



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103512781 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 15

(21) 申请号 201310231578. 3

(22) 申请日 2013. 06. 09

(30) 优先权数据

13/493, 735 2012. 06. 11 US

(71) 申请人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 A. B. 威尔斯 N. W. 帕克

C. D. 钱德勒 M. W. 乌特劳特

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张涛 王忠忠

(51) Int. Cl.

G01N 1/28(2006. 01)

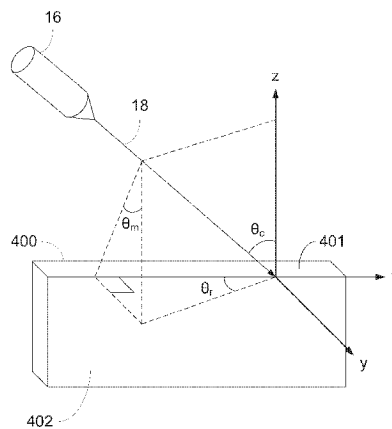
权利要求书3页 说明书12页 附图18页

(54) 发明名称

使用角度固定的射束和旋转样品台的薄层生成方法和装置

(57) 摘要

一种用于在衬底中生成基本上平坦的面的方法和系统,该方法包括:将一个或多个射束引导到衬底的第一表面处以从衬底中的第一位置移除材料,射束从第一表面的法线偏移非零垂落角;在垂直于第一表面的平面内扫动这一个或多个射束以在衬底中研磨出一个或多个初始切口,这些初始切口使基本上垂直于第一表面的第二表面暴露;使衬底围绕轴线旋转非零旋转角,该轴线不同于与第一射束正交或平行于第一射束的轴线;在不改变第一非零垂落角的情况下将第一射束引导到第二表面处,以从衬底中移除另外的材料;以及使这一个或多个射束在第二表面上按图案进行扫描,以在衬底中研磨出一个或多个最终切口。



1. 一种用于在衬底中生成基本上平坦的面的方法,包括:

将第一射束引导到衬底的第一表面处以从衬底中的第一位置移除材料,第一射束从第一表面的法线偏移第一非零垂落角;

在垂直于第一表面的平面内扫动第一射束以在衬底中研磨出一个或多个初始切口,这些初始切口使基本上垂直于第一表面的第二表面暴露;

使衬底围绕轴线旋转非零旋转角,该轴线不同于与第一射束正交或平行于第一射束的轴线;

在不改变第一非零垂落角的情况下将第一射束引导到第二表面处,以从衬底中移除另外的材料;以及

使第一射束在第二表面上按图案进行扫描,以在衬底中研磨出一个或多个最终切口。

2. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

将第二射束引导到衬底的第一表面处以从衬底中的第二位置移除材料,第二射束从第一表面的法线偏移第二非零垂落角,衬底中的第二位置设置成足够接近衬底中的第一位置以形成具有所希望厚度的薄层;

在垂直于第一表面的平面内扫动第二射束以在衬底中研磨出一个或多个初始切口,这些初始切口使基本上垂直于第一表面且基本上平行于第二表面的第三表面暴露;

使衬底围绕轴线旋转非零旋转角,该轴线不同于与第二射束正交或平行于第二射束的轴线;

在不改变第二非零垂落角的情况下将第二射束引导到第三表面处,以从衬底中移除另外的材料;以及

使第二射束在第三表面上按图案进行扫描,以在衬底中研磨出一个或多个最终切口。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,进一步包括使衬底围绕垂直于第一表面的轴线旋转非零旋转角。

4. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,进一步包括基于所希望的研磨角以及第一非零垂落角来确定所述非零旋转角。

5. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中第一射束选自包括以下各项的组:聚焦离子束、电子束、激光束,以及从喷水切割机中喷出的水射流。

6. 根据权利要求2所述的方法,其中第二射束选自包括以下各项的组:聚焦离子束、电子束、激光束,以及从喷水切割机中喷出的水射流。

7. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,进一步包括在研磨过程中用扫描电子显微镜来对衬底成像。

8. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中第一非零垂落角为射束与衬底的第一表面的法线之间的角。

9. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中非零旋转角为包括射束和衬底的旋转轴线的平面与包括衬底的第二表面的平面之间的角。

10. 根据权利要求2所述的方法,其中所述第一射束的引导和所述第二射束的引导可以按时间顺序发生,并且其中所述第一射束与所述第二射束可以是相同的射束。

11. 根据权利要求2所述的方法,其中所述第一射束的引导和所述第二射束的引导可以大体同时发生,并且其中所述第一射束与所述第二射束是不同的射束。

12. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中在研磨出这一个或多个初始切口的过程中和/或之后,这一个或多个最终切口移除掉重新沉积在和/或流到第二表面上的材料。

13. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中在研磨出这一个或多个初始切口的过程中,这一个或多个最终切口移除掉第二表面上的、被制成为非晶态的材料。

14. 根据权利要求2所述的方法,其中这一个或多个最终切口基本上移除掉薄层的顶部与底部之间的厚度变化。

15. 根据权利要求2所述的方法,其中这一个或多个最终切口将薄层与衬底分离。

16. 根据权利要求2所述的方法,其中薄层包括透射电子显微镜样品。

17. 根据权利要求2所述的方法,进一步包括将第一射束和第二射束引导到衬底上以增加产量,第一射束从衬底中的第一位置移除材料,且第二射束从衬底中的第二位置移除材料。

18. 根据权利要求2所述的方法,其中该方法在没有操作者的手动干预的情况下自动执行。

19. 根据权利要求17所述的方法,进一步包括将第一射束引导到第二表面上以从衬底中移除另外的材料,且将第二射束引导到第三表面上以从衬底中移除另外的材料。

20. 一种用于在衬底中生成基本上平坦的面的设备,包括:

第一粒子源,该第一粒子源用于发射粒子以在衬底中研磨出特征;

第一聚焦柱,该第一聚焦柱用于将从第一粒子源发射出的这些粒子形成第一射束并且引导第一射束以撞击在衬底上;以及

样品台,该样品台用于将衬底相对于样品台固持在固定位置,其中样品台能够围绕不多于一条轴线旋转。

21. 根据权利要求20所述的设备,其中样品台围绕轴线旋转,该轴线不同于与第一射束正交和/或平行于第一射束的轴线。

22. 根据权利要求20所述的设备,其中第一聚焦柱与样品台所成的角在整个研磨过程中保持固定。

23. 根据权利要求20至22中任一项所述的设备,进一步包括扫描电子显微镜,其中该扫描电子显微镜经配置以对衬底中的这些研磨出的特征成像。

24. 根据权利要求20至22中任一项所述的设备,其中样品台具有不多于四个自由度。

25. 根据权利要求20至22中任一项所述的设备,进一步包括:

第二粒子源,该第二粒子源用于发射粒子以与第一粒子源同时地在衬底中研磨出特征;以及

第二聚焦柱,该第二聚焦柱用于将从第二粒子源发射出的这些粒子形成第二射束并且引导第二射束以撞击在衬底上。

26. 根据权利要求20至22中任一项所述的设备,进一步包括:

