



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103946684 B

(45)授权公告日 2017.06.23

(21)申请号 201280059036.6

S.斯通 M.施米德特

(22)申请日 2012.11.30

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103946684 A

代理人 张凌苗 陈岚

(43)申请公布日 2014.07.23

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

G01N 1/28(2006.01)

61/565506 2011.12.01 US

H01J 37/26(2006.01)

61/569089 2011.12.09 US

(56)对比文件

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.05.30

US 7423263 B2,2008.09.09,说明书第4栏37-63行、第5栏第9-18行、第6栏第28行-第7栏第19行,图5-14.

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/067398 2012.11.30

JP 2010257617 A,2010.11.11,说明书第[0047]、[0055]、[0057]段,图4-5.

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2013/082496 EN 2013.06.06

US 2008296498 A1,2008.12.04,全文.

WO 2011093316 A1,2011.08.04,全文.

(73)专利权人 FEI 公司
地址 美国俄勒冈州

CN 1979119 A,2007.06.13,全文.

CN 1879188 A,2006.12.13,全文.

审查员 胡慧

(72)发明人 P.基迪 B.彼得森 G.达斯
C.亨利 L.德沃金 J.布莱克伍德

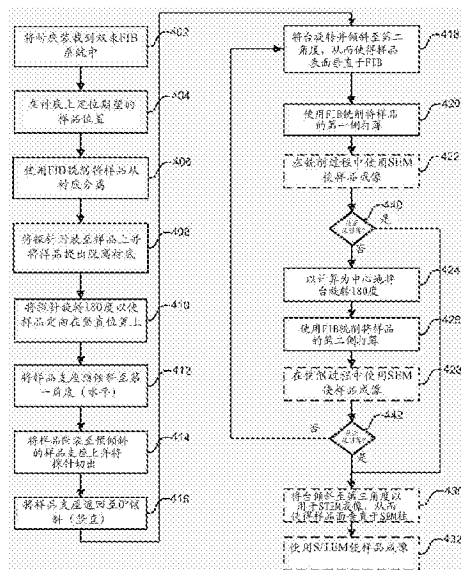
权利要求书1页 说明书12页 附图11页

(54)发明名称

用于横截面视图薄层的背侧打薄的高吞吐量TEM制备工艺和硬件

(57)摘要

一种用于TEM样品制备和分析的方法,该方法可以用于FIB-SEM系统中,而不需要对薄层或机动化的翻转台进行重焊、卸载、用户处理。该方法允许具有典型倾斜台的双束FIB-SEM系统用于提取样品以形成衬底、将样品安装至能够倾斜的TEM样品支座上、用FIB铣削将该样品打薄、以及旋转样品从而使得样品面垂直于用于STEM成像的电子柱。



1. 一种用于制备样品以用于成像的方法, 该样品从工件形成并具有顶侧和背侧, 通过使用从该背侧引导的离子束将该样品打薄而制备该样品以用于成像, 该方法包括:

将探针附装至该样品的顶侧上, 该探针与该样品的顶面形成第一角度;

从该工件提取该样品;

将该探针旋转180度, 从而将该样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置;

将该样品附装至可倾斜的样品支座上, 从而使得该样品的顶面与样品支座的平面垂直;

将该样品支座倾斜, 从而使得该样品支座的平面被定向为相对于样品台在90度, 其中, 该样品的背侧背朝该样品台;

将该样品台倾斜, 使得该样品的顶面被定向为与FIB柱的光轴近似地垂直, 其中, 该样品的背侧面朝该FIB柱;

通过使用该离子束从该背侧铣削该样品来从该样品的第一侧将该样品打薄;

将台旋转180度; 以及

通过使用该离子束从该背侧铣削该样品来从该样品的第二侧将该样品打薄, 所述从该第二侧将该第二侧打薄产生表面, 该表面与通过从该第一侧将该样品打薄所产生的表面平行。

2. 如权利要求1所述的方法, 其中, 将该探针旋转180度包括将该探针旋转180度以将所释放的样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置, 该样品的顶面在该调换位置是竖直的。

3. 如权利要求1所述的方法, 其中:

将该探针旋转180度包括将该探针旋转180度以将所释放的样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置, 该顶面在该调换位置相对于竖直平面是倾斜的; 以及

将该样品附装至可倾斜的样品支座上从而使得该样品的顶面与样品支座的平面垂直包括: 将该样品支座倾斜, 从而使得该探针的顶面被定向为在附装该样品之前垂直于该样品支座的平面。

4. 如权利要求1-3中任何一项所述的方法, 其中, 将探针附装至该样品的顶侧上包括将探针附装至楔形样品的顶侧上。

5. 如权利要求4所述的方法, 其中, 附装该探针包括在该楔形样品被完全从该工件释放之前附装该探针。

6. 如权利要求1-3中任何一项所述的方法, 其中, 将探针附装至该样品的顶侧上包括将探针附装至薄层的顶侧上。

7. 如权利要求1-3中任何一项所述的方法, 其中, 将台旋转180度包括以计算为中心地将台旋转180度。

用于横截面视图薄层的背侧打薄的高吞吐量TEM制备工艺和硬件

技术领域

[0001] 本发明涉及用于在带电粒子束系统中观察的样品的制备。

背景技术

[0002] 带电粒子束显微术(如扫描离子显微术和电子显微术)提供了比光学显微术显著更高的分辨率和更大的焦深。在扫描电子显微镜(SEM)中,初级电子束被聚焦到有待观察的表面进行扫描的细斑点。当表面被初级电子束冲击时,从该表面发出次级电子。检测次级电子并形成图像,其中,该图像上每个点处的亮度由束冲击表面上的相应斑点时检测到的次级电子的数量来确定。扫描离子显微术(SIM)与扫描电子显微术类似,但是离子束用于扫描表面并发射次级电子。

[0003] 在透射电子显微镜(TEM)中,宽电子束冲击样品,并且透射穿过样品的电子被聚焦以形成样品的图像。样品必须足够薄以允许初级束中的许多电子行进穿过样品并在相反位置上射出。样品厚度通常小于100 nm。

[0004] 在扫描透射电子显微镜(STEM)中,初级电子束被聚焦到细斑点上,并且跨样品表面对该斑点进行扫描。透射穿过工件的电子由位于样品远侧上的电子检测器收集起来,并且图像上每个点的强度对应于当初级束冲击表面上的相应点时所收集的电子的数量。

[0005] 因为样品必须很薄以使用透射电子显微术观察(无论是TEM还是STEM),所以样品的制备会是一项精细、耗时的工作。如此处所用的术语“TEM”样品是指用于或者TEM或者STEM的样品,并且对制备用于TEM的样品的引用将被理解成还包括制备用于在STEM上观察的样品。

[0006] TEM样品厚度通常小于100 nm,但对于一些应用而言,样品必须薄很多。样品的厚度变化导致样品弯曲、过度铣削、或其他灾难性的缺陷。对于此类小样品而言,制备是TEM分析中的关键步骤,TEM分析重要地确定结构表征的质量和最小和最关键结构的分析。

[0007] 图1示出了一种典型的TEM样品支座100,通常被称为“栅格”,包括部分为圆形的3 mm的环。在一些应用中,通过离子束沉积或者粘合剂将样品104附装到TEM栅格的指状物106上。样品从指状物106延伸,从而使得在TEM中(未示出),电子束将具有一条穿过样品104到达该样品下方的检测器的自由路径。TEM栅格通常水平地安装到TEM中的样品支座上,其中,TEM栅格的平面(并且从而所附装的样品的平面)垂直于电子束,并且观察样品。

[0008] 图2示出了TEM样品200的横截面视图,使用一种典型工艺从衬底或工件202部分地提取样品。离子束204在有待提取的样品的两侧切割出沟槽206和208,留下薄层210,该薄层具有将通过电子束观察的主要表面212。然后通过相对于离子束将工件202倾斜并环绕其各侧及底部进行切割以将样品200释放。探针216在样品200被释放之前或之后附装至该样品的顶部,并将该样品运送至TEM栅格。图2示出了样品200,该样品几乎被完全释放,剩下在一侧通过接片218附装。图2示出了准备将接片218切断的离子束204。

[0009] 取决于样品在工件上是怎样定向的,TEM样品可以广义地分类为“横截面视图”样

品或“平面视图”样品。如果有待观察的样品面平行于工件的表面,则样品被称为“平面视图(planar view)”或“平面视图(plan view)”样品。如果有待观察的面与工件表面垂直,样品被称为“横截面视图”样品。

[0010] 图3示出了衬底或工件300,从该衬底或工件提取横截面视图样品302。样品302来自相反方向的两次交叉的离子束切割306A和306B而切下,并且然后离子束切割侧308A和308B以释放在观察之前需要额外打薄的“大块”或大的样品。将探针310附装至样品的顶面304上。因此,所提取的样品被水平地定向。在样品以水平定向附装于竖直定向的TEM栅格上的情况下,样品垂直于该栅格的平面延伸,并且样品的顶面304对于用FIB从顶侧打薄没有障碍。

[0011] 从顶侧将TEM样品打薄通常称为“自顶向下”打薄。从顶侧制备TEM样品的显著问题通常被称为“垂落(Curtaining)”。在半导体材料中最常观察到垂落,在半导体材料中,具有低溅射产额的材料或多个图案化的层阻挡更快溅射产额的材料。在展示不同地形区域的材料中也可以观察到垂落,在这些材料中,溅射产额的变化随铣削入射角而不同。具有这些类型的结构或密度变化的样品的FIB打薄将引起“垂落”从密度变化结构的底部(即金属线)沿着被铣削的横截面的面向下蔓延。垂落人为现象降低了TEM成像的质量并限制了试样最小有用厚度。对于此处定义为具有小于30 nm厚度的样品的超薄TEM样品,明显地,两个横截面的面非常靠近,所以垂落影响造成的厚度变化会导致样品不可用。

[0012] 为了将TEM样品制备中的垂落最小化,众所周知的是倒置样品使得样品(体硅)的底部或背侧面向FIB柱。由于样品的大部分将不具有嵌入特征(如金属线或晶体管),垂落人为现象将不会被引入包含关注区域的样品面的部分内,即,半导体的顶面上的电路层。虽然此技术在TEM样品的制备中相当有效,但在常规的FIB系统中很难暴露并打薄横截面样品的背侧。在不具有昂贵的翻转台的系统中,通常需要两次或甚至三次单独的探针操纵和焊接以在不使真空通气和卸载的情况下倒置样品。用于完成样品倒置的现有技术和装置需要或者昂贵的附加设备或者耗时的额外操纵和焊接步骤,或甚至真空外的手动样品操纵。

