



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104251795 B

(45)授权公告日 2019.04.16

(21)申请号 201410302659.2

(22)申请日 2014.06.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104251795 A

(43)申请公布日 2014.12.31

(30)优先权数据
13/930911 2013.06.28 US

(73)专利权人 FEI 公司
地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 R.J.杨

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001
代理人 马红梅 陈岚

(51)Int.Cl.

G01N 1/44(2006.01)

(56)对比文件

US 2008/0073535 A1, 2008.03.27, 具体实施例.

EP 0927880 A1, 1997.08.21, 全文.

WO 2007/082380 A1, 2007.07.26, 全文.

审查员 林琳

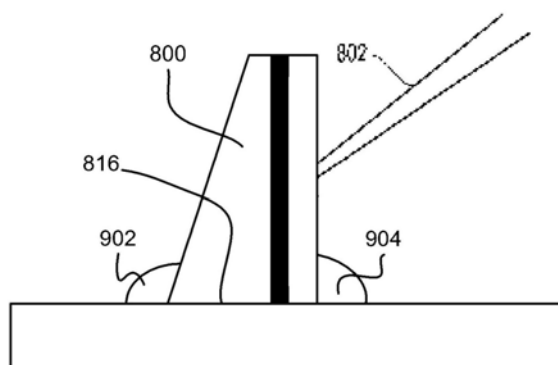
权利要求书3页 说明书8页 附图8页

(54)发明名称

平面视图样品制备

(57)摘要

本发明涉及平面视图样品制备。本发明尤其涉及用于改变带电粒子束样品的定向的方法和设备。该方法包括在具有样品台平面的样品台上提供第一工件,该第一工件包括处于第一定向的薄层平面。使用离子束从第一工件铣削样品,使得样品基本上从第一工件释放。探针被附接至样品,探针包括具有轴线的轴,该轴线被定向成相对于样品台平面成一个轴角,该轴角不垂直于样品台平面。将探针环绕轴线转动过转动角,使得薄层平面处于第二定向。样品被附接至或放置于或者第一工件上或者第二工件上的样品上,第一工件是样品从其上被铣削的工件,第二工件是样品未从其上被铣削的工件。使用离子束将样品打薄以形成一个薄层,该薄层被定向为在薄层平面内。



1. 一种用于创造平面视图TEM样品的方法,包括:

在具有样品台平面的样品台上提供第一工件,该第一工件包括被定向为处于第一定向的薄层平面;

使用离子束从该第一工件铣削样品,从而使得该样品基本上从该第一工件释放;

将探针附接至该样品,该探针包括具有轴线的轴,该轴线被定向成相对于该样品台成一个轴角,该轴角不垂直于该样品台平面;

将该探针环绕该轴线转动过转动角,该旋转致使该样品被旋转,从而使得该薄层平面被定向为处于第二定向;

将该样品附接至或将该样品放置于下述物品之上:

该第一工件,该第一工件是该样品从其上被铣削的该工件;或

第二工件,该第二工件是该样品未从其上被铣削的工件;以及

使用该离子束将该样品打薄以形成一个薄层,该薄层被定向为在该薄层平面内。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,该轴角为45度,并且该转动角为180度。

3. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,将该探针附接至该样品包括通过离子束沉积将该探针附接至该样品。

4. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,将该探针附接至该样品包括通过粘合剂将该探针附接至该样品。

5. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,使用离子束从该第一工件铣削该样品包括使用聚集离子束从该第一工件铣削该样品。

6. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,铣削该样品进一步包括铣削该样品从而使得所铣削的样品的一个面基本上与该薄层平面垂直。

7. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,将该样品附接至该第一或第二工件进一步包括在该工件和该样品上形成至少一个沉积物,该沉积物将该样品附接至该第一或第二工件。

8. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,将该样品附接至或将该样品放置于该第一或第二工件上进一步包括:在该第一或第二工件的表面中铣削凹陷区,该凹陷区的尺寸适合接收该样品的至少一部分,以及放置该样品从而使得该样品的至少一部分被安置在该凹陷区内。

9. 如权利要求7所述的方法,进一步包括使用该离子束通过离子束沉积形成该至少一个沉积物。

10. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,将该探针环绕该轴线转动过转动角致使该样品被转动,从而使得该样品台平面和该薄层平面基本上垂直。

11. 如权利要求10所述的方法,其中,在该铣削步骤之前,该薄层平面基本上平行于该样品台平面。

12. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,进一步包括:

使用离子束从该样品铣削该薄层,从而使得该薄层基本上从该样品释放;

将该薄层附接至透射电子显微镜(TEM)栅格;以及

当被附接至该透射电子显微镜(TEM)栅格时观察该薄层。

13. 如权利要求12所述的方法,进一步包括在从该样品铣削该薄层之前,将该样品所被

附接或放置在其上的该工件移动至第二装置,该第二装置是未被用于从该工件铣削该样品的装置。

14.如权利要求1所述的方法,其中执行使用所述离子束使所述样品变薄以形成薄片的同时将所述样品附接或放置在所述第一工件或所述第二工件上。

15.一种用于加工样品的设备,包括:

离子束柱;

具有样品台平面的样品台,该样品台能够在至少两个维度中移动并且能够环绕竖直轴转动;

探针,该探针可以环绕轴线转动,该轴线被定向成相对于该样品台平面成一个轴角,该轴角不垂直于该样品台平面;以及

控制器,该控制器致使该离子束柱、该样品台、该探针执行以下步骤:

将第一工件支撑在该样品台上,该第一工件包括薄层平面;

使用来自该离子束柱的离子束从该第一工件铣削样品,从而使得该样品基本上从该第一工件释放;

将该探针附接至该样品;

将该探针环绕该轴线转动过转动角;

将该样品附接至或将该样品放置于下述物品之上:

该第一工件,该第一工件是该样品从其上被铣削的该工件;或

第二工件,该第二工件是该样品未从其上被铣削的工件;以及

使用该离子束柱将该样品打薄以形成一个薄层,该薄层被定向为在该薄层平面内。

16.如权利要求15所述的设备,其中,该离子束柱是聚焦离子束柱。

17.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该探针被定向为与该样品台成45度。

18.如权利要求17所述的设备,其中,该转动角为180度。

19.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该探针通过从该离子束柱所形成的沉积物被附接至该样品。

20.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该探针通过粘合剂被附接至该样品。

21.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该控制器致使该离子束铣削该样品,从而使得所铣削的样品的一个面基本上与该薄层平面垂直。

22.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该样品通过该工件和该样品上所形成的至少一个沉积物被附接至该第一或第二工件。

23.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该样品被附接至或被放置于被该离子束铣削的该第一或第二工件的表面内的凹陷区内的该第一或第二工件上。

24.如权利要求15或权利要求16所述的设备,其中,该探针环绕该轴线被转动,从而使得该样品台平面和该薄层平面基本上垂直。

25.如权利要求24所述的设备,其中,在铣削之前,该薄层平面基本上平行于该样品台平面。

26.如权利要求22所述的设备,进一步包括使用该离子束通过离子束沉积形成该至少

一个沉积物。

27. 如权利要求15或权利要求16所述的设备,进一步包括该控制器致使该离子束柱、该样品台、该探针执行以下附加步骤:

使用离子束从该样品铣削该薄层,从而使得该薄层基本上从该样品释放;

