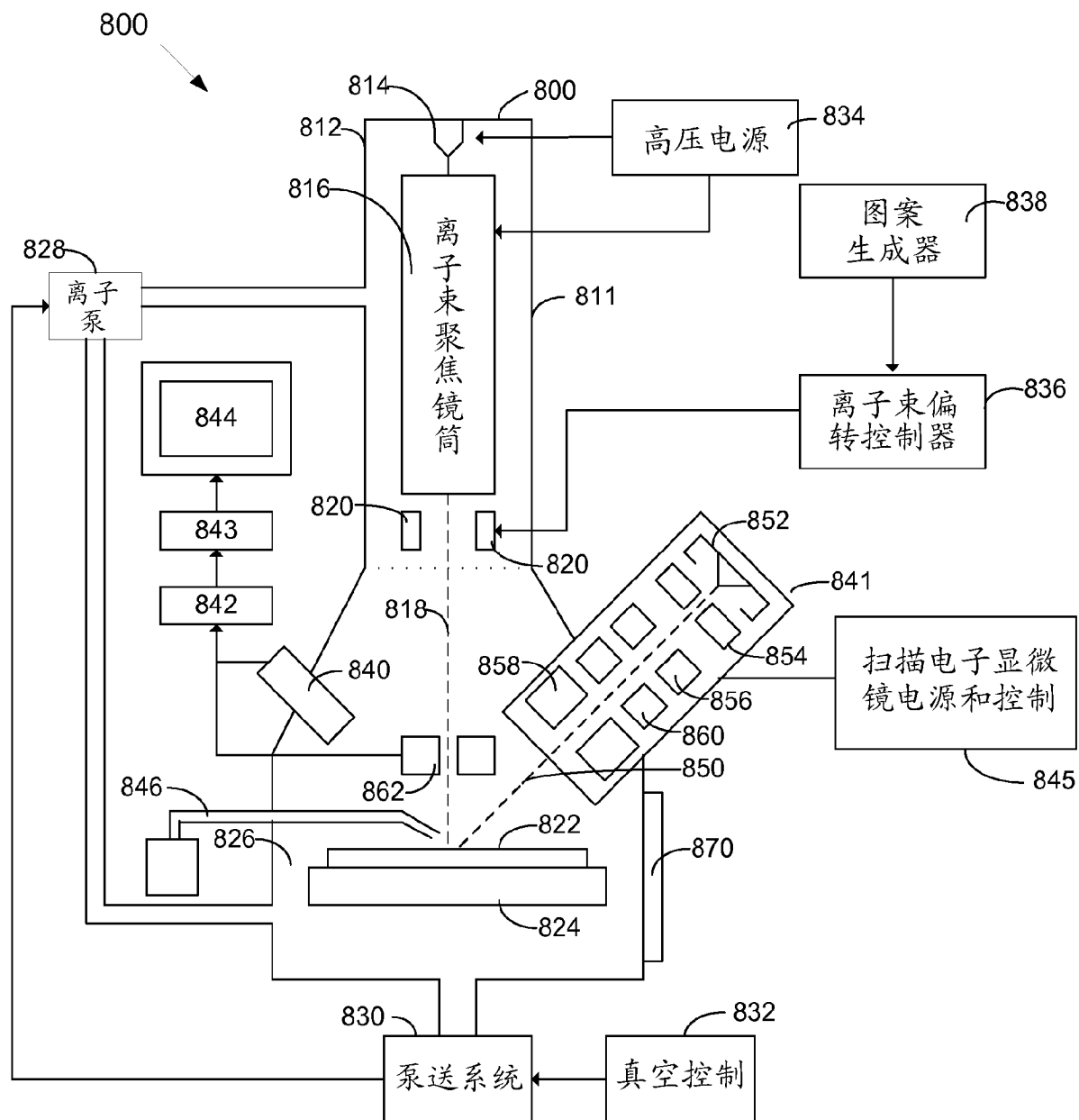


图 8