[0013] 所需要的是一种用于包括背侧打薄的TEM样品制备的改进方法,该方法可以与常规样品台一起使用而不需要使用昂贵的附加设备并且可以更加快速地执行而不需要破坏真空。

发明内容

[0014] 因此,本发明的目的是提供背侧(硅侧)被打薄的横截面视图TEM薄层,可以在不对薄层用镊子钳、重焊、或用户处理的情况下创建该薄层并将其打薄。本发明的优选实施例允许用于薄层创建和分析的双束FIB-SEM系统用于从衬底提取样品、将样品安装至TEM样品支架上、用FIB铣削将样品打薄、并可选地旋转样品从而使得样品面或适当的表面基本上与用于STEM成像的电子柱垂直,该双束FIB-SEM系统具有被定向为相对于水平方向在0和90度之间的某个角度的提出式探针。

[0015] 为了更好地理解以下本发明的详细说明,上文已经相当广泛地概述了本发明的特征和技术优点。下文将描述本发明的附加特征和优点。本领域技术人员应认识到所公开的概念和具体实施例可容易地用作修改或设计用于实施本发明相同目的其他结构的基础。本领域的技术人员还应认识到这些同等构造不脱离如所附权利要求书中所阐明的本发

明的精神和范围。

附图说明

[0016] 为了更加彻底地理解本发明及其优点,现在结合附图参考以下说明,其中:

[0017] 图1示出了典型的TEM样品支座,该支座包括部分是圆形的环。

[0018] 图2示出了TEM样品的横截面视图,使用一种典型工艺从衬底部分地提取样品。

[0019] 图3示出了使用一种典型工艺从衬底部分地提取的平面视图样品。

[0020] 图4A为流程图,示出了根据本发明的优选实施例创建背侧被打薄的横截面样品并使其成像的步骤。

[0021] 图4B为流程图,示出了根据本发明的优选实施例创建背侧被打薄的横截面样品并使其成像的步骤,其中,提出式探针相对于样品处于任意角度。

[0022] 图5A是附装至从衬底释放的样品上的提出式探针的示意性横截面图。

[0023] 图5B是附装至样品上的提出式探针的示意图,其中,该探针相对于样品的表面处于一个角度。

[0024] 图5C是图5B中的样品在探针绕其轴旋转180度之后的示意图。

[0025] 图5D是图5C中的样品在其附装至样品支座栅格之后的示意图。

[0026] 图5E是被返回中间位置的样品支座栅格的示意图。

[0027] 图5F是被旋转和倾斜从而使得可以铣削样品的第一侧的样品的示意图。

[0028] 图5G是被旋转和倾斜从而使得可以铣削样品的第二侧的样品的示意图。

[0029] 图6A是有待附装至预倾斜的台上安装的支座上的样品的示例模型侧视图。

[0030] 图6B是有待附装至预倾斜的台上安装的支座的样品的示例模型透视图。

[0031] 图7是示出了适合实践本发明的典型双束系统的图。

[0032] 不旨在按比例绘制附图。在附图中,用相同的数字表示各图中所示的每个完全相同或几乎完全相同的组件。出于清晰性的目的,在每张图中,可能没有对每个组件都进行标号。

具体实施方式

[0033] 本发明的优选实施例提供了一种改进的用于TEM/STEM样品创建和打薄的方法,该方法可以优选地在不对薄层、格栅或其他小/精细的物体进行卸载或用户处理的情况下在FIB-SEM双束系统中执行。常规的薄层创建和制备每个样品会花费超过若干小时。本发明的优选实施例通过显著地减少制备时间实现了明显更高的吞吐量和过程鲁棒性,而不需要重焊样品、从真空室卸载样品、和手动地处理样品。

[0034] 本发明的优选实施例针对一种制备背侧被打薄的横截面TEM样品的新方法。本发明的优选实施例将提出式探针旋转技术与TEM样品支座组合,该TEM样品支座能够倾斜并且安装至能够在X、Y和Z方向移动并且能够倾斜和旋转的台上。通过利用此组合,样品可以安装至栅格上,从而使得样品的背侧暴露在用于打薄的FIB下,同时优选地用SEM被成像。一旦制备了样品,可以用STEM或TEM对其进行分析。本发明的优选实施例在双束FIB-SEM系统中执行。

[0035] 本发明的优选方法或装置具有许多新方面,并且,因为本发明可以出于不同的目

的体现在不同的方法或装置中,所以不需要在每个实施例中介绍每个方面。而且,所述实施例的许多方面是可以单独获得专利的。

[0036] 根据本发明的制备样品以用于TEM成像的优选方法包括下列步骤:

[0037] -在双束FIB-SEM系统内提供衬底,并且所述系统包括SEM柱和FIB柱,该FIB柱被定向为相对于SEM柱在一个角度;

[0038] -提供提出式针或探针,用于操纵释放的样品,所述提出式针或探针被定向为相对于该SEM柱在一个角度并且能够绕其轴旋转;

[0039] -提供用于支持所提取的TEM/STEM样品的样品支座,该样品支座安装在该FIB-SEM系统内部的样品台上,所述样品台具有样品台平面并且包括旋转的且倾斜的台,并且所述样品支座包括倾斜的样品支座;

[0040] -使用离子束将样品从该衬底释放,所述释放的样品具有顶面和背侧表面;

[0041] -用该提出式针或探针从该衬底提取所释放的样品;

[0042] -将该提出式针或探针旋转180度,将所释放的样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置

[0043] -将该样品支座预倾斜至第一角度;

[0044] -将该样品安装至该预倾斜的样品支座上,从而使得该样品的顶面与样品支座平面垂直;

[0045] -将该样品支座倾斜,从而使得该样品支座相对于该台的平面竖直地定向;

[0046] -将该样品台倾斜至第二角度,从而使得所安装的样品的顶面被定向为基本上垂直于该FIB柱的定向,从而将背侧表面暴露在该FIB柱下;

[0047] -使用离子束通过从背侧铣削该样品而将该样品的第一侧打薄,所述铣削产生与该FIB柱的定向垂直的样品面;

[0048] -将该台以计算中心旋转180度;

[0049] -使用离子束通过从背侧铣削该样品来将该样品的第二侧打薄,所述铣削产生与该FIB柱的定向基本上垂直的相对样品面;

[0050] -可选地将该样品支座倾斜至第三角度,从而使得样品面的定向基本上垂直于竖直SEM柱;以及

[0051] -用TEM可选地观察所安装的样品。

[0052] 图4A为流程图,示出了根据本发明的优选实施例创建背侧被打薄的横截面样品并使其成像的步骤。图5A至图5G中示出了该过程的各个步骤。

[0053] 首先,在步骤402,衬底(如半导体晶片或半导体晶片的一部分)装载至具有FIB柱和SEM柱两者的双束FIB-SEM系统中。典型的双束配置具有带有纵轴的电子柱和带有相对于竖直方向倾斜(一般倾斜大约52度)的轴的离子柱。如本领域内所熟知的,可以自动装载衬底,但是也可以手动地装载衬底。此过程的步骤优选地在双束系统中执行。

[0054] 在步骤404,确定有待从衬底提取的样品(包含关注特征)的位置。例如,衬底可以是半导体晶片或半导体晶片的一部分,并且有待提取的部分可以包括有待使用TEM观察的集成电路的一部分。双束系统的成像能力可以用于可视地选择包含关注特征的区域。系统的导航能力还可以用于通过为系统提供映射到该衬底的坐标和让系统导航至那些坐标来选择关注区域。

[0055] 在步骤406,如上所述和在图2至图3中所示的,通过用聚焦离子束进行铣削将样品从衬底分离。接着,在步骤408,提出式探针尖通过FIB诱发的化学汽相沉积而附装至样品上,并且如图5A所示,样品被提升脱离衬底。探针的定向为相对于样品表面在45度的角度。可以例如通过静电、FIB沉积、或粘合剂将探针附装至样品上。优选地用FIB-SEM样品台以零度的倾斜实施步骤406和408(从而使得样品台平面与竖直方向垂直)。

[0056] 在步骤410,将提出式探针旋转180度,从而将样品的定向从图5B中所示的水平位置改变为图5C中所示的调换直立位置。例如,利用当被定向为相对于样品(水平平面)45度时附装的提出式探针,将提出式探针绕探针纵轴旋转180度将使样品表面调换至相对于水平平面的90度的竖直位置上。

[0057] TEM样品支座优选地竖直安装至台上,从而使得TEM样品支座的纵轴与样品台表面的平面垂直。在步骤412,TEM样品支座被预倾斜90度的第一角度以成水平定向,如图5D中所示。

[0058] 在步骤414,图5C的旋转过的样品通常通过化学汽相沉积或粘合剂附装至水平栅格上,并且所附装的探针被切出(cut free),如图5D所示。旋转过的样品被附装至样品支座上,从而使得样品的顶面与栅格垂直(图5D)。

[0059] 在步骤416,如图5E中所示,将样品支座返回至零度倾斜。在步骤418,如图5F所示,该台被旋转并且然后被倾斜至第二角度,从而使得所安装的样品的顶面优选地被定向为垂直于FIB柱的定向,优选地将背侧表面暴露在FIB柱下。

[0060] 在步骤420,如图5F中所示,使用FIB铣削将样品的第一侧打薄。从背侧铣削是优选的并且最小化或防止垂落。在步骤422,优选地在样品的铣削期间使用SEM或STEM使样品的第一侧成像。

[0061] 一旦样品的第一侧被打薄,在步骤424,优选地以计算中心或离心地将样品旋转180度,从而使得可以将样品的第二侧打薄。样品支座被倾斜至相对于台的90度的竖直位置上,并且然后将台旋转180度。样品旋转和重定向的其他方法是可能的,其中,样品的第二侧被定位以用于打薄。接下来,台被倾斜至第二角度,从而使得所安装的样品的顶面优选地被定向成基本上垂直于FIB柱的定向,优选地将背侧表面暴露在FIB柱下,如图5G中所示。该第二倾斜角优选地允许形成正交面表面。

[0062] 在步骤426,如图5G所示,使用FIB铣削将样品的第二侧打薄。从背侧铣削是优选的并且最小化或防止垂落。在步骤428,优选地在样品的铣削期间使用SEM使样品的第二侧成像。

[0063] 可以根据需要重复步骤418至428,从而将样品打薄至所希望的厚度或直到样品特征可见或可用于成像。在决策框440,如果样品被打薄至所希望的厚度或特征,并且不需要进一步打薄,则该过程前进到可选步骤430。如果样品需要额外打薄,该过程返回至步骤424,并且随后将样品的第二侧打薄。在决策框442,如果样品被打薄至所希望的厚度或特征,并且不需要进一步打薄,则该过程前进到可选步骤430。如果样品需要额外打薄,该过程返回至步骤418,并且随后将样品的第一侧再次打薄。