多于两个粒子源,这些粒子源用于发射粒子以与第一粒子源同时地在衬底中研磨出特征;以及

多于两个聚焦柱,这些聚焦柱用于将从这多于两个粒子源发射出的这些粒子形成多于两个射束并且引导这多于两个射束以撞击在衬底上。

27. 根据权利要求 20 至 22 中任一项所述的设备,其中样品台在 x 、 y 和 z 方向上平移,并且聚焦柱围绕 z 方向上的轴线旋转。

使用角度固定的射束和旋转样品台的薄层生成方法和装置

本发明的技术领域

[0001] 本发明涉及样品的制备以及用于电子显微镜分析的样品处理方法。

本发明的背景

[0002] 半导体制造,例如集成电路的制作,典型地需使用光刻。上面形成有电路的半导体衬底,通常为硅晶圆,用例如光致抗蚀剂等材料涂覆,该材料在曝露在辐射中时会改变溶解度。位于辐射源与半导体衬底之间的平版印刷工具例如掩模或光罩投射阴影以控制衬底中哪些区域曝露在辐射中。在曝露之后,将光致抗蚀剂从曝露区域或未曝露区域中移除,从而在晶圆上留下光致抗蚀剂的经图案化的层,以便在随后的蚀刻或扩散工艺中保护晶圆的各部分。

[0003] 光刻工艺允许在每个晶圆上形成多个集成电路装置或机电装置,通常称为“芯片”。晶圆随后被切成个别裸片,每个裸片包括单一的集成电路装置或机电装置。最终,这些裸片经受额外操作并且被封装成个别集成电路芯片或机电装置。

[0004] 在制造过程中,曝露和聚焦的变化要求由平版印刷工艺显影的图案被连续监控或测量以确定这些图案的尺寸是否在可接受范围内。监控通常被称为过程控制,其重要性随着图案尺寸变小而显著增加,尤其是当最小特征尺寸接近平版印刷工艺可获得的分辨率极限时。为了实现越来越高的装置密度,需要越来越小的特征尺寸。这可能包括互连的金属化线的宽度和间距、接触孔和通孔的间距和直径,以及各种特征的表面几何形状例如角和边缘。晶圆上的特征为三维结构,并且完整的表征不仅需描述特征的表面尺寸,例如线或沟槽的顶宽,而且还需描述特征的完整三维轮廓。工艺工程师必须能精确地测量这些表面特征的临界尺寸(CD)以对制作过程进行微调并且确保获得所希望的装置几何形状。

[0005] 典型地,使用例如扫描电子显微镜(SEM)等仪器来进行CD测量。在扫描电子显微镜(SEM)中,一次电子束聚焦到一个细点上以对将观察的表面进行扫描。当表面被一次射束冲击时,从表面发出二次电子。这些二次电子被检测到,随后形成图像,该图像中每个点处的亮度由射束冲击表面上的相应点时检测到的二次电子的数量所决定。然而,随着特征不断变得越来越小,会出现这样一个点,在该点处有待被测量的特征对于普通SEM所提供的分辨率而言过小。

[0006] 透射电子显微镜(TEM)允许观察者看到纳米级的极小特征。与只对材料表面成像的SEM相比,TEM还允许对样品的内部结构进行分析。在TEM中,宽射束冲击样品并且透射穿过样品的电子经过聚焦以形成样品的图像。样品必须足够薄以允许一次射束中的许多电子行进穿过样品并且在相对的位点处离开。样品典型地小于100nm厚。

[0007] 在扫描透射电子显微镜(STEM)中,一次电子束聚焦到细点上,并且该点在样品表面上被扫描。透射穿过衬底的电子由位于样品远侧的电子检测器收集起来,并且图像上每个点的强度对应于一次射束冲击表面上的相应点时所收集的电子数量。

[0008] 随着半导体几何形状不断缩小,制造商越来越依赖于透射电子显微镜(TEM)来监控过程、分析缺陷,并且研究界面层形态。在此使用的术语“TEM”指代TEM或STEM,并且提及制备用于TEM的样品,应理解为还包括制备用于在STEM上进行观察的样品。由于样品必

须非常薄才能用透射电子显微镜方法（无论是 TEM 还是 STEM）来观察，因此样品的制备可能是精细、费时的。

[0009] 从大块样品材料上切下来的薄 TEM 样品称为“薄层”。薄层典型地小于 100nm 厚，但是在某些应用中，薄层需显著更薄。就 30nm 及以下的先进半导体制作工艺来说，薄层的厚度需小于 20nm，以便避免小型结构之间的重叠。当前，薄化到 30nm 以下较为困难且不稳健。样品的厚度变化导致薄层弯曲、过度研磨，或其他重大缺陷。对于这样的薄样品而言，薄层制备是 TEM 分析中的一个关键步骤，它很大程度上决定了结构表征的质量以及对最小和最关键结构的分析。