将该薄层附接至透射电子显微镜(TEM)栅格;以及

当被附接至该透射电子显微镜(TEM)栅格时观察该薄层。

28. 如权利要求15所述的设备,其中执行使用所述离子束使所述样品变薄以形成薄片的同时将所述样品附接或放置在所述第一工件或所述第二工件上。

平面视图样品制备

[0001] 发明技术领域

[0002] 本发明涉及用于在带电粒子束系统中观察的样品的制备。

[0003] 发明背景

[0004] 带电粒子束显微术(比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,初级电子束聚焦到一个细斑点上以对有待观察的表面进行扫描。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,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。

[0005] 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100nm。

[0006] 在扫描透射电子显微镜(STEM)中,初级电子束被聚焦到一个细斑点,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。

[0007] 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。一种制备TEM样品的方法是使用离子束将该样品从工件衬底上切下。或在样品被完全从该工件释放之前或之后,探针被附接至样品。例如,可以通过静电、FIB沉积、或粘合剂来附接探针。附接至探针的样品被从工件上移开,样品从该工件被提取并通常使用FIB沉积、静电、或粘合剂被附接至TEM栅格。

[0008] 图1示出了典型的TEM栅格100,该栅格包括部分是圆形的3mm的环。在一些应用中,通过离子束沉积或者粘合剂将样品104附接到TEM栅极的指状物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到达样品下方的检测器的自由路径。TEM栅格通常地水平地安装到TEM中的样品支座上,其中TEM栅格的平面垂直于电子束,并且观察样品。

[0009] 一些双束系统包括可以用于提取样品的离子束,以及可以用于SEN或STEM观察的电子束。在一些双束系统中,FIB被定向成偏离竖直方向如52度的角,而电子束柱被竖直地定向。在其他系统中,电子束柱是倾斜的,并且FIB被竖直地定向或者也是倾斜的。样品安装在其上的台典型地可以是倾斜的,在一些系统中高达约60度。

[0010] 取决于样品在工件上怎样定向的,TEM样品可以广义上被分类为“平面视图”样品或“横截面视图”样品。如果有待观察的样品面平行于工件的表面,则该样品被称为“平面视图”样品。如果有待观察的面与工件的表面垂直,则样品被称为“横截面视图”样品。

[0011] 图2示出了TEM样品200的横截面视图,使用一种典型工艺从工件202部分地提取该

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接至该样品的顶部,并将该样品运送至TEM栅格。图2示出了几乎被完全释放的样品200,该样品在一侧通过接片218保持附接。图2示出了准备将接片218切断的离子束204。

[0012] 如图2所示,主要表面212为竖直定向。运送薄层通常不改变其定向,因此,当样品200被带到TEM样品支座时,其主要表面仍然是竖直定向。TEM栅格100的平面通常如图3所示为竖直定向,从而使得样品200可以被附接至该TEM栅格,其方式为使得主要表面212平行于该栅格的表面延伸,并且当栅格被安装在TEM中时,栅格结构将不会干扰电子的透射。离子束可以用于通过离子束沉积将所提取的样品附接至TEM栅格。一旦被附接,还可以使用离子束将样品200的面打薄。图3示出了被附接至样品台304上的栅格支架302内的TEM栅格100的样品200。使用离子束204和来自喷嘴312的沉积前驱气体310将样品200附接至栅格。图4示出了样品台304被转动和倾斜,从而使得样品200基本上垂直于离子束204,从而使得可以通过该离子束将样品200打薄。

[0013] 图5示出了工件500,从该工件提取平面视图样品502以观察该样品的面504。样品502被来自相反方向的两次交叉的离子束切削506A和506B切下,并且然后离子束切割侧面508A和508B以基本上释放工件500的包括样品502的一部分。将探针510附接至样品502的顶部。因此,所提取的样品为水平定向。如果样品以水平定向被附接至竖直地定向的TEM栅格,则该样品将垂直于栅格的平面延伸,并且栅格将干扰TEM的电子束。如果样品被安装在水平地定向的TEM栅格中,则有待观察的面504将面朝上。然后,在常规FIB系统中,在不将TEM栅格从真空室移除和将其翻转以将样品502的背面暴露以用于打薄的情况下打薄平面视图样品502的背面将是困难的。

[0014] 过去已经通过使用“翻转台”克服了平面视图TEM样品502的定向的这种问题,TEM栅格可以在翻转台上水平地定向以用于附接平面视图样品,并且然后,该样品台可以被翻转180度并被转动,从而使得样品的背面可以呈现垂直于离子束以用于打薄。例如在Asselbergs等人的题为“用于样品的生产和透射性照射的方法、以及粒子光学系统(Method for the manufacture and transmissive irradiation of a sample, and particle-optical system)”的6,963,068号美国专利中描述了翻转台,并且翻转台提供了在常规样品台上不可获得的自由度。此类翻转台昂贵且并不是在所有FIB系统中都可使用。

[0015] 此外,希望制造适合非原位提出的平面视图样品。非原位提出包括将薄层留在晶片中,以及然后使用提取装置(如玻璃针)在单独的台式系统内提取薄层。目前,没有办法从全晶片或类似衬底提取用于非原位提出的平面视图样品。需要一种将平面视图样品重定向的方法,从而将平面视图样品的定向从相对于晶片的表面基本上水平改变成相对于晶片的表面基本上竖直。

[0016] 发明概述

[0017] 本发明的一个目的是提供一种用于改变带电粒子束样品的定向的方法和设备。该方法的实施例包括在具有样品台平面的样品台上提供第一工件,该第一工件包括处于第一定向的薄层平面。使用离子束从该第一工件铣削样品,从而使得该样品基本上从该第一工件释放。探针被附接至该样品,该探针包括具有轴线的轴,该轴线被定向成相对于该样品台

平面成一个轴角,该轴角不垂直于该样品台平面。将该探针环绕该轴线转动过转动角,从而使得该薄层平面处于第二定向。该样品被附接至或放置于或者该第一工件上或者第二工件上的样品上,该第一工件是该样品从其上被铣削的该工件,该第二工件是该样品未从其上被铣削的工件。使用该离子束将该样品打薄以形成一个薄层,该薄层被定向为在该薄层平面内。

[0018] 该设备的实施例包括离子束柱、样品台、探针、和控制器。该样品台包括样品台平面并且能够在至少两个维度中移动并且能够环绕竖直轴线转动。该探针是环绕轴线可转动的。该轴线被定向成相对于该样品台平面成一个轴角。该轴角不垂直于该样品台平面。该控制器致使该离子束柱、该样品台、该探针执行以下步骤:将第一工件支撑在该样品台上,该第一工件包括薄层平面;使用来自该离子束柱的离子束从该第一工件铣削样品,从而使得该样品基本上从该第一工件释放;将该探针附接至该样品;将该探针环绕该轴线转动过转动角;将样品附接至或放置于该第一工件上或者第二工件上的该样品上,该第一工件是该样品从其上被铣削的该工件,该第二工件是该样品未从其上被铣削的工件;以及使用该离子束柱将该样品打薄以形成一个薄层,该薄层被定向为在该薄层平面内。

[0019] 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。本领域的技术人员应认识到所披露的概念和具体实施例可以容易地用作修改或设计用于实施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。