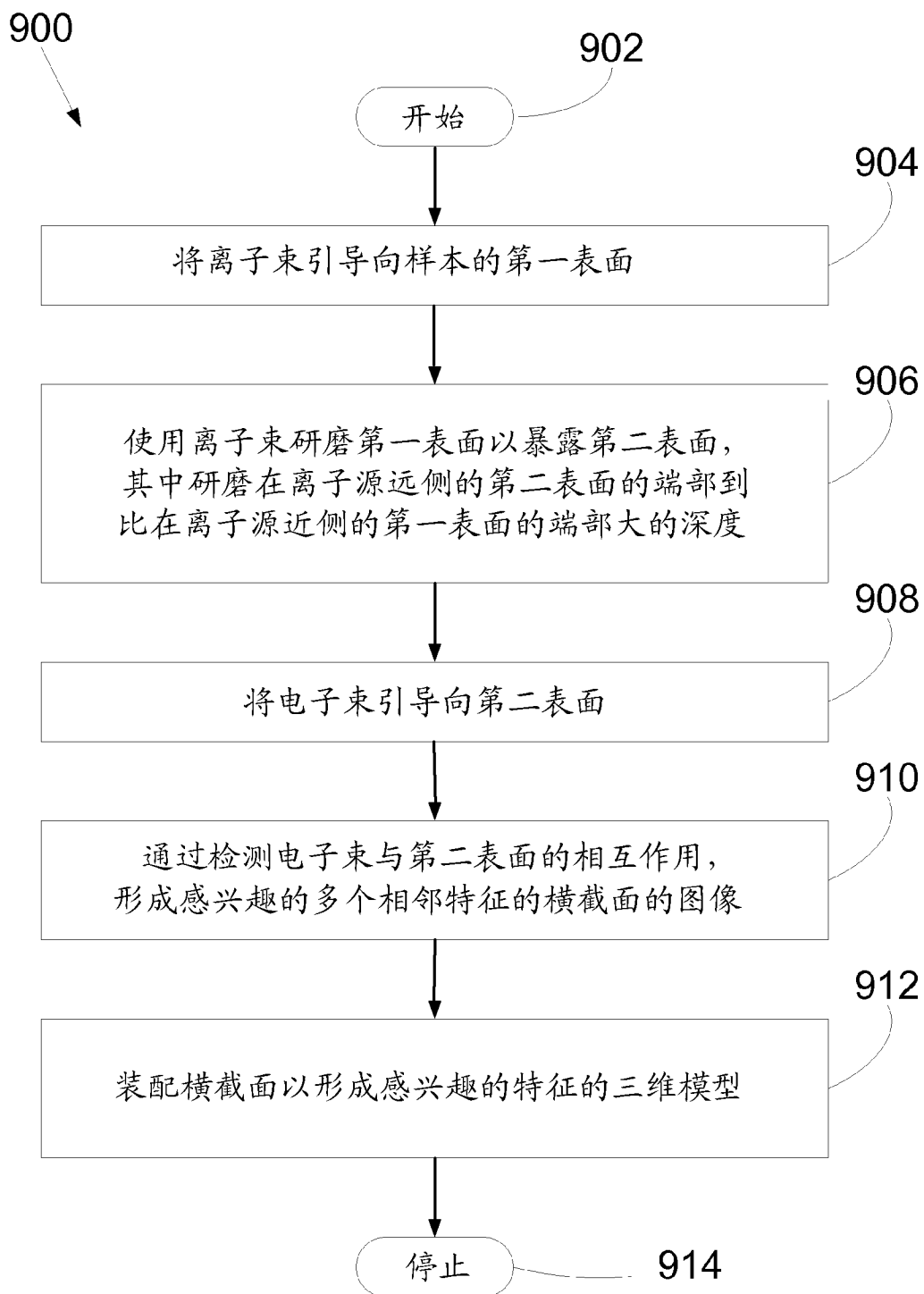


图 9

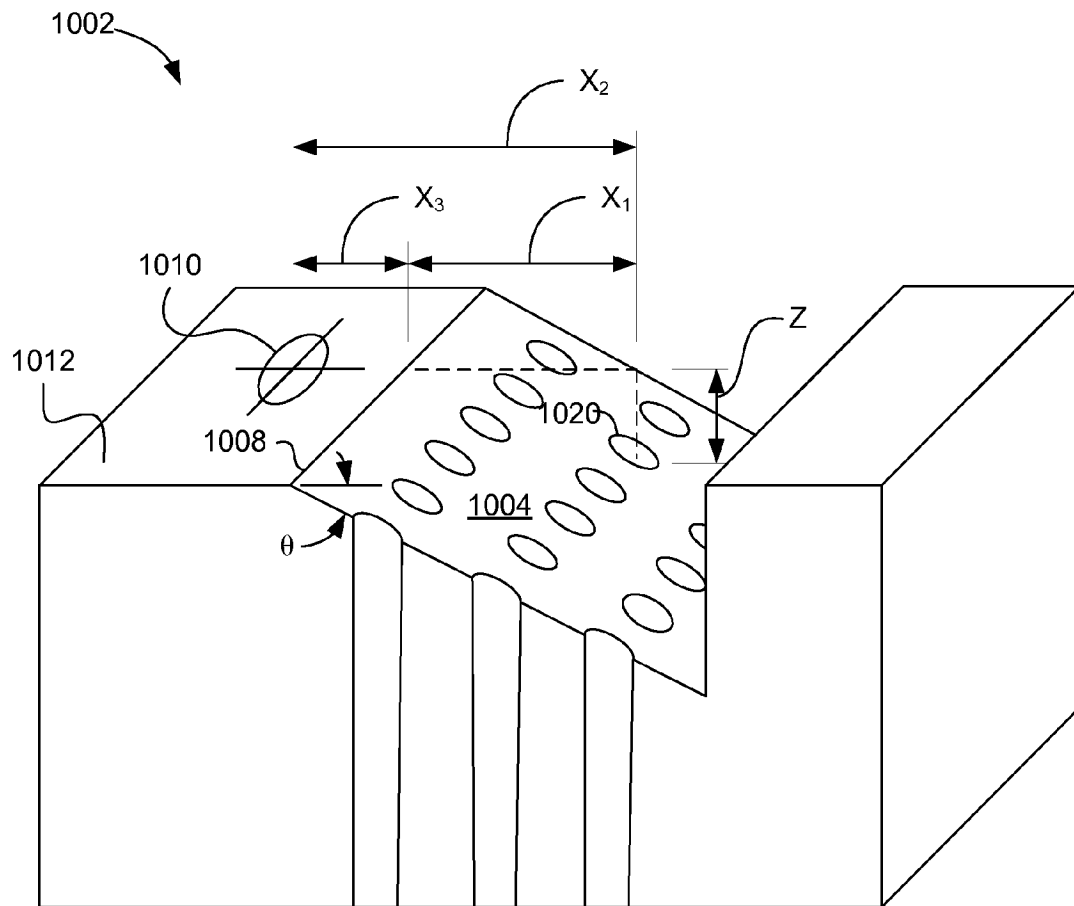