[0010] 尽管可以通过 TEM 分析而发现的信息可能非常有价值，但是生成并测量 TEM 样品的整个过程在历史上是如此劳动密集且费时以至于使用该类分析来进行制造过程控制一直是不切实际的。使用聚焦离子束（FIB）系统来生成用于 TEM 显微镜方法的薄层在本领域中是已知的。FIB 系统能够将薄层研磨得足够薄以用于 TEM 系统中。使用双射束系统来进行 TEM 样品制备在本领域中是已知的。双射束系统具有用于从大块样品中研磨出薄层的 FIB 柱，以及用于对薄层成像的 SEM 柱，典型地是当薄层被研磨时。双射束系统改善了制备用于 TEM 分析的样品所需的时间。尽管在样品制备中使用 FIB 方法只使制备用于 TEM 分析的样品所需的时间减少到了数小时，但是分析来自一个给定晶圆的 15 到 50 个 TEM 样品是并不罕见的。因此，样品制备的速度在 TEM 分析的使用中是非常重要的因素，尤其对于半导体过程控制来说。

[0011] 图 1A 所示为采取某一定向的、用于对大块样品材料执行初始研磨以生成用于 TEM 分析的样品薄层的现有技术 FIB 系统。大块样品材料，即衬底 108，被装载到工具样品台 106 中。衬底 108 经定向使得其顶面垂直于从 FIB 柱 102 发出的聚焦离子束 104。用于生成薄层 110 的大多数离子束机加工是在衬底 108 和 FIB 柱 102 采取此定向的情况下执行的。由于离子束 104 的聚焦（即，会聚的锥形）和路径，此垂直研磨使薄层 110 从顶部向底部渐缩。也就是说，薄层 110 的顶部比底部薄。此外，薄层 110 在边界 114 处保持牢固地附接到衬底 108 上。薄层 110 必须先由衬底 108 移除，之后才能用于 TEM 中。此外，当在竖直定向上用离子束 104 研磨时从衬底 108 移除的材料可以重新沉积在或流动到薄层 110 的面上，致使形成非晶层 112。非晶层 112 降低了 TEM 分析的质量并且必须被移除或磨去之后才能将薄层 110 用于 TEM。

[0012] 图 1B 所示为采取倾斜定向用于对使用过倾斜、抛光，和 / 或底切来对样品薄层进行后处理的现有技术 FIB 系统。过倾斜是从薄层 110 的侧面移除锥形以使薄层 110 的各面基本上平行的工艺。抛光是将通过先前的初始研磨而收集在薄层 110 上的一个或多个非晶层 112 从薄层 110 移除的工艺。底切是在边界 114 处或附近使薄层 110 部分地或完全地与衬底 108 分离的工艺。现有技术薄层生成工具对 FIB 柱 102 进行定向使得在衬底 108 的初始加工过程中离子束 104 采取竖直定向（即，与衬底 108 的顶面正交）。在衬底 108 的初始加工之后，为了执行过倾斜、抛光和底切等工艺，样品必须远离某一位置而倾斜，该位置在两个方向上均垂直于离子束 104，这样便可以执行额外的离子研磨。样品台 106 或 FIB 柱 102 围绕薄层 110 的长轴线旋转一个角度 116。也就是说，样品台 106 或 FIB 柱 102 相对于某一平面旋转角度 116，该平面由薄层 110 的长轴线以及衬底 108 顶面的法线所界定。换句话说，样品台 106 或 FIB 柱 102 围绕一条轴线旋转，该轴线垂直于图 1A 的页面并且位于图