[0064] 一旦完成了样品两侧的打薄,剩下的样品足够薄以用于用透射电子显微术观察。可选地,在步骤430,样品支座被倾斜至第三角度以用于STEM成像。优选地,有待观察的样品面与SEM柱垂直。在可选步骤432,使用TEM/STEM使样品成像。如本领域中已知的,还可以将

栅格传送至单独的TEM以用于分析。

[0065] 然而,在本发明的一些实施例中,将希望的是使用被定向为相对于样品表面在非45度的角的提出式探针。例如,在一些商业可获得的双束系统中,提出式探针被定向在近似50度的角度。图4B为流程图,示出了根据本发明的一些实施例创建背侧被打薄的横截面样品并使其成像的步骤,其中,该提出式探针被定向为相对于样品表面在非45度的角。图5A至图5G与图6A和图6B中示出了该过程的各个步骤。

[0066] 在步骤452,衬底(如半导体晶片或半导体晶片的一部分)装载进具有FIB柱和SEM柱两者的双束FIB-SEM系统。典型的双束配置是具有纵轴的电子柱与具有相对于竖直方向倾斜(一般倾斜大约52度)的轴的离子柱。如本领域内所熟知的,可以自动装载衬底,但是也可以手动地装载衬底。此过程的步骤优选地在双束系统中执行。

[0067] 在步骤454中,确定有待从衬底提取的样品(包含关注特征)的位置。例如,衬底可以是半导体晶片或半导体晶片的一部分,并且有待提取的部分可以包括有待使用TEM观察的集成电路的一部分。双束系统的成像能力可以用于可视地选择包含关注特征的区域。系统的导航能力还可以用于通过为系统提供映射到该衬底的坐标和让系统导航至那些坐标来选择关注区域。

[0068] 在步骤456,如上所述和在图2至图3中所示,通过用聚焦离子束进行铣削来将样品从衬底分离。接着,在步骤458,提出式探针尖通过FIB诱发的化学汽相沉积而附装至样品,并且如图5A所示,该样品被提升脱离衬底。可以例如通过静电、FIB沉积、或粘合剂将探针附装至样品。在本实施例中,探针可以被定向为相对于样品的表面在任意角度。优选地用FIB-SEM样品台在零度的倾斜下实施步骤456和458(从而使得样品台平面与竖直方向垂直)。

[0069] 在步骤460中,将提出式探针旋转180度,从而将样品的定向从图5B中所示的水平位置改变为图5C中所示的调换位置。在本实施例中,例如,利用当被定向为相对于样品(水平平面)50度时附装的提出式探针,将提出式探针绕其轴旋转180度将使样品表面调换至相对于水平平面的80度的竖直位置上。

[0070] 在步骤462,通过将样品支座倾斜,TEM样品支座优选地被预倾斜至相对于水平平面602的第一角度604,如图6A和图6B中所示。TEM样品支座606优选地竖直安装至台上,从而使得样品支座的纵轴与样品台表面的平面垂直。样品支座606优选地能够将样品相对于台表面从零度倾斜至100度。在一些实施例中,样品支座606优选地能够将样品相对于台表面从零度倾斜至高达180度。进一步地,台(未示出)优选地能够在X、Y和Z方向上移动,并将优选地包括具有90度的最大倾斜的旋转的且倾斜的台。在一些实施例中,该倾斜的台将优选地具有大于90度的最大倾斜。在本实施例中,例如在图6A和图6B中,样品支座已经被预倾斜至10度的角度604,这继而将样品倾斜至10度的角度(其中,相对于样品支座平面,台倾斜零度)。

[0071] 在步骤464,旋转过的样品被附装至如图6A-图6B中所示的倾斜的栅格上,并且然后所附装的探针608被切出。样品的顶面垂直于栅格。因为样品支座被预倾斜至第一角度并且因为样品顶面保持在其原始定向,所安装的样品的顶面将相对于TEM样品支座平面位于相同的第一角度。

[0072] 在步骤466,如图5E所示,将样品支座返回至零度倾斜。在步骤468,如图5F所示,台优选地被旋转并然后被倾斜至第二角度,从而使得所安装的样品的顶面优选地被定向为基

本上垂直于FIB柱的定向,优选地将背侧表面暴露在FIB柱下。该第二倾斜角优选地允许形成正交面表面。

[0073] 在步骤470,如图5F中所示,使用FIB铣削将样品的第一侧打薄。从背侧铣削是优选的并且最小化或防止垂落。在步骤472,优选地在样品的铣削期间使用SEM使样品成像。

[0074] 一旦样品的第一侧被打薄,在步骤474,优选地以计算为中心地将样品旋转180度,从而使得可以将样品的第二侧打薄。样品支座被倾斜至垂直于台的竖直位置,并且然后将该台旋转180度。样品旋转和重定向的其他方法是可能的,其中,样品的第二侧被定位以用于打薄。接下来,台被倾斜至该第二角度,从而使得所安装的样品的顶面优选地被定向为基本上垂直于FIB柱的定向,优选地将背侧表面暴露在该FIB柱下,如图5G所示。该第二倾斜角优选地允许形成正交面表面。

[0075] 在步骤476,如图5G所示,使用FIB铣削将样品的第二侧打薄。从背侧铣削是优选的并且最小化或防止垂落。在步骤478,优选地在样品的铣削期间使用SEM使样品成像。

[0076] 可以根据需要重复步骤468至478,从而将样品打薄至所希望的厚度或直到样品特征可见或可用于成像。在决策框490,如果样品被打薄至所希望的厚度或特征,并且不需要进一步打薄,则该过程前进到可选步骤480。如果样品需要额外打薄,该过程返回至步骤474,并且随后将样品的第二侧打薄。在决策框492,如果样品被打薄至所希望的厚度或特征,并且不需要进一步打薄,则该过程前进到可选步骤480。如果样品需要额外打薄,则该过程返回至步骤468,并且随后将样品的第一侧再次打薄。

[0077] 一旦完成样品两侧的打薄,剩下的样品就足够薄以用于用透射电子显微术观察。可选地,在步骤480中,样品被倾斜至第三角度以用于STEM成像。优选地,待观察的样品面与SEM柱垂直。在可选步骤482,使用TEM/STEM使样品成像。

[0078] 在本发明的一些实施例中,上述预倾斜过程可以用于制备背面被打薄的样品之外的样品。例如洪(Hong)等人的被转让给本发明的受让人并通过引用结合于此的题为“平面视图样品制备(Planar View Sample Preparation)”的美国专利号7,423,263描述了使用相对于样品的顶面在45度的角度的提出式探针制备平面视图样品,然后将探针绕其轴旋转180度,从而将样品的定向从水平方向调换为竖直方向。在使用处于非45度的角度的提出式探针的情况下,上述预倾斜的过程可以用于正确地为样品和栅格定向,以用于平面样品打薄和观察。

[0079] 在本发明的一些实施例中,根据本发明创建自顶向下的横截面视图样品并使其成像。在这些实施例中,因为每一侧被打薄以允许SEM柱无阻碍地访问样品,样品的顶面垂直并面朝FIB柱,从而在铣削操作期间观察样品是可能的。上述以计算为中心的180度旋转的步骤可以用在样品的第一侧被打薄之后,从而也允许观察使用竖直安装的SEM柱进行的第二侧铣削。

[0080] 图7示出了典型的适合实践本发明的双束系统710,该系统具有竖直安装的SEM柱和安装在与竖直方向近似52度的角度的聚焦离子束(FIB)柱。例如,适合的双束系统是从美国俄勒冈州希尔斯伯勒市的本申请的受让人FEI公司商业可获得的。虽然以下提供了合适硬件的示例,但本发明不限于以任何具体类型的硬件被实现。

[0081] 扫描电子显微镜741连同电源和控制单元745配备有双束系统710。通过在阴极752与阳极754之间施加电压而从阴极752发射出电子束743。电子束743通过聚光透镜756和物

镜透镜758被聚焦成细斑点。通过偏转线圈760在试样上对电子束743进行二维扫描。聚光透镜756、物镜透镜758以及偏转线圈760的操作由电源和控制单元745来控制。

[0082] 电子束743可被聚焦到衬底722上,该衬底在下室726内的可移动X-Y台725上。当电子束内的电子碰撞衬底722时,发射出次级电子。如以下所讨论的,通过次级电子检测器740检测这些次级电子。如以上所讨论的,位于TEM样品支座724和台725下方的STEM检测器762可以收集透射穿过安装在TEM样品支座上的样品的电子。

[0083] 双束系统710还包括聚焦离子束(FIB)系统711,该聚焦离子束系统包括真空室,该真空室具有上颈部分712,离子源714和聚焦柱716位于该上颈部分内,该聚焦柱包括引出电极和静电光学系统。聚焦柱716的轴从电子柱的轴倾斜52度。离子柱712包括离子源714、引出电极715、聚焦元件717、多个偏转元件720、和聚焦离子束718。离子束718从离子源714穿过柱716以及720处示意性指示的静电偏转装置之间朝向衬底722,该衬底包括例如定位于下室726内的可移动X-Y台725上的半导体器件。

[0084] 台725还可以支撑一个或多个TEM样品支座724,从而使得可以从半导体器件提取样品并将其移动到TEM样品支座。台725可以优选地在水平面(X轴和Y轴)和竖直地(Z轴)移动。台725还可以绕Z轴倾斜和旋转。在一些实施例中,可以使用单独的TEM样品台(未示出)。此类TEM样品台还将优选地可在X、Y和Z轴上移动。打开门761以便将衬底722插到X-Y台725上并且还用于维修内部供气罐(若使用供气罐的话)。该门被联锁以使得如果系统处于真空下,那么它就不能打开。

[0085] 离子泵768用于排空颈部分712。室726在真空控制器732的控制下以涡轮分子和机械泵送系统730来排空。该真空系统在室726内提供在大约 1×10^{-7} 托(1.3×10^{-7} mbar)和 5×10^{-4} 托(6×10^{-4} mbar)之间的真空。若使用刻蚀辅助、刻蚀阻滞气体或沉积前驱气体,室背景压力可能上升,通常上升至约 1×10^{-5} 托(1.3×10^{-5} mbar)。

[0086] 高压电源向离子束聚焦柱716内的电极提供适当的加速电压,用于激励并聚焦离子束718。当它冲击衬底722时,从样品上溅射(即物理地喷射)出材料。可替代地,离子束718可以使前驱气体分解以使材料沉积。