[0020] 附图简要说明

[0021] 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:

[0022] 图1示出了典型的TEM栅格,样品附接至该栅格;

[0023] 图2示出了正在从工件提取横截面TEM样品;

[0024] 图3示出了正在在图1的TEM栅格上安装图2的横截面TEM样品;

[0025] 图4示出了图3的样品和栅格,该样品和栅格被倾斜和转动以用于使用离子束将该样品打薄;

[0026] 图5示出了正在从工件提取TEM样品;

[0027] 图6出了用于实施本发明的典型的双束系统;

[0028] 图7为示出了本发明的优选实施例的步骤的流程图;

[0029] 图8示出了工件803中所形成的平面视图样品800;

[0030] 图9示出了附接至样品800的探针802;

[0031] 图10示出了在探针802转动过非零转动角之前被从工件803移除的样品800;

[0032] 图11示出了在探针802转动过非零转动角之后被从工件803移除的样品800;

[0033] 图12示出了在探针802转动过非零转动角之后被安置在工件803上的附接位置处的样品800;以及

[0034] 图13示出了样品800,该样品被离子束618在工件803上的附接位置处打薄以形成薄层1302。

[0035] 优选实施方案的详细描述

[0036] 本披露涉及用于制备用于非原位提出的平面视图样品的新方法。在一个实施例

中,本发明促进了用于在TEM或STEM中观察的平面视图样品的制备。这些方法提供用于提取和将平面视图样品安装至TEM栅格上,其方式为使得可以在不需要翻转台和不需要将TEM栅格从真空室移除和重定向的情况下提取、附接、和打薄样品。样品的重定向还可以促进对样品的其他分析和加工操作。

[0037] 图6示出了适用于实践本发明的典型的离子束系统,聚焦离子束(FIB)系统610。FIB系统610包括具有上颈部612的真空封套和聚集柱616,液态金属离子源614或其他离子源位于该上颈部内。也可以使用其他类型的离子源(如多峰或其他等离子体源)和其他光学柱(如成形束柱)以及电子束和激光系统。

[0038] 离子束618从液态金属离子源614穿过离子束聚焦柱616和从偏转板620处示意性指示的静电偏转装置之间通向工件622,该工件包括例如位于下室626内的样品台624上的半导体器件。样品台624还可以支撑一个或多个TEM样品支座,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。样品台624可以优选地在水平面(X和Y轴)和竖直地(Z轴)移动。样品台624还可以绕Z轴倾斜近六十(60)度和转动。系统控制器619控制着FIB系统610的各部分的操作。通过系统控制器619,用户可以通过输入到常规用户界面(未示出)的命令以希望的方式控制有待扫描的离子束618。可替代地,系统控制器619可以根据编程指令控制FIB系统610。

[0039] 例如,用户可以使用定点装置在显示屏上描绘感兴趣的区域,并且然后,该系统可以自动执行下述步骤以提取样品。在一些实施例中,FIB系统610结合图像识别软件,如可从美国马萨诸塞州纳蒂克康奈视公司商购的软件,以自动识别感兴趣的区域,并且然后,该系统可以根据本发明手动或自动地提取样品。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(或同一)器件上。

[0040] 离子泵628用于排空上颈部分612。在真空控制器632的控制下,用涡轮分子和机械泵送系统630将下室626排空。该真空系统在下室626内提供在大约 1×10^{-7} 托(1.3×10^{-7} mbar)和 5×10^{-4} 托(6.7×10^{-4} mbar)之间的真空。若使用蚀刻辅助气体、蚀刻阻滞气体或沉积前驱气体,则该室背景压力可能上升,通常上升至约 1×10^{-5} 托(1.3×10^{-5} mbar)。

[0041] 高压电源634连接到液态金属离子源614和离子束聚焦柱616内的适当的电极上以形成大约1KeV至60KeV的离子束618并将其引导向样品。根据图案生成器638提供的规定的图案而操作的偏转控制器和放大器636耦联到偏转板620上,由此可以手动或自动地控制离子束618以在工件622的上表面描上绘出相应的图案。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616内的束消隐电极(未示出)引起离子束618冲击到消隐孔径(未示出)而不是工件622上。

[0042] 液态金属离子源614通常提供镓金属离子束。该源通常能够被聚焦成工件622处的十分之一亚微米宽的束,用于或者通过离子铣削、加强蚀刻、材料沉积来修改该工件622,或者用于使该工件622成像的目的。用于检测次级离子或电子发射的带电粒子检测器640(如Everhart Thornley或多通道板)连接到向视频监视器644提供驱动信号并接收来自系统控制器619的偏转信号的视频电路642上。

[0043] 带电粒子检测器640在下室626内的位置在不同实施例中可以变化。例如,带电粒子检测器640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转离轴用于收集。扫描电子显微镜 (SEM) 641 及其电源和控制单元 645 一起可选择地配备有 FIB 系统 610。

[0044] 气体输送系统 646 延伸至下室 626 内以用于向工件 622 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)”美国专利号 5,851,413 描述了一种合适的气体输送系统 646。Rasmussen 的也被转让给本发明的受让人的题为“注气系统 (Gas Injection System)”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,或可输送一种金属有机化合物以便沉积金属。

[0045] 显微操纵器 647 (如本发明的受让人美国俄勒冈州希尔斯伯勒市 FEI 公司的 EasyLift™ 纳米操纵器系统、美国德克萨斯州达拉斯市 Omniprobe 公司的自动探针 200™ 或德国罗伊特林根 Kleindiek Nanotechnik 公司的 MM3A 型号) 可以在真空室内精确地移动物体。显微操纵器 647 可以包括位于真空室外的精密电动机 648, 以提供位于真空室内的部分 649 的 X、Y、Z 和 θ 控制。显微操纵器 647 可以配备有不同的用于操纵小物体的末端执行器。在下所述实施例中,末端执行器为细探针 650。细探针 650 可以电气地连接到系统控制器 619 上以向探针 650 施加电荷,以控制样品与探针之间的引力。

[0046] 打开门 660, 以便将工件 622 插入可以被加热或冷却的 X-Y 台 624 上, 并且还以便维修内部供气容器 (如使用内部供气容器的话)。该门被联锁以使得如果系统处于真空下, 那么它就不能开启。高压电源向离子束聚焦柱聚焦 616 内的电极提供适当的加速电压, 用于激励和使离子束 618 聚焦。当它冲击工件 622 时, 材料从样品上溅射即, 物理喷射出。可替代地, 离子束 618 可以使前驱气体分解以使材料沉积。例如可以从本发明的受让人的美国俄勒冈州希尔斯伯勒 FEI 公司商购聚焦离子束系统。虽然以上提供了适当硬件的示例, 但本发明不限于以任何具体类型的硬件被实现。

[0047] 图 7 描述了制备平面视图 TEM 样品的优选方法的步骤。过程在开始方框 702 开始。在步骤 704 中, 离子束 (优选地, 聚焦离子束) 对工件内的平面视图样品进行铣削, 从而基本上或完全地将该样品从该工件释放。图 8 示出了工件 803 中所形成的平面视图样品 800。平面视图样品 800 包括薄层平面 814, 该薄层平面基本上平行于样品台 801 的平面和/或工件 803 的顶面。根据此方法形成的薄层被定向为在薄层平面 814 内。在本发明的优选实施例中, 样品 800 被铣削, 从而使得所铣削的样品的至少一个面 816 基本上垂直于薄层平面 814。