1A 中所示的薄层 110 的截面内,优选在薄层 110 的截面的中心附近。

[0013] 在现有技术中已知的架构中,在初始研磨之后,样品台 106 或 FIB 柱 102 必须围绕一条轴线倾斜,以对薄层 110 执行任何所需的后处理,其中该轴线垂直于由 FIB 柱 102 以及衬底 108 顶面的法线所界定的平面。对工具进行这些倾斜(即,台或柱倾斜)中的任一者是复杂的并且增加了工具的费用、维护,和易碎性。在现有技术系统中,如果在整个薄层制备过程中 FIB 柱 102 被固持在固定位置,那么样品台 106 必须具有五个自由度:在 X、Y 和 Z 方向上的平移、围绕垂直于衬底顶面的轴线的旋转,以及围绕垂直于 FIB 柱 102 的轴线的旋转。或者,如果使样品台 106 只具有四个自由度(X、Y、Z,以及围绕垂直于样品顶面的轴线的旋转),那么在研磨过程中 FIB 柱 102 必须相对于工具的剩余部分旋转以执行过倾斜、抛光,以及底切。

[0014] 具有可以在可接受的漂移极限(纳米级)内精确倾斜的样品台 106 和/或 FIB 柱 102 的 TEM 样品制备系统是复杂、昂贵的且需要额外的维护。具有仅四个自由度的样品台 106 以及保持在固定位置的 FIB 柱 102 的 TEM 样品制备系统在所有其他事物相同的情况下会比上述工具成本低,较易于组装和维护,并且发生故障的可能性较小。因此,希望能够用 FIB 柱 102 执行成角度的研磨,而无需在处理过程中使样品相对于离子束 104 倾斜。

[0015] 此外,使用上述现有技术方法形成的薄层会经历不希望的副效应,称为“垂落(curtaining)”。图 2 所示为呈现出垂落效应的样品 200。当衬底 108 由异质结构(例如,具有硅和二氧化硅的金属栅极和罩)形成时,离子束 104 以不同的研磨速率不同地研磨不同的元件。一些金属元件趋向于遮蔽其下方的较轻材料。例如,样品 200 包括硅部分 202 和钨部分 204。硅部分 202 被研磨的速率高于钨部分 204。所得效应是波浪状薄层面,或垂落物 206,它在金属区域被研磨的程度不如在不带金属的区域中研磨的程度。此效应称为“垂落”,因为薄层面上的波浪特征类似于垂帘。当离子束在竖直方向上(即,垂直于衬底的顶面)被引导时,垂落效应最显著。垂落这种人为结果降低了 TEM 成像的质量并且限制了最小可用样本的厚度。对于超薄的 TEM 样品而言,两个截面非常靠近,使得垂落效应引起的厚度变化可能使样品薄层变得不可用。因此,希望在 TEM 样品薄层的制备过程中减少垂落这种人为结果。

[0016] 尽管前面关于薄层制备工艺的描述是在半导体制作的背景下呈现的,但是其他应用中的薄层制备现在也很常见。例如,在生物成像中,通常有利的是从嵌有树脂或低温冷冻的细胞或组织样品中生成薄层。TEM 或 STEM 随后被用于对这些薄层成像,从而获得关于各种细胞超结构的信息。

[0017] 此外,上文在薄层制备的背景下描述的微米和纳米机加工程序也可以应用于其他纳米制作程序中,例如 MEM 制作和用于生产机械、电气、以及机电装置的其他工艺,尤其是在这些结构跨越从数十微米至纳米尺寸的尺寸范围的情况下。

[0018] 上文在聚焦的离子束的背景下描述的射束定位和倾斜程序也可以具有对其他类型的微制作工艺的应用,例如,喷水切割机和激光束的使用。

发明概述

[0019] 本发明的一个实施方案包括一种用于在衬底中生成基本上平坦的面的方法,该方法包括:将第一射束引导到衬底的第一表面处以从衬底中的第一位置移除材料,第一射束从第一表面的法线偏移第一非零垂落角;在垂直于第一表面的平面内扫动第一射束以在