[0087] 高压电源734连接到液态金属离子源714以及离子束聚焦柱716内的适当的电极上以形成大约1 KeV至60 KeV的离子束718并将其引导向样品。根据图案生成器738提供的规定的图案而操作的偏转控制器和放大器736耦合到偏转板720上,由此可以手动或自动地控制离子束718以在衬底722的上表面描绘出相应的图案。如本领域中熟知的,在一些系统中,这些偏转板放置在最后透镜之前。当消隐控制器(未示出)向消隐电极上施加消隐电压时,离子束聚焦柱716内的束消隐电极(未示出)会引起离子束718冲击到消隐孔径(未示出)而不是衬底722上。

[0088] 液态金属离子源714通常提供镓金属离子束。该源通常能够被聚焦到衬底722处的十分之一亚微米宽的束上,用于或者通过离子铣削、增强刻蚀、材料沉积来修改衬底722,或者用于使衬底722成像的目的。

[0089] 用于检测次级离子或电子发射的带电粒子检测器740(如Everhart Thornley或多通道板)连接到向视频监视器744提供驱动信号并接收来自控制器719的偏转信号的视频电路742。带电粒子检测器740在下室726内的位置在不同实施例中可以不同。例如,带电粒子检测器740可以与离子束同轴并且包括用于允许离子束通过的孔。在其他实施例中,次级粒

子可以被收集通过最后的透镜并且然后被转离轴用于收集。

[0090] 显微操纵器747(如美国德克萨斯州达拉斯Omniprobe公司的AutoProbe 200™或德国罗伊特林根Kleindiek Nanotechnik的MM3A型号)可以在真空室内精确地移动物体。显微操纵器747可以包括位于真空室外的精密电动机748,以提供位于真空室内的部分749的X、Y、Z和 θ 控制。显微操纵器747可以配备有不同的用于操纵小物体的末端执行器。在此处所述的实施例中,末端执行器为细探针750。

[0091] 气体输送系统746延伸至下室726内以用于向衬底722引入并引导气态蒸气。Casella等人的被转让给本发明的受让人的题为“用于粒子束加工的气体输送系统(Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing)”的美国专利号5,851,413描述了合适的气体输送系统746。Rasmussen的也被转让给本发明的受让人的题为“注气系统(Gas Injection System)”的美国专利号5,435,850中描述了另一种气体输送系统。例如,可输送碘以便增强蚀刻,或可输送金属有机化合物以便沉积金属。

[0092] 系统控制器719控制双束系统710的各部分的操作。通过系统控制器719,用户可经由输入至常规用户接口(未示出)中的命令来致使离子束718或电子束743以所希望的方式被扫描。可替代地,系统控制器719可以根据已编程指令控制双束系统710。在一些实施例中,双束系统710结合图像识别软件,如从美国马萨诸塞州纳蒂克康奈视公司(Cognex Corporation)商业可获得的软件,以自动识别关注区域,并且然后,该系统可以根据本发明手动或自动提取样品。例如,该系统可以自动地将相似特征定位在包括多个器件的半导体晶片上,并且将那些特征的样品呈现在不同(或相同)器件上。

[0093] 上述本发明具有广泛的适用性并且可以提供如以上示例中所述和所示的许多益处。实施例根据特定应用将有很大不同,并且不是每个实施例将提供所有这些益处和满足本发明可以实现的所有目的。例如,在优选实施例中,使用镓液态金属离子源创建TEM样品,以产生聚焦到亚微米斑点上的镓粒子束。例如此类聚焦离子束系统是从本发明的受让人FEI公司可商业获得的。然而,尽管之前描述很多是针对FIB铣削的使用,但用于加工所希望的TEM样品的铣削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离子源的聚焦或成形离子束、或任何其他带电粒子束。进一步地,尽管之前描述许多是针对半导体晶片,但本发明可以应用于任何合适的衬底或表面。

[0094] 技术人员将认识到术语“水平”和“竖直”是关于其中未倾斜的样品台的平面是水平的典型系统而定义的。“水平”和“竖直”的绝对角度可以取决于系统的定向而改变。还将理解的是,形成竖直面可能需要将聚焦离子束柱定向为在与所希望的竖直面有微小的角度,从而从聚集离子束的高斯分布进行补偿。因此,本申请和权利要求书中对垂直于样品表面的铣削的引用包括在与样品表面成微小的角度的铣削操作。

[0095] 本发明的一些实施例包括一种用于制备样品以用于成像的方法,该样品从工件形成并具有顶侧和背侧,通过使用从背侧引导的离子束将该样品打薄而制备该样品以用于成像,该方法包括:

[0096] 将探针附装至该样品的顶侧,该探针与该样品的顶面形成第一角度;

[0097] 从该工件提取该样品;

[0098] 将该探针旋转180度,从而将该样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置;

[0099] 将该样品附装至可倾斜的样品支座上,从而使得该样品的顶面与该样品支座的平

面垂直；

[0100] 将该样品支座倾斜，从而使得该样品支座的平面被定向为相对于样品台在90度，其中，该样品的背侧背朝该样品台；

[0101] 将该样品台倾斜，从而使得该样品的顶面被定向为与FIB柱的光轴近似地垂直，其中，该样品的背侧面朝该FIB柱；

[0102] 通过使用离子束从背侧铣削该样品来从该样品的第一侧将该样品打薄；

[0103] 将该台旋转180度；以及

[0104] 通过使用离子束从背侧铣削该样品来从该样品的第二侧将该样品打薄，所述从第二侧将第二侧打薄会产生表面，该表面与通过从第一侧将该样品打薄所产生的表面平行。

[0105] 在一些实施例中，将该探针旋转180度包括：将该探针旋转180度以将所释放的样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置，该样品的顶面在该调换位置是竖直的。

[0106] 在一些实施例中，将该探针旋转180度包括：将该探针旋转180度以将所释放的样品的顶面的定向从水平位置改变至调换位置，该顶面在该调换位置相对于竖直平面是倾斜的；并且将该样品附装至可倾斜的样品支座从而使得该样品的顶面与该样品支座的平面垂直包括：将该样品支座倾斜，从而使得该探针的顶面被定向为在附装该样品之前垂直于该样品支座的平面。

[0107] 在一些实施例中，将探针附装至该样品的顶侧包括将探针附装至楔形样品的顶侧。

[0108] 在一些实施例中，附装该探针包括在该楔形样品被完全从该工件释放之前附装该探针。

[0109] 在一些实施例中，将探针附装至该样品的顶侧包括将探针附装至薄层的顶侧。

[0110] 在一些实施例中，将该样品台倾斜从而使得该样品的顶面被定向为与该FIB柱的光轴近似地垂直包括：将该样品台倾斜，从而使得该样品的顶面被定向为近似地在该FIB柱的10度以内。

[0111] 在一些实施例中，将台旋转180度包括将台以计算为中心地旋转180度。

[0112] 本发明的一些实施例包括一种用于制备样品以用于成像的方法，从工件提取该样品并通过将离子束从该样品的背侧引导至该样品而将该样品打薄，该方法包括：

[0113] 将探针附装至该样品；

[0114] 将该样品从该工件分离；

[0115] 旋转该探针；

[0116] 将该样品附装至可以倾斜和旋转的台上的可倾斜的样品支座；

[0117] 将该探针从该样品脱离；

[0118] 将该样品支座和该台倾斜以使该样品的背侧呈现给用于进行铣削的聚焦离子束；

[0119] 从该样品的背侧铣削该样品的一侧以将该样品打薄；以及

[0120] 从该样品的背侧铣削该样品的另一侧以将该样品打薄，其中，从该样品被从该工件提取的时间起，它只有一次被附装至该探针上并且只有一次被附装至该样品支座上。

[0121] 在一些实施例中，所有步骤在真空室内执行并且在不使该真空室通气的情況下执行。

[0122] 在一些实施例中，将探针附装至该样品上是在该样品从该工件分离之前执行的。

[0123] 在一些实施例中,将该样品支座和该台倾斜以使该样品的背侧呈现给用于铣削的聚焦离子束包括:将该样品支座倾斜,从而使得该样品支座的平面与该台的平面垂直;以及将该台倾斜,从而使得该台的表面的平面与该离子束垂直。

[0124] 在一些实施例中,旋转该探针包括将该探针旋转180度。

[0125] 在一些实施例中,将探针附装至该样品上包括将该探针以45度的角附装至该样品的顶面上。

[0126] 在一些实施例中,将探针附装至该样品上包括将该探针以50度的角附装至该样品的顶面上;以及将该样品附装至可倾斜的样品支座上包括:将该样品支座倾斜,从而使得该样品支座的平面形成离水平方向10度的角,由此在前样品表面和该样品支座之间提供90度的角。

[0127] 在一些实施例中,将探针附装至该样品上包括将探针以第一角度附装至该样品的顶面上;并且将该样品附装至可以倾斜和旋转的台上的可倾斜的样品支座上包括:将该样品支座倾斜至离水平方向第二角度,该第二角度是该第一角度与45度之间的差的两倍。

[0128] 在一些实施例中,该方法进一步包括对该样品支座和样品台进行定向,从而使得被打薄的样品的表面垂直于电子束柱的光轴;将电子束向该样品引导;以及检测透射穿过该样品的电子。

[0129] 在一些实施例中,铣削该样品的一侧包括对使用电子束的铣削操作的结果进行检查以确定何时停止打薄该样品。

[0130] 在一些实施例中,将该样品支座和该台倾斜以使该样品的背侧呈现给用于铣削的聚焦离子束包括:将该样品支座和该台倾斜,从而使得该样品的顶面的法线被定向为在该离子束的轴的10度以内。

[0131] 在一些实施例中,在铣削该样品的一侧和铣削该样品的另一侧之间旋转该台。

[0132] 在一些实施例中,将该台旋转180度包括以计算为中心地将该台旋转180度。

[0133] 在一些实施例中,将探针附装至该样品上包括使用离子束沉积将该探针附装至该样品上,并且其中,使该探针从该样品脱离包括离子束铣削。

[0134] 在一些实施例中,将该样品支座和该台倾斜以使该样品的背侧呈现给用于铣削的聚焦离子束包括:将该样品支座和该台倾斜,从而使得该离子束形成被定向为基本上垂直于该样品的前表面的表面。

[0135] 在一些实施例中,该离子束与该样品的前表面形成小于10度的角。

[0136] 在一些实施例中,该离子束角度与该样品的前表面的法线的偏离使得在该样品的两侧上都形成了基本上竖直的表面,从而产生具有两个平行表面的样品以产生基本上均匀的厚度。

[0137] 尽管已经详细描述了本发明及其优点,但是应理解,在不脱离如随附权利要求书所定义的本发明的精神和范围的情况下,可以对在此描述的实施例进行各种变化、代替以及改变。而且,本发明的范围并非旨在局限于在本说明书中所述的工艺、机器、制造、物质成分、手段、方法以及步骤的具体实施例。如本领域的普通技术人员将从本发明的公开中容易认识到的,可以根据本发明利用现有的或往后要开发的、基本上执行和此处所述的对应实施例相同功能或基本上实现相同结果的工艺、机器、制造、物质成分、手段、方法或步骤。相应地,所附权利要求书是旨在于将此类工艺、机器、制造、物质成分、手段、方法或步骤包括