[0048] 在步骤 706 中, 具有轴线 804 的探针 802 被附接至样品 800。可以通过离子束沉积将探针 802 附接至样品 800。可替代地, 可以通过粘合剂或本领域技术人员已知的其他手段将探针 802 附接至样品 800。探针轴 802 被附接至显微操纵器 810, 该操作器可以在三个维度中移动探针 802 并且可以环绕轴线 804 转动探针 802。当样品台处于其不倾斜的定向时, 探针 802 优选地保持在与样品台的平面成固定角度 812。角度 812 不垂直于样品台平面 801 (或者工件 803 的顶面)。角度 812 优选地与样品台平面 (或工件 803 的顶面) 成 45 度。探针 802 的尖端优选地被以同角度 812 一样的角度切割, 从而使得探针的尖端的平坦区平行于处于其不倾斜的定向的样品台的平面。如图 9 所示, 探针被附接至样品 800。例如, 可以使用金属 (如钨) 的聚焦离子束沉积将探针 800 附接至样品和探针。为了将探针 802 附接至样品 800, 探针尖端优选地被带到样品 800 的顶面附近并且通过离子束沉积被附接至样品 800, 例如, 如在 Schampers 等人的 7,615,745 号美国专利中所描述的, 该专利通过引用以其整体结合在本说

说明书中。当离子束被引导以扫描接触点周围的区域时,前驱气体(如六羰基钨、 $W(CO)_6$)被引导向探针802的尖端和样品800之间的间隙。该离子束被用来引起前驱气体的分解,从而沉积将该间隙桥接并将样品800与探针802的尖端连接的材料。在替代性实施例中,探针800被带到与样品800的顶面接触并且通过离子束沉积、通过使用粘合剂、借助样品800和探针802之间的引力(例如,静电引力、范德瓦尔斯引力等)、或通过本领域中已知的其他适当方式被附接至样品800。

[0049] 在步骤708中,将探针802环绕轴线804转动过非零转动角。可能需要将样品800从工件803提出一段距离,从而使得样品800具有一个间隙,以随着探针802被旋转而旋转。图10示出了在探针802被转动之前从工件803被移除的样品800。图11示出了在探针802转动过非零转动角之后从工件803被移除的样品800。探针802的转动引起样品800被重定向,从而使得薄层平面814基本上垂直于工件803的顶面和样品台平面801。一旦样品800被重定向,从而使得薄层平面814基本上垂直于工件803的顶面和样品台平面801,就可以像横截面视图样品那样加工样品800。在优选实施例中,探针和样品台平面之间的角度812是45度并且转动角是180度。即,通过将探针环绕轴线812转动180度,薄层平面814从基本上平行于样品台平面被重定向为基本上垂直于样品台平面。

[0050] 在步骤710中,如图12所示,样品800被优选地移动至同一工件表面上的附接位置。在替代性实施例中,样品800被移动至不同工件上的附接位置。对工件表面803上的附接位置的引用将被理解是指或者同一工件上的或者不同工件上的附接位置。可以移动任一探针802或可以移动样品台以将样品800重定位到附接位置。该附接位置是工件表面803上的位置,在该位置,样品800的面816被带到极为贴近或直接接触工件表面803并被附接以用于进一步加工。在步骤712中,然后,优选地使用离子束沉积将样品800附接至工件表面803。离子束被引导通过前驱气体以形成一个或多个沉积物902-904。沉积物902-904被附接至样品800和工件表面803两者,由此将样品800紧固至工件表面803。在替代性实施例中,样品800被放置在工件表面803上,并通过使用粘合剂、借助样品800和工件表面803之间的引力(例如,静电引力、范德瓦尔斯引力等)、或通过本领域中已知的其他适当方式被保持就位。在一些实施例中,在附接位置处在工具表面803中铣削出基本上安装样品800的凹陷区,以使得样品800的脱落更可靠。一旦样品800在附接位置被附接至工件表面803,探针802就可以从样品800分离,优选地使用FIB切断连接。

[0051] 在步骤714中,如图13所示,样品800被离子束618在工件803上的附接位置打薄以形成薄层1302。基准点1304可以用于快速地定位薄层平面814以及用于确定有待执行的适当的离子束铣削量以形成薄层1302。薄层1302将被定向为基本上垂直于工件803的顶面和样品台平面801。因此,薄层1302与从横截面样品形成的薄层处于相同的定向。一旦被充分打薄和加工,薄层1302可以被从样品800释放并被放置在TEM栅格上以用于在S/TEM仪器中观察。

[0052] 根据本发明的一些实施例,一种用于创造平面视图TEM样品的方法包括:在具有样品台平面的样品台上提供第一工件,该第一工件包括定向为在第一定向的薄层平面内;使用离子束从该第一工件铣削样品,从而使得该样品基本上从该第一工件释放;将探针附接至该样品,该探针包括具有轴线的轴,该轴线被定向成相对于该样品台成一个轴角,该轴角不垂直于该样品台平面;将该探针环绕该轴线转动过转动角,该转动造成该样品被转动,从

而使得该薄层平面定向为处于第二定向；将该样品附接至或将该样品放置于下述物品之上：该第一工件，该第一工件是该样品从其上被铣削的该工件；或第二工件，该第二工件是该样品未从其上被铣削的工件；以及使用该离子束将该样品打薄以形成一个薄层，该薄层被定向为在该薄层平面内。

[0053] 在一些实施例中，该轴角为45度，并且该转动角为180度。在一些实施例中，将该探针附接至该样品包括通过离子束沉积将该探针附接至该样品。在一些实施例中，将该探针附接至该样品包括通过粘合剂将该探针附接至该样品。在一些实施例中，使用离子束从该第一工件铣削该样品包括使用聚集离子束从该第一工件铣削该样品。

[0054] 在一些实施例中，铣削该样品进一步包括铣削该样品从而使得所铣削的样品的一个面基本上与该薄层平面垂直。在一些实施例中，将该样品附接至该第一或第二工件进一步包括在该工件和该样品上形成至少一个沉积物，该沉积物将该样品附接至该第一或第二工件。在一些实施例中，该方法进一步包括使用该离子束通过离子束沉积形成该至少一个沉积物。

[0055] 在一些实施例中，将该样品附接至或将该样品放置于该第一或第二工件上进一步包括在该第一或第二工件的表面中铣削出凹陷区，该凹陷区的尺寸适合接收该样品的至少一部分，以及放置该样品从而使得该样品的至少一部分被安置在该凹陷区内。在一些实施例中，将该探针环绕该轴线转动过转动角致使该样品被转动，从而使得该样品台平面和该薄层平面基本上垂直。在一些实施例中，在该铣削步骤之前，该薄层平面基本上平行于该样品台平面。

[0056] 在一些实施例中，该方法进一步包括使用离子束从该样品铣削该薄层，从而使得该薄层基本上从该样品释放；将该薄层附接至透射电子显微镜(TEM)栅格；以及当被附接至该透射电子显微镜(TEM)栅格时观察该薄层。在一些实施例中，该方法进一步包括在从该样品铣削该薄层之前，将该样品被附接或放置在其上的该工件移动至第二装置，该第二装置是未被用于从该工件铣削该样品的装置。