衬底中研磨出一个或多个初始切口,这些初始切口使基本上垂直于第一表面的第二表面暴露;使衬底围绕轴线旋转非零旋转角,该轴线不同于与第一射束正交或平行于第一射束的轴线;在不改变第一非零垂落角的情况下,将第一射束引导到第二表面处,以从衬底中移除另外的材料;以及使第一射束在第二表面上按图案进行扫描,以在衬底中研磨出一个或多个最终切口。

[0020] 本发明的另一个实施方案包括一种用于在衬底中生成基本上平坦的面的设备,该设备包括:用于发射粒子以在衬底中研磨出特征的第一粒子源;第一聚焦柱,该第一聚焦柱用于将从第一粒子源发射出的粒子形成为第一射束并且引导第一射束以撞击在衬底上;以及样品台,该样品台用于将衬底相对于样品台固持在固定位置,其中样品台可以围绕不多于一条轴线旋转。

[0021] 前述内容已相当广泛地概述了本发明的特征和技术优势,以便可以更好地理解下文中的本发明的具体实施方式。下文将描述本发明的另外的特征和优点。本领域的普通技术人员应了解,所披露的概念和特定实施方案可易于用作修改或设计其他结构以进行本发明的相同目的的基础。本领域的普通技术人员还应意识到,此类等效构造并不脱离所附权利要求书中所阐述的本发明的精神和范围。

附图简要说明

[0022] 为了更完整地理解本发明及其优势,现在参考以下结合附图进行的描述,其中:

[0023] 图 1A 示出了采取初始定向用于从衬底制备出用于 TEM 分析的样品薄层的现有技术 FIB 系统;

[0024] 图 1B 示出了采取倾斜定向用于使用过倾斜、抛光,和 / 或底切来对样品薄层进行后处理的现有技术 FIB 系统;

[0025] 图 2 示出了呈现出垂落效应的样品 200;

[0026] 图 3 示出了用于实施本发明的一个或多个实施方案的粒子束系统;

[0027] 图 4 示出了根据本发明的一个或多个实施方案的样品薄层 400 和离子束 18 的理想化的三维图,其示出了用于确定离子束 18 相对于薄层 400 的定向的各种角度;

[0028] 图 5 示出了展示对于各种垂落角 θ_c 而言研磨角 θ_m 随旋转角 θ_r 而变的曲线图 500;

[0029] 图 6 示出了展示根据本发明的一个或多个实施方案的用于操作聚焦离子束系统 8 的方法的流程图 600;

[0030] 图 7 示出了不呈现出垂落效应的样品 700;

[0031] 图 8 示出了三柱组件 800 的顶部示意图,该三柱组件含有两个 FIB 柱 802a 和 802b,中心 SEM 柱 804 的每一侧上各一个;

[0032] 图 9 示出了图 8 的三柱组件 800 的侧面示意图,该三柱组件含有两个 FIB 柱 802a 和 802b,中心 SEM 柱 804 的每一侧上各一个;

[0033] 图 10 为展示在 FIB 研磨之前的平直样品表面 22 的电子束成像模式的侧视图;

[0034] 图 11 为展示薄层 400 的侧壁的电子束成像模式的侧视图;

[0035] 图 12 所示为使用离子束 18a 和 18b 同时研磨出两个切口 1202a 和 1202b 的聚焦离子束柱 802a 和 802b,其中在薄层 400 的每一侧上各一个切口以暴露薄层 400 的竖直面;

[0036] 图 13 为图 12 中的聚焦离子束柱 802a 和 802b 以及聚焦离子束 18a 和 18b 的特写

图,其示出了两个 FIB 柱可以如何彼此独立地工作;

[0037] 图 14 展示了根据本发明的一个实施方案的用双 FIB 系统对薄层制备工艺中的最终切口的研磨的顶视图;