图 10

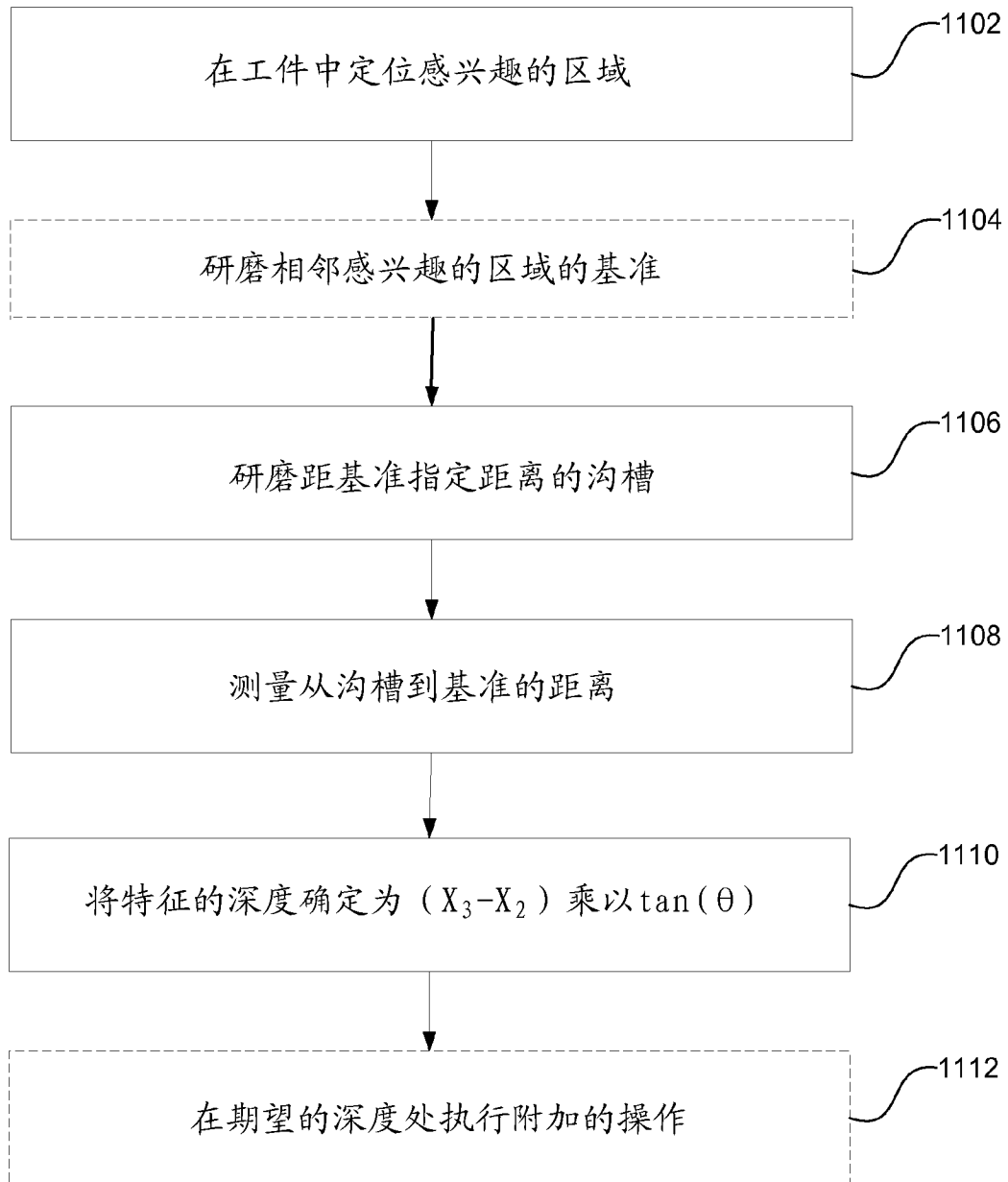


图 11