[0057] 根据本发明的一些实施例，一种用于加工样品的设备包括：离子束柱；具有样品台平面的样品台，该样品台能够在至少两个维度中移动并且能够环绕竖直轴转动；探针，该探针可环绕轴线转动，该轴线被定向成相对于该样品台平面成一个轴角，该轴角不垂直于该样品台平面；控制器，该控制器致使该离子束柱、该样品台、该探针执行以下步骤：将第一工件支撑在该样品台上，该第一工件包括薄层平面；使用来自该离子束柱的离子束从该第一工件铣削样品，从而使得该样品基本上从该第一工件释放；将该探针附接至该样品；将该探针环绕该轴线转动过转动角；将该样品附接至或将该样品放置于下述物品之上：该第一工件，该第一工件是该样品从其上被铣削的该工件；或第二工件，该第二工件是该样品未从其上被铣削的工件；以及使用该离子束柱将该样品打薄以形成一个薄层，该薄层定向为在该薄层平面内。

[0058] 在一些实施例中，该离子束柱是聚焦离子束柱。在一些实施例中，该探针被定向为与该样品台成45度。在一些实施例中，该转动角为180度。在一些实施例中，该探针通过从该离子束柱形成的沉积物被附接至该样品。在一些实施例中，该探针通过粘合剂被附接至该样品。

[0059] 在一些实施例中，该控制器使该离子束铣削该样品，从而使得所铣削的样品的一

个面基本上与该薄层平面垂直。在一些实施例中,该样品通过该工件和该样品上所形成的至少一个沉积物被附接至该第一或第二工件。在一些实施例中,该设备进一步包括使用该离子束通过离子束沉积形成该至少一个沉积物。

[0060] 在一些实施例中,该样品被附接至或放置于被该离子束铣削的该第一或第二工件的表面内的凹陷区内的该第一或第二工件上。在一些实施例中,将该探针环绕该轴线转动,从而使得该样品台平面和该薄层平面基本上垂直。在一些实施例中,在铣削之前,该薄层平面基本上平行于该样品台平面。

[0061] 在一些实施例中,该设备进一步包括该控制器致使该离子束柱、该样品台、该探针执行下列附加步骤:使用离子束从该样品铣削该薄层,从而使得该薄层基本上从该样品释放;将该薄层附接至透射电子显微镜(TEM)栅格;以及当被附接至该透射电子显微镜(TEM)栅格时观察该薄层。

[0062] 技术人员还将认识到,在优选的情况下,在一些实施例中可以消除探针底部上的平坦表面。只要样品固定在探针上,转动探针将对样品进行重定向,其中,重定向角度由转动的度数和探针轴线和样品台平面之间的角度所确定。因此,圆形的探针尖端、探针尖端不平行于样品台平面时所在的探针尖端角、或任何其他探针尖端形状在本发明的范围内。

[0063] 尽管已经详细描述了本发明及其优点,但是应理解到,在不脱离所附权利要求书定义的本发明的精神和范围的情况下,可以在此进行各种变化、代替以及改变。例如,所描述的角度和定向对于其中离子束被定向为与竖直方向成一定角度的系统而言是有用的。对于竖直地定向(或位于任何其他角度)的离子束柱而言,技术人员可以轻易地改变上述的示例以提供本发明的适当实施例。本发明不仅对于TEM样品制备是有用的,而且还可以用于SEM或光学显微镜观察,或用于任何带电粒子束、激光、或对显微试样的其他操作。

[0064] 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、物质的组合物、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披露中轻易认识到的,可以根据本发明利用现有的或往后要开发的、大体上执行相同功能或大体上实现和此处所述的对应实施例相同结果的工艺、机器、制造物、物质的组合物、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、物质的组合物、手段、方法或步骤包括在它们的范围内。