[0038] 图 15 展示了同时抛光薄层 400 的同一面 402 以减少垂落的双 FIB 柱的顶视图;

[0039] 图 16 展示了同时抛光薄层 400 的同一面 402 以减少垂落的双 FIB 柱的图 15 中的特写侧视图;

[0040] 图 17 展示了根据本发明的一个优选实施方案的用双 FIB 系统使用台旋转对薄层制备工艺中的最终切口的研磨;

[0041] 图 18 示出了包括与两个 FIB 柱组合在一起的两个电子束柱的本发明的替代实施方案;以及

[0042] 图 19 示出了包括与两个 FIB 柱组合在一起的两个电子束柱的本发明的另一个替代实施方案。

优选实施方案的详细说明

[0043] 本发明的实施方案针对用于在样品衬底中造出直边切口以产生优选用于透射电子显微镜 (TEM) 中的样品薄层的装置和方法。这些实施方案包括定位离子束使得射束不与样品衬底的顶面正交。射束在由离子束柱与衬底顶面的法线所界定的平面内进行扫描,并且衬底围绕其顶面的法线旋转,从而改变表观的研磨角。

[0044] 图 3 示出了可以用于实施本发明的一个或多个实施方案的聚焦离子束系统 8。聚焦离子束系统 8 包括真空封套 12,离子源 14 位于真空封套中以便为离子束聚焦柱 16 提供离子。离子束 18 从源 14 穿过柱光学器件 16 并且穿过静电偏转机构 20 之间向衬底 22 传播,衬底包括例如位于下腔室 26 内的样品台 24 上的半导体装置。在至少一个实施方案中,样品台 24 具有不多于四个自由度,从而无需倾斜台。在替代实施方案中,样品台 24 可以包括具有多于四个自由度的倾斜台。优选地,样品台 24 可以在 x、y 和 z 方向上平移,且样品台 24 可以围绕垂直于样品台 24 顶面的单个轴线旋转。

[0045] 高压电源 34 连接到离子源 14 并且连接到用于形成离子束 18 且将离子束 18 引导向样品 22 的聚焦柱 16 中的合适电极。根据由图案发生器 38 提供的规定图案进行操作的偏转控制器和放大器 36 联接到偏转板 20,由此射束 18 可以被控制为在样品 22 (也叫做“衬底”) 的表面上描绘出相应图案。在一些系统中,偏转板 20 被放置在最终透镜之前 (即,在聚焦柱 16 内),如本领域中所熟知的。

[0046] 离子束源 14 被带到衬底 22 上的焦点处,用于通过离子研磨、材料沉积来修改衬底 22 的表面或用于对表面成像的目的。用来对用于成像的二次离子或电子发射进行检测的带电粒子倍增器 40 可以连接到视频电路和放大器 42。也可以使用本领域中已知的其他图像检测器,例如背散射式电子或 x 射线检测器。视频电路和放大器 42 为视频监控器 44 供应视频信号。视频监控器 44 还从控制器 36 接收偏转信号。在不同实施方案中,带电粒子倍增器 40 在腔室 26 内的位置可以变化。例如,在一个实施方案中,带电粒子倍增器 40 可以与离子束共轴并且包括用于允许离子束穿过的孔。扫描电子显微镜 41 (SEM) 以及其电源和控件 45 优选地提供于 FIB 系统 8 中。SEM41 可以用于在用 FIB18 进行研磨之后或在进行 FIB 研磨的同时用电子束 48 对衬底成像,从而监控研磨过程的进程。

[0047] 施加给偏转控制器和放大器 36 的信号使射束 18 在目标区域内移动,以根据由图

案发生器 38 控制的图案在衬底 22 上成像或研磨。来自每个样品点的发射物由带电粒子倍增器 40 聚集以生成图像,该图像经由视频电路 42 而显示在视频监控器 44 上。观察图像的操作员可以对施加给柱 16 中的各种光学元件的电压进行调整以使射束 18 聚焦并且针对各种象差来调整射束 18。柱 16 中的聚焦光学器件可以包括本领域中已知的用于聚焦的机构或未来将开发出的方法。