在它们的范围内。

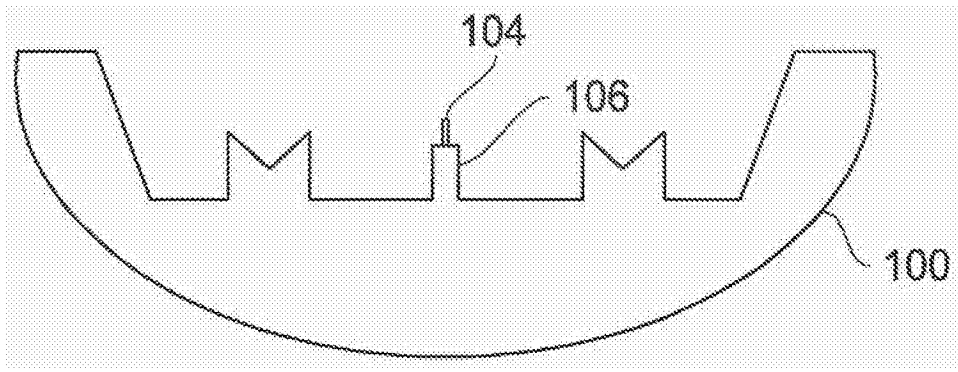


图 1

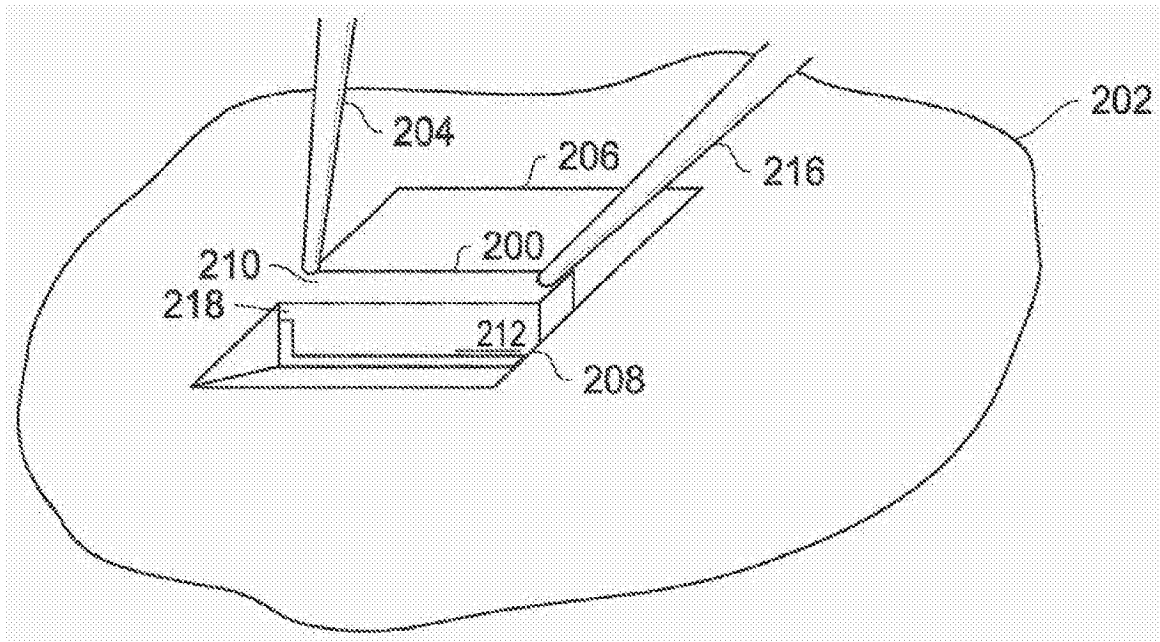


图 2

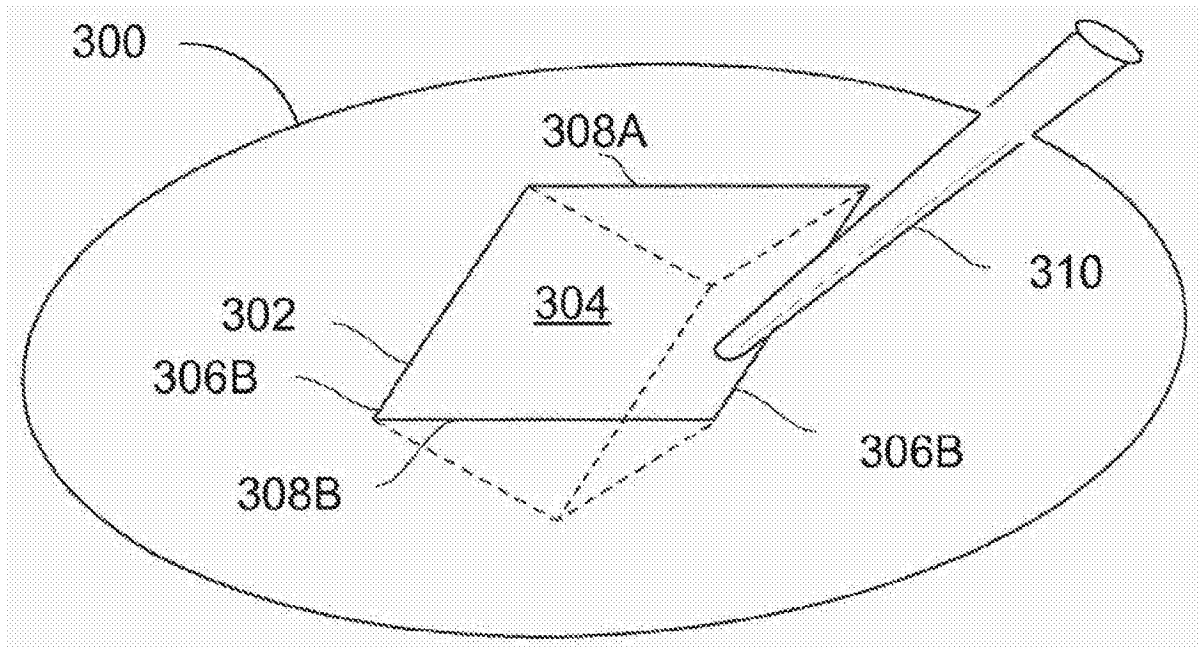


图 3

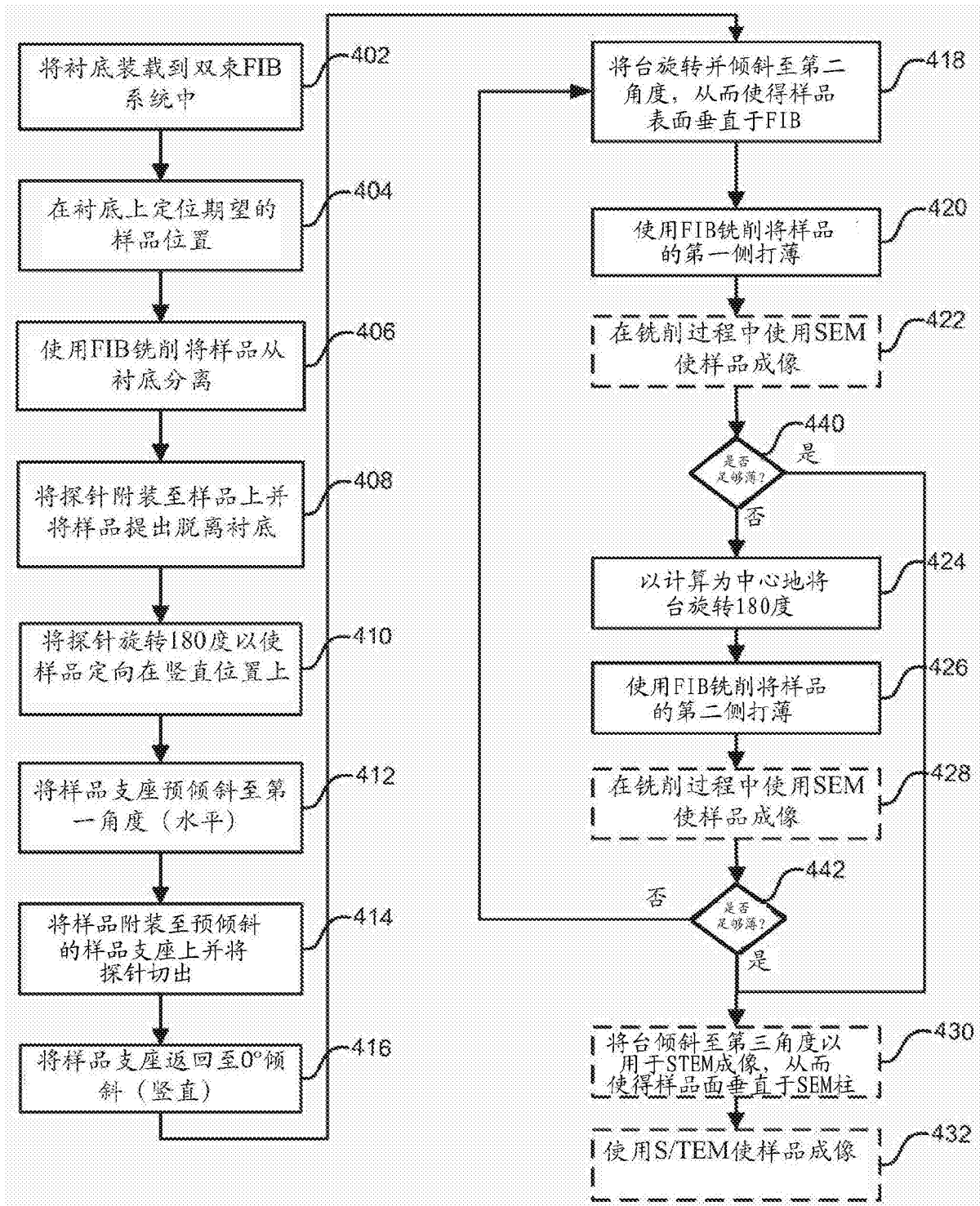