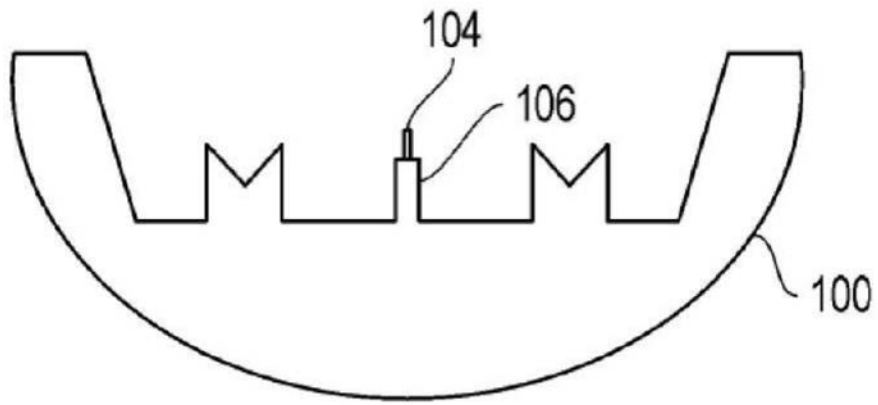


图1

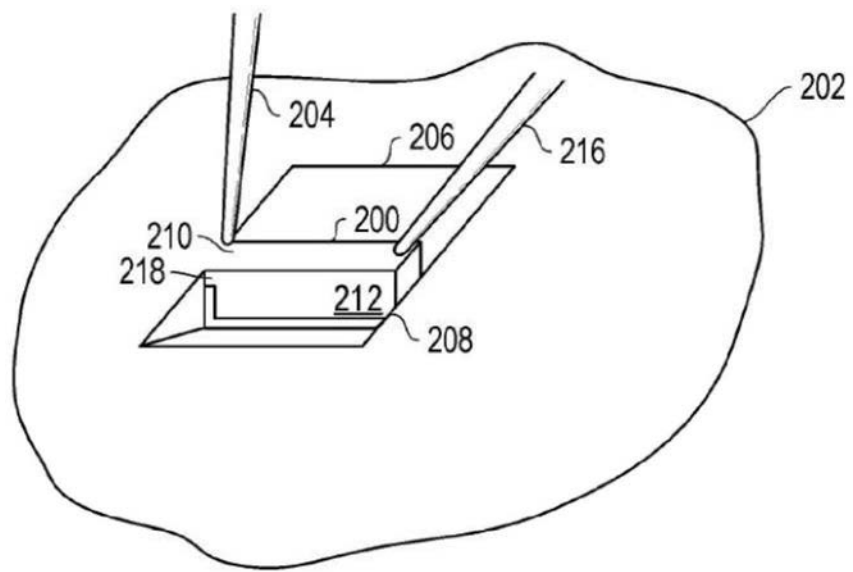


图2

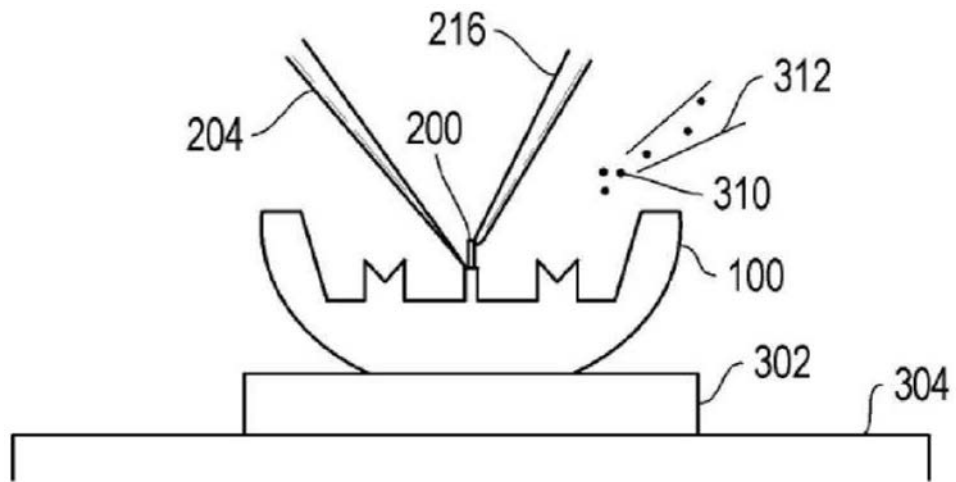


图3

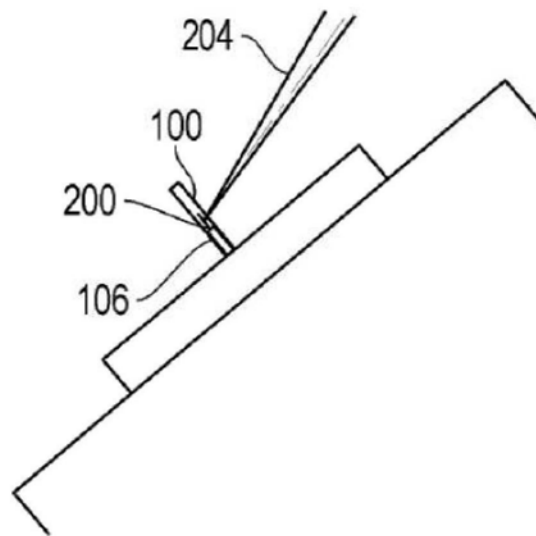


图4

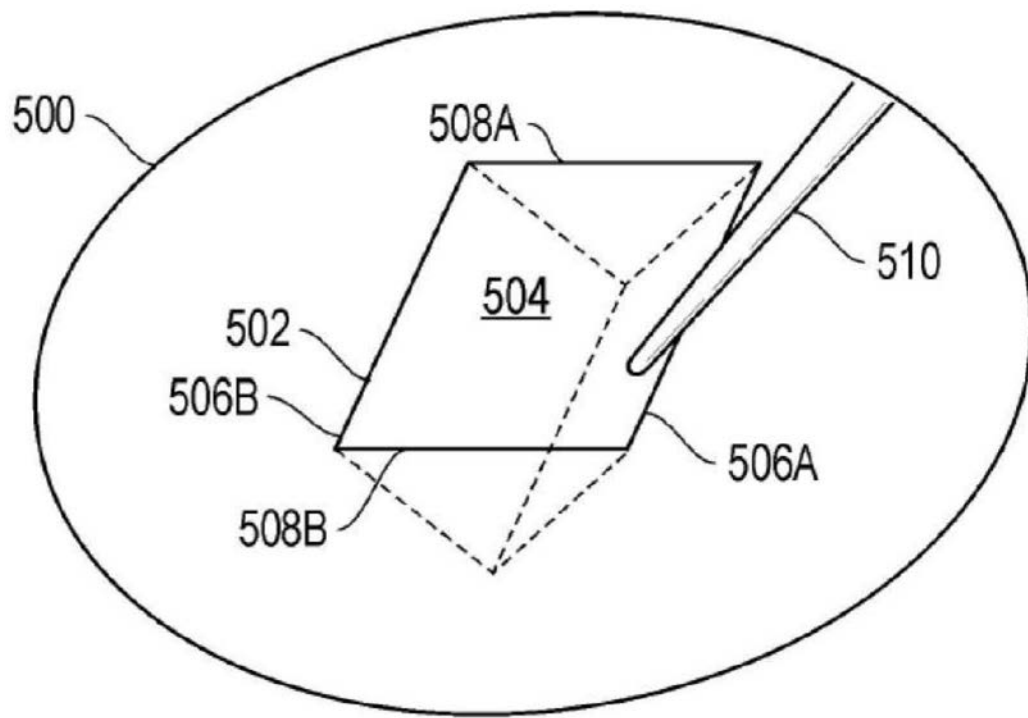


图5

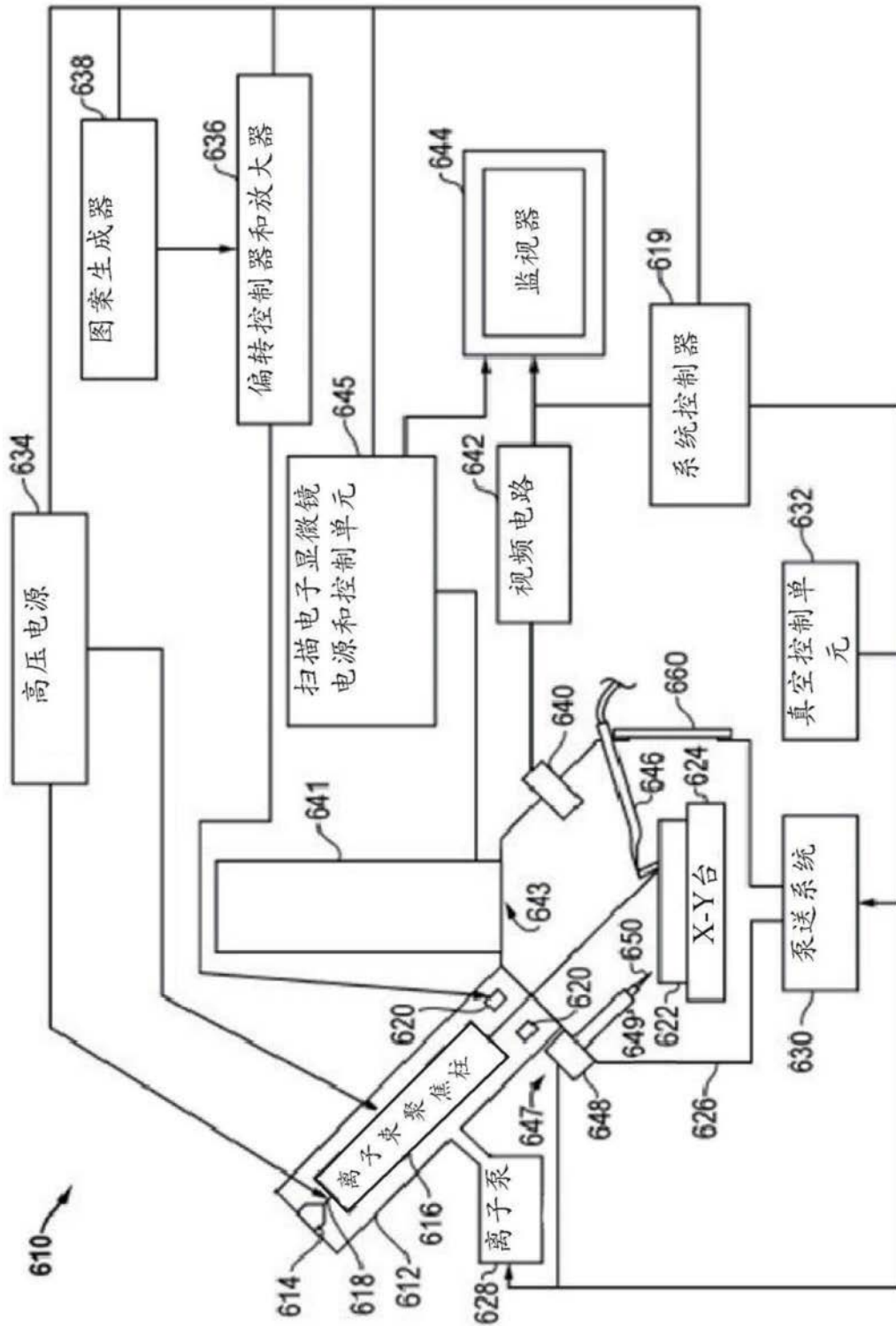


图6

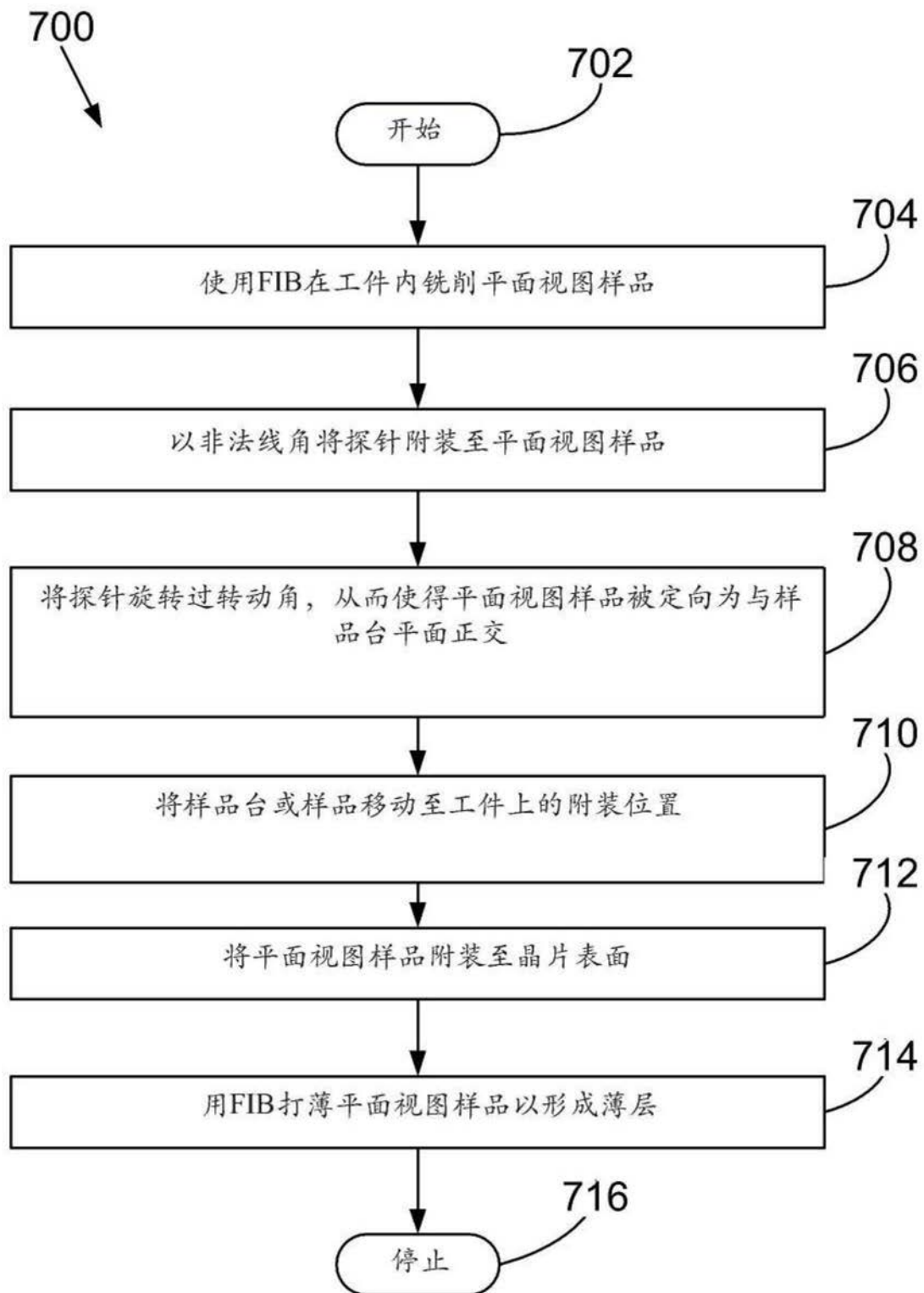


图7

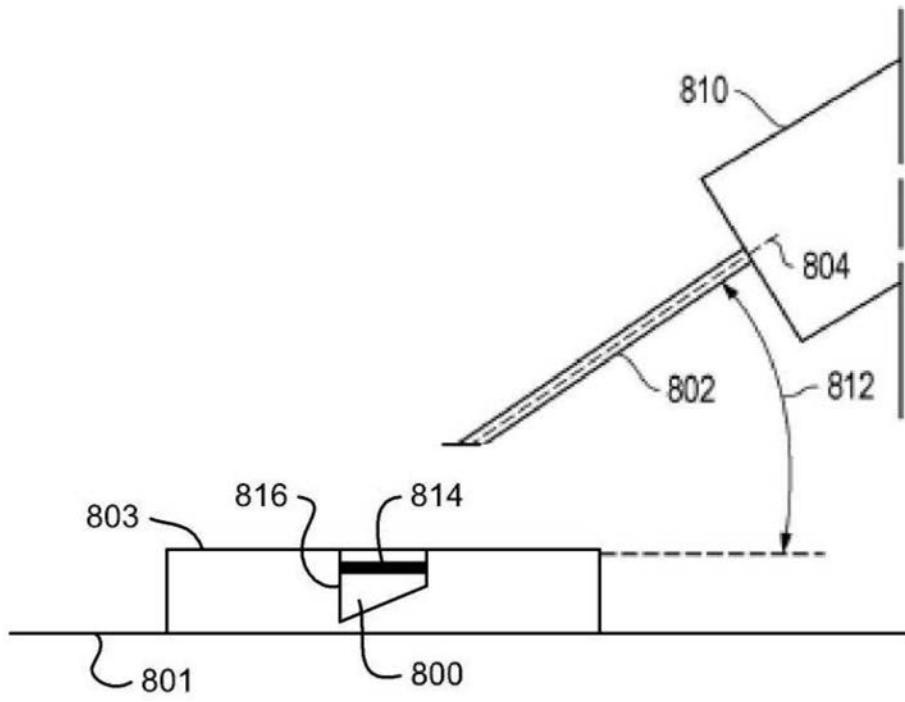


图8

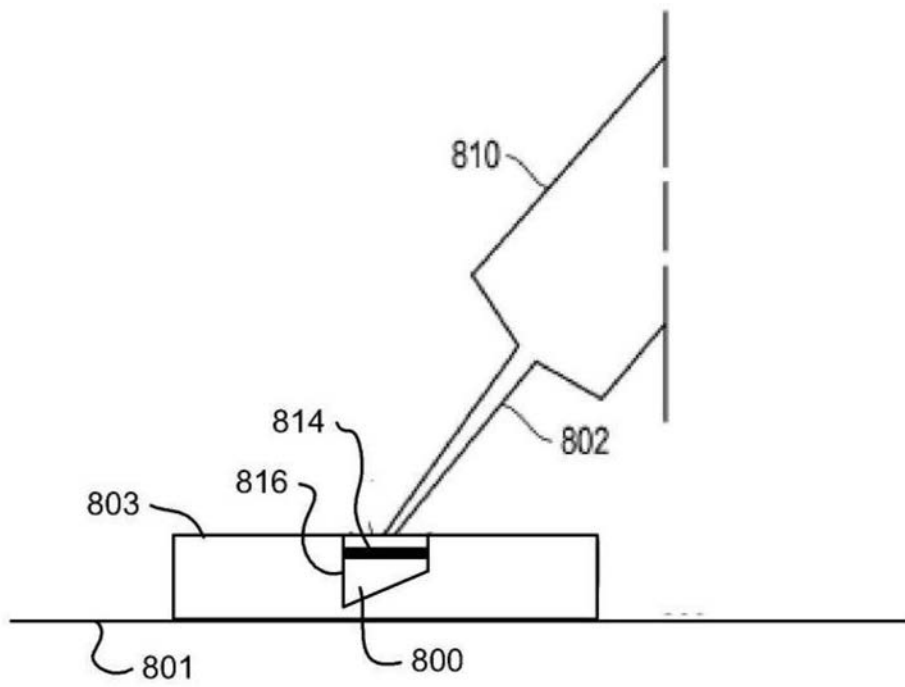