图 4A

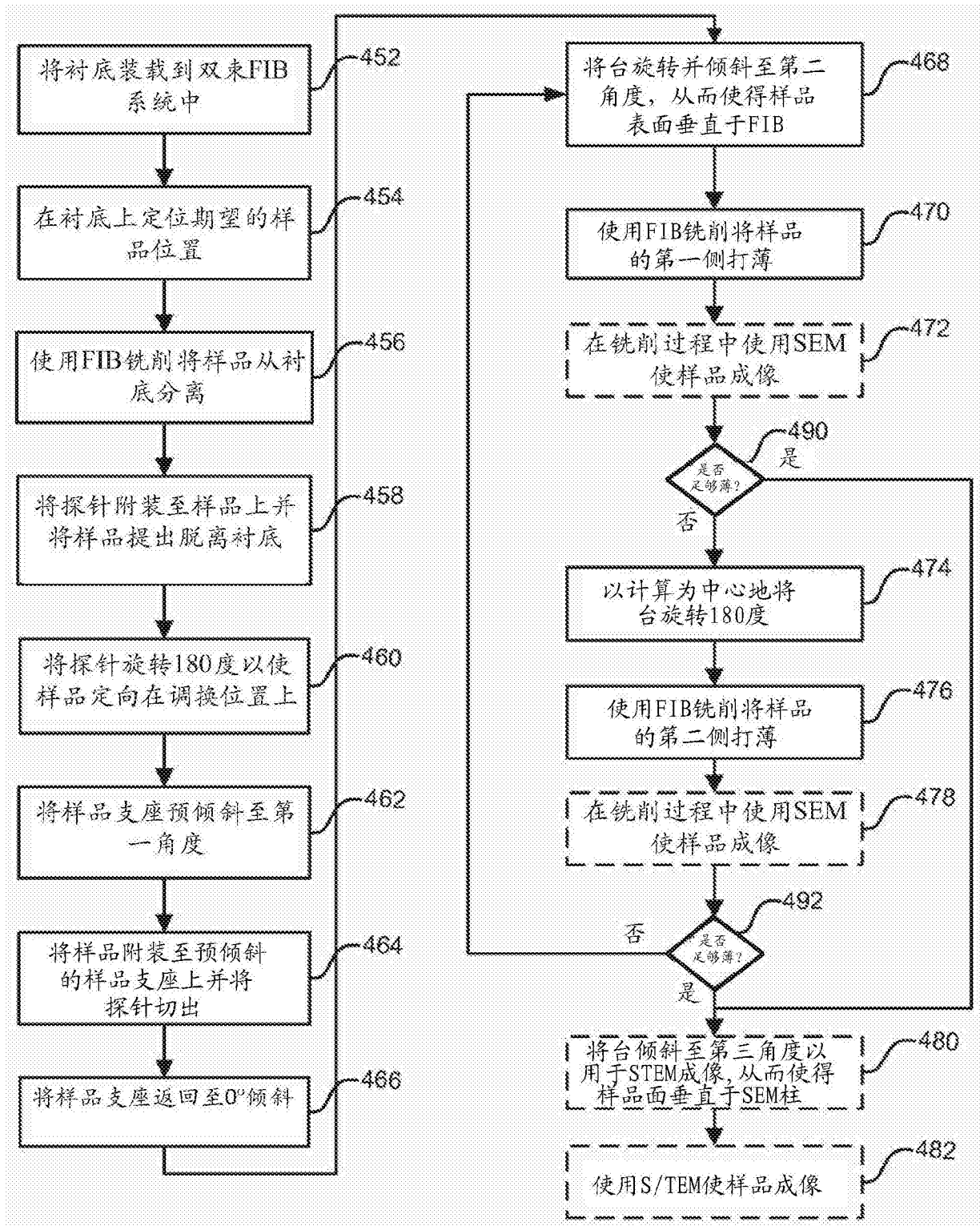


图 4B

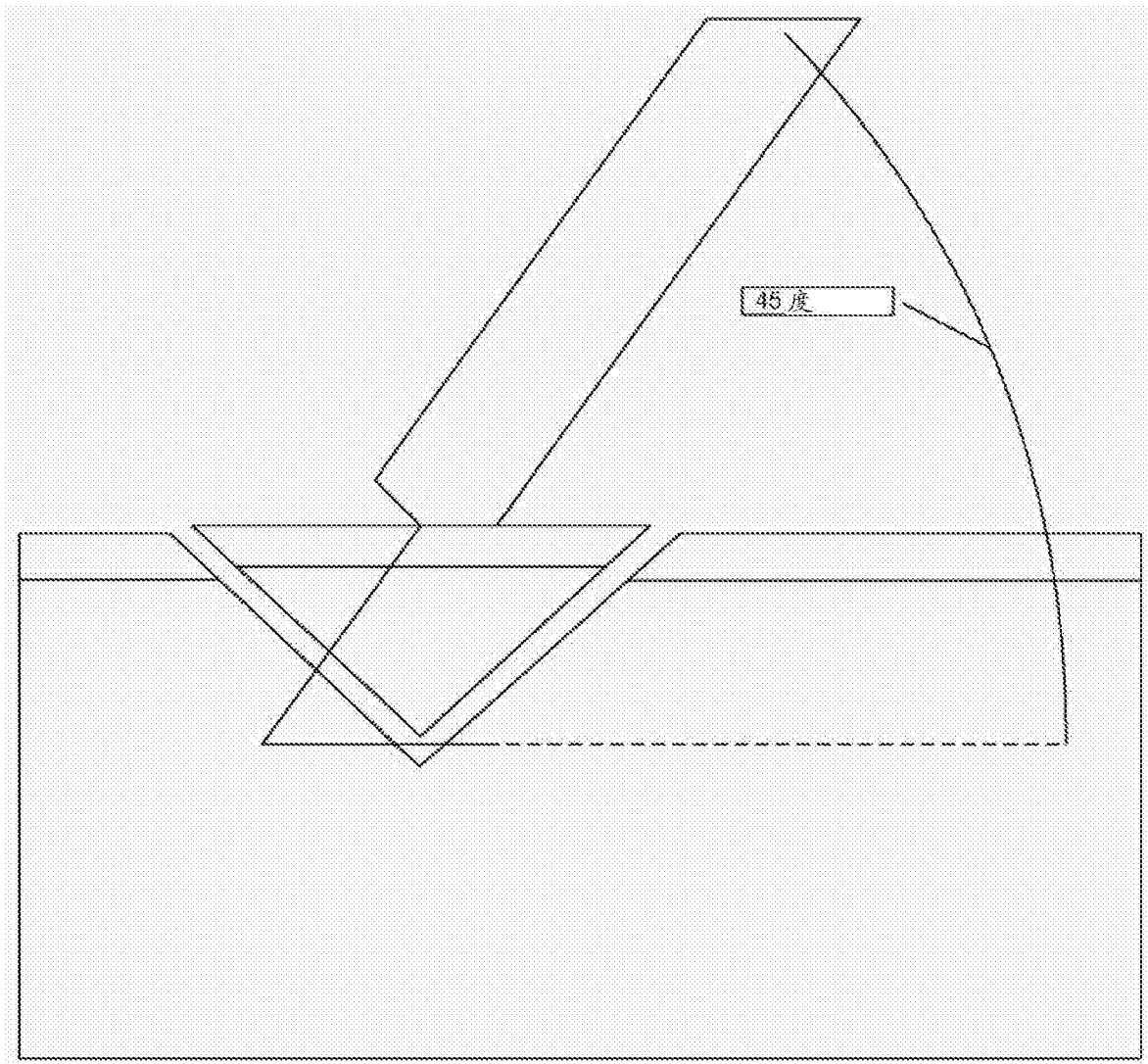


图 5A

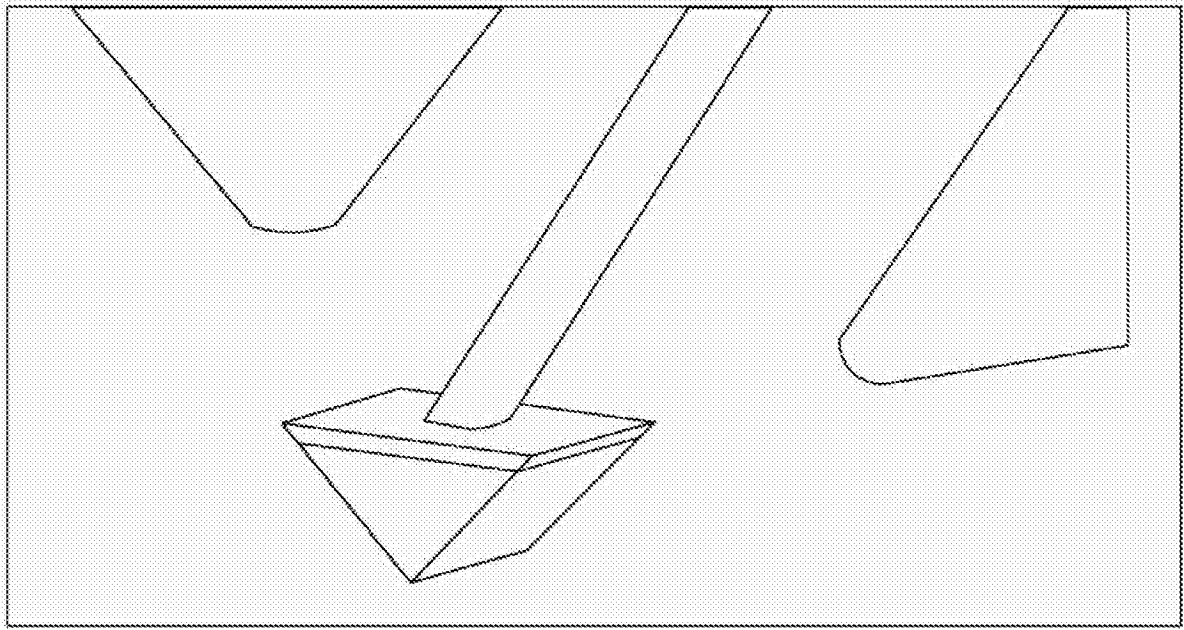


图 5B

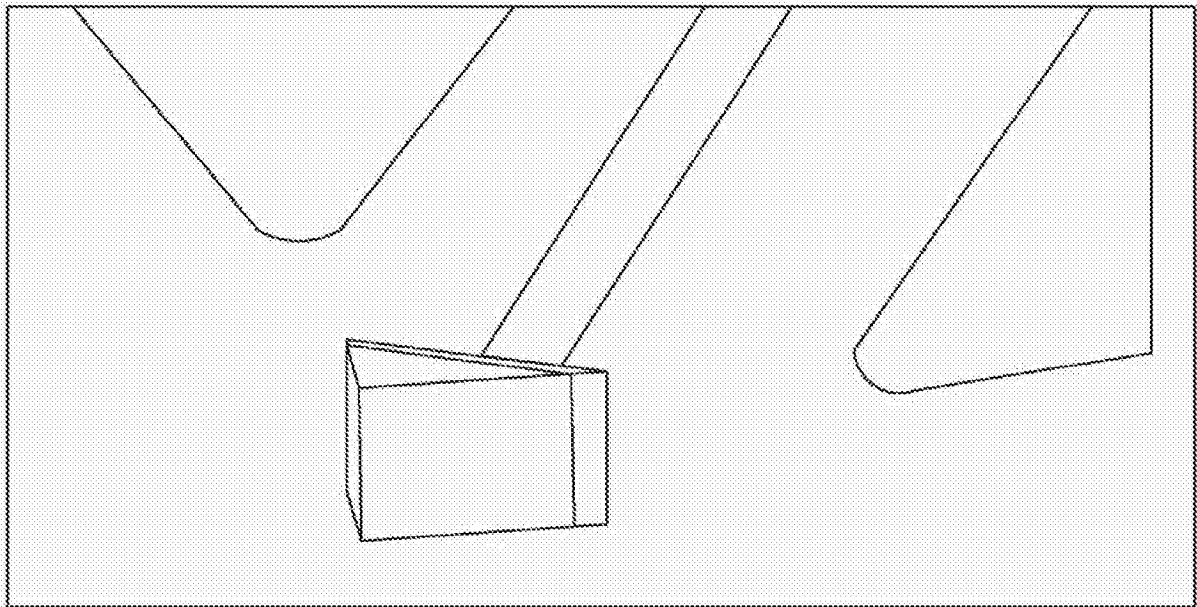


图 5C

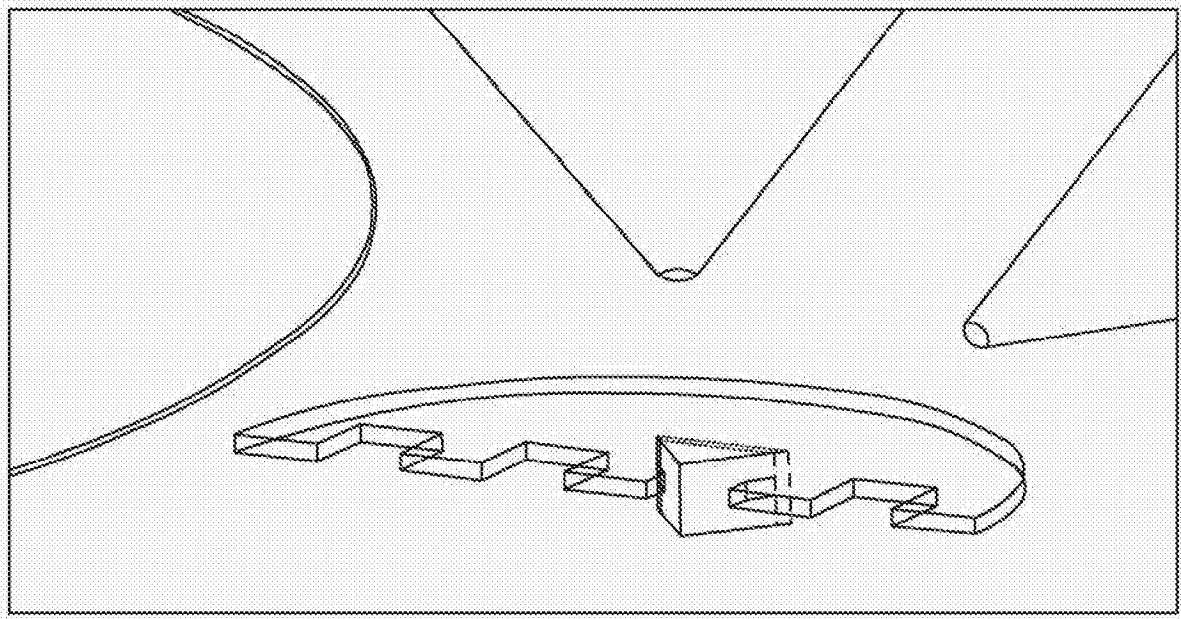


图 5D

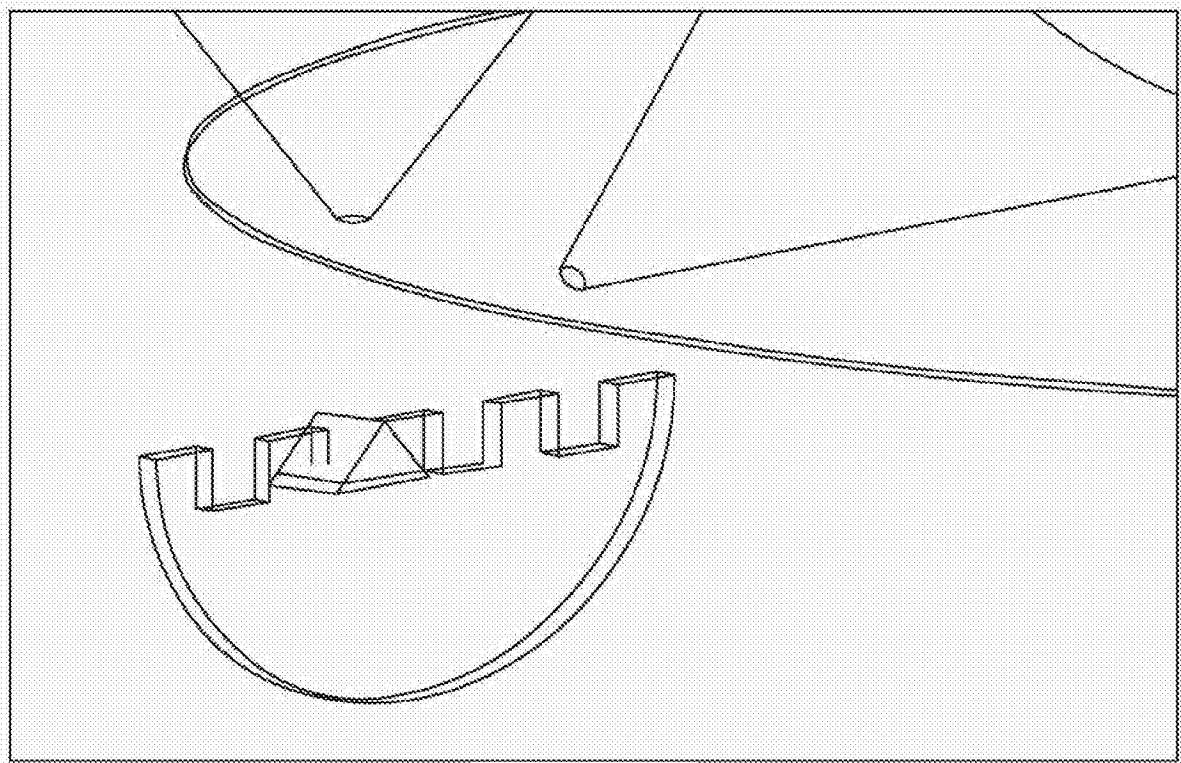


图 5E

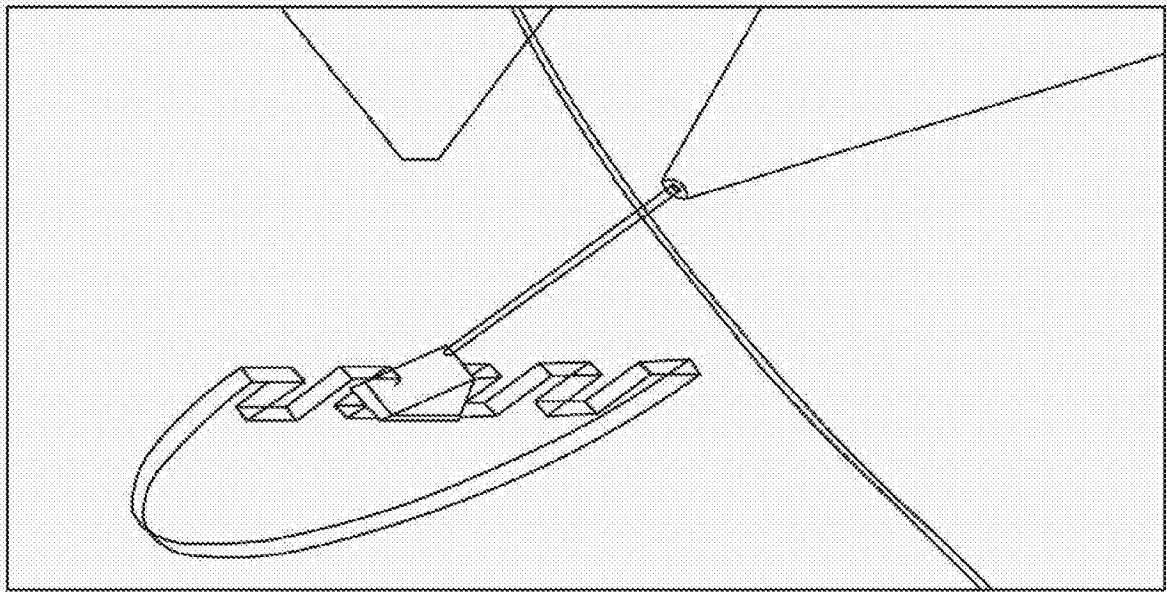


图 5F