图9

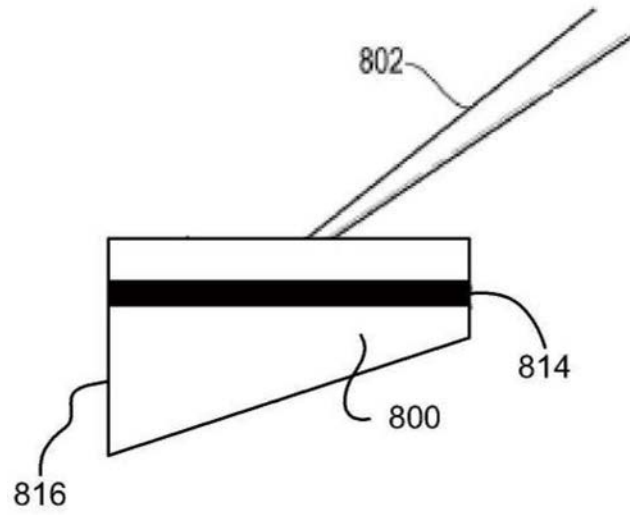


图10

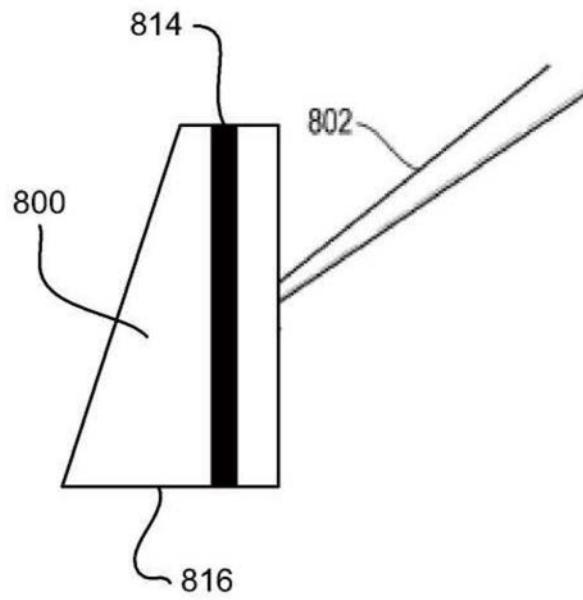


图11

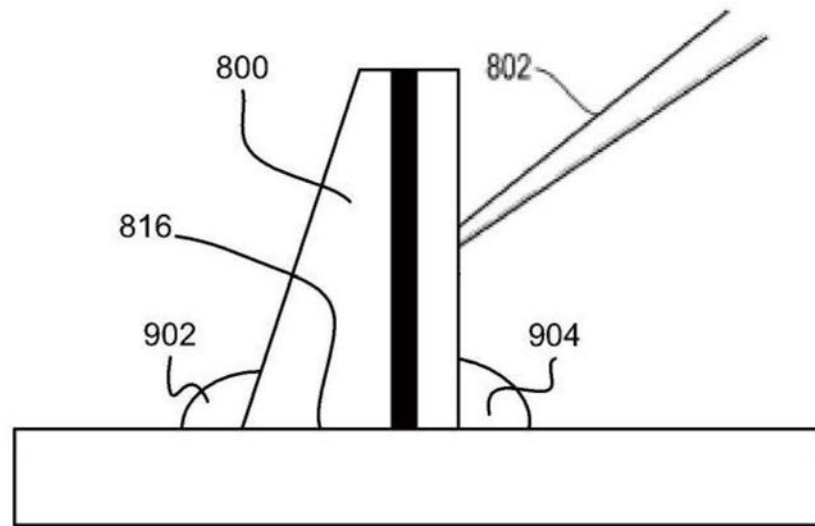


图12

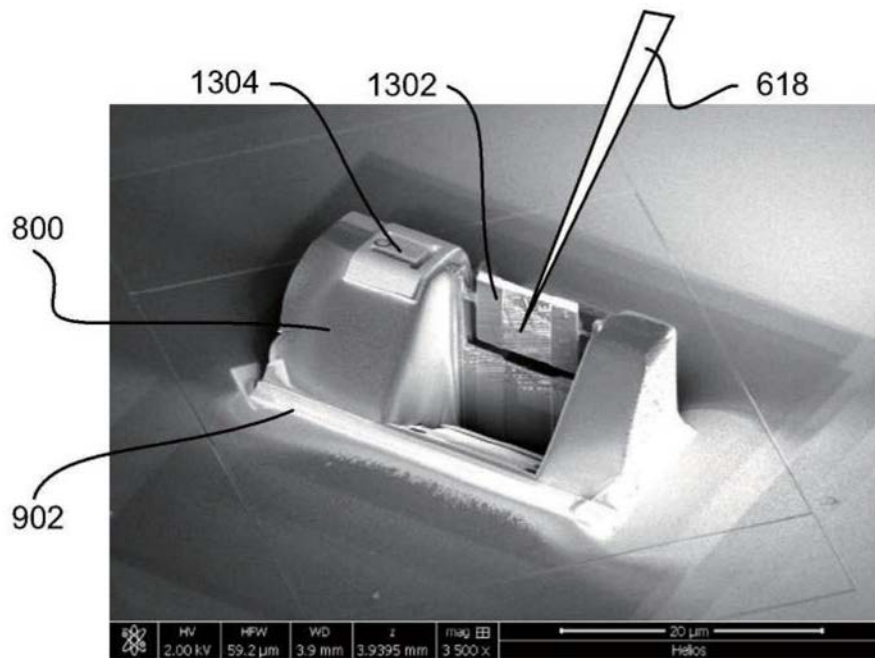


图13