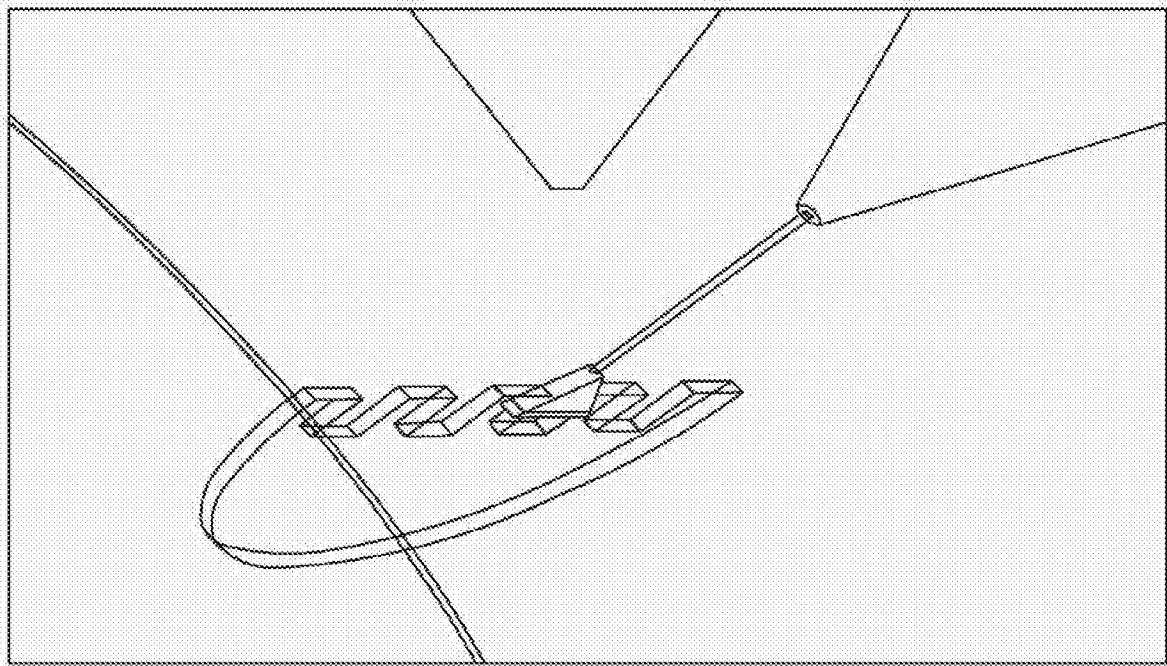


图 5G

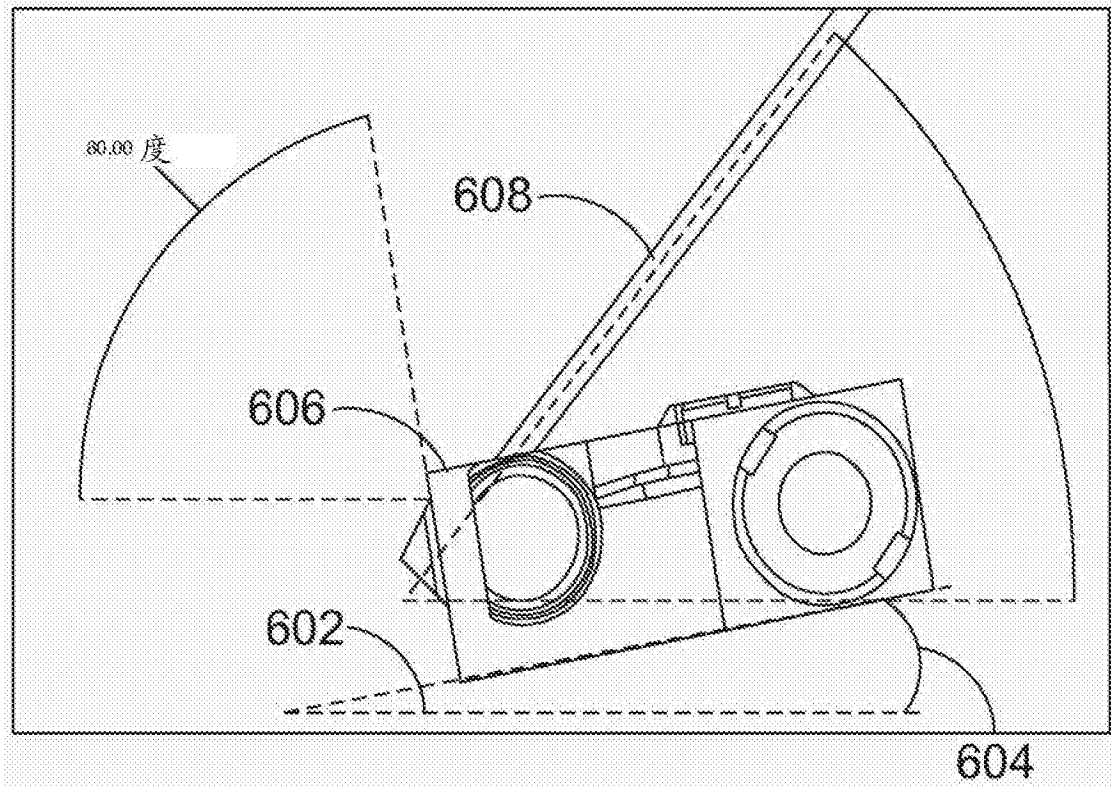


图 6A

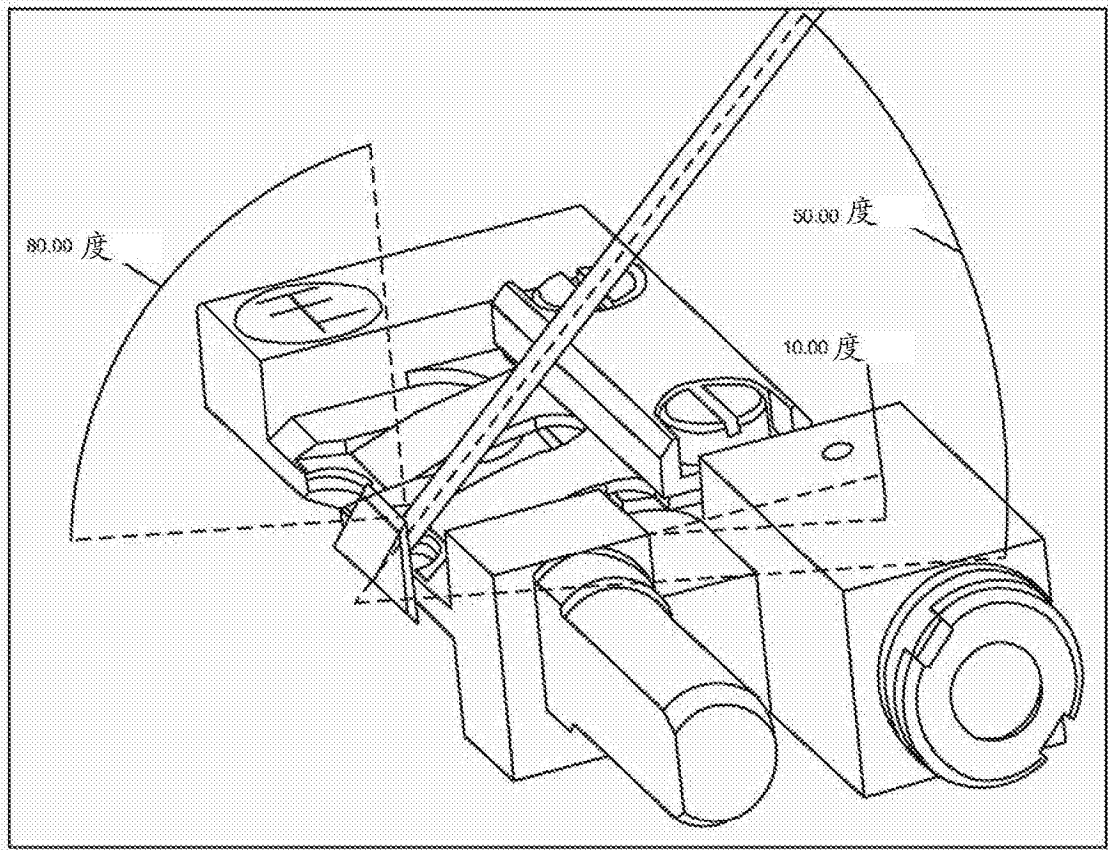


图 6B

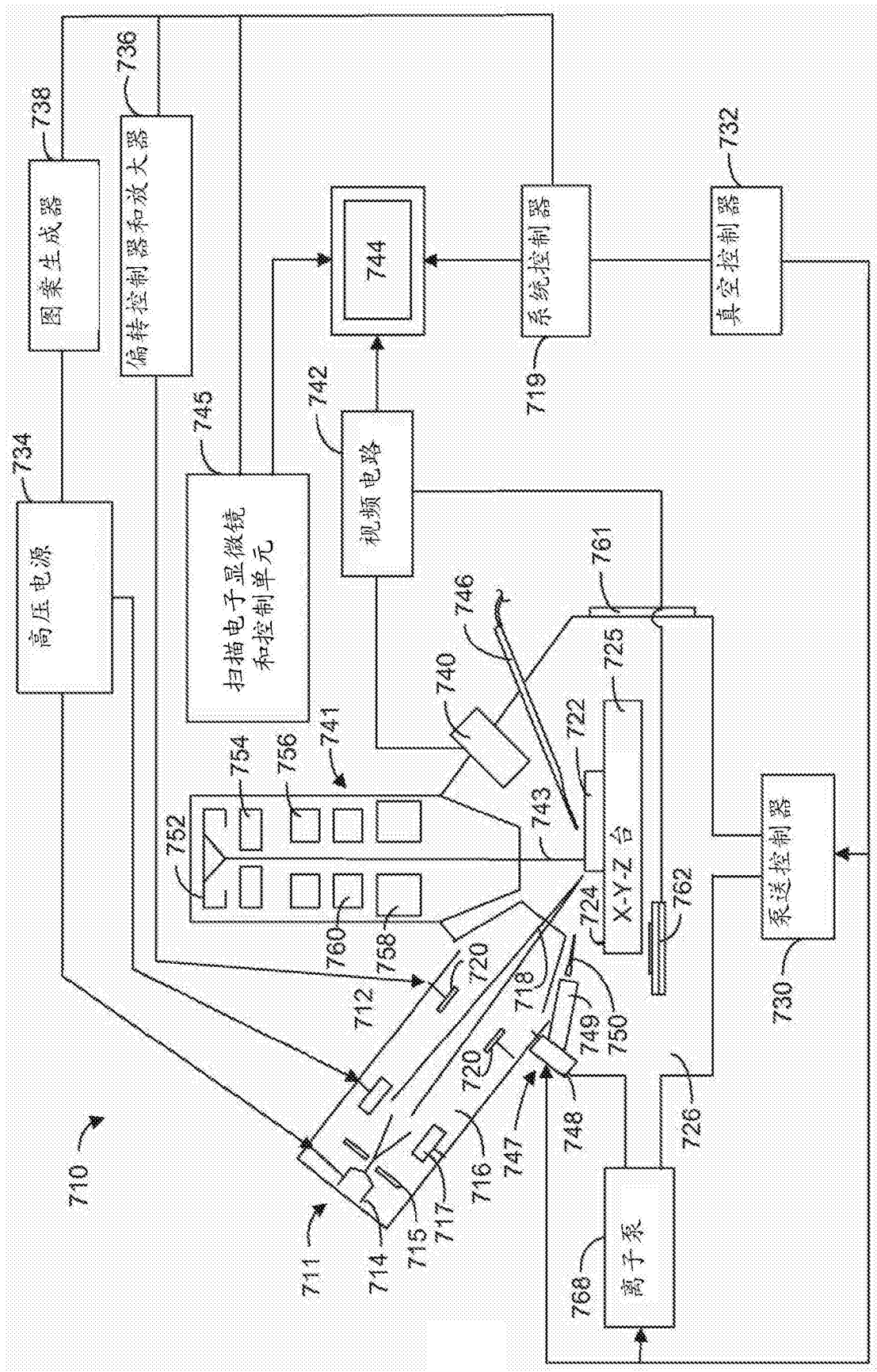


图 7