[0048] 图 4 示出了根据本发明的一个或多个实施方案的样品薄层 400 和离子束 18 的理想化的三维等距视图,其示出了用于确定离子束 18 相对于薄层 400 的定向的各种角度。FIB 柱 16 将离子束 18 引导到薄层 400 的表面上。垂落角 θ_c 为离子束 18 相对于 z 轴的角。也就是说,垂落角 θ_c 为离子束 18 与衬底 22 的顶面 401 的法线之间的角。换句话说,垂落角 θ_c 为在 θ_r 等于零时在 xz 平面内测得的离子束 18 相对于 z 轴的角。在图 3 中的聚焦离子束系统 8 的一个实施方案中,FIB 柱 16 设置在聚焦离子束系统 8 内的固定位置中且垂落角 θ_c 不可变化。在替代实施方案中,FIB 柱 16 的倾斜角可以在从衬底 22 中研磨出薄层 400 之前进行调整,从而使聚焦离子束系统能够以不同的垂落角研磨不同的衬底。然而,在此替代实施方案中,在从衬底 22 中研磨出薄层 400 时,FIB 柱 16 相对于衬底 22 的顶面 401 的位置不发生变化,使得垂落角 θ_c 在整个研磨过程中是恒定的。

[0049] 旋转角 θ_r 为投射到 xy 平面内的离子束 18 与 x 轴之间的角。

[0050] 研磨角 θ_m 为投射到 yz 平面内的离子束 18 与 z 轴之间的角。研磨角 θ_m 可以根据以下等式由旋转角 θ_r 和垂落角 θ_c 来确定:

$$[0051] \quad \theta_m = \tan^{-1}[\sin(\theta_r) \tan(\theta_c)],$$

[0052] 其中:

θ_m = 研磨角 ;z 轴与薄层面法线的平面内 FIB 的分量

[0053] θ_c = 垂落角 ;FIB 与 z 轴之间的机械角

θ_r = FIB-z 轴平面与薄层平面之间的旋转角

[0054] 替代地,实现所希望的研磨角 θ_m 所必需的、样品台围绕 z 轴的必要旋转 (即,旋转角 θ_r) 可以根据以下等式来确定:

$$[0055] \quad \theta_r = \sin^{-1} \left[\frac{\tan(\theta_m)}{\tan(\theta_c)} \right].$$

[0056] 例如,如果聚焦离子束系统 8 具有相对于 z 轴倾斜 45 度的 FIB 柱 16 (即,垂落角 $\theta_c = 45^\circ$),那么对于小的研磨角 θ_m 而言,必要旋转角 θ_r 与所希望的研磨角 θ_m 之间的关系最终大致为线性的:

$$\tan \theta_c = 1$$

$$\theta_r = \sin^{-1} \left[\frac{\tan(\theta_m)}{\tan(\theta_c)} \right] = \sin^{-1}[\tan(\theta_m)]$$

[0057] 对于小 θ_m

$$\theta_r \approx \sin^{-1}[\sin(\theta_m)]$$

$$\theta_r \approx \theta_m$$

[0058] 为了在上述实例中实现 6 度研磨角 θ_m ,使样品台 24 旋转 6 度,且使离子束 18 的扫描图案旋转 6 度。随后,可以执行后处理研磨,而无需使样品台 24 或 FIB 柱 16 相对于另一者倾斜。如果 FIB 柱 16 被安装为使得其垂落角 θ_c 远小于 45 度,那么线性近似不再保

持。图 5 示出了展示对于各种垂落角 θ_c (相对于 z 轴, $\theta_c = 10, 20, 30, 45$ 和 80 度) 而言研磨角 θ_m 随旋转角 θ_r 而变的曲线图 500。

[0059] 图 6 为示出了根据本发明的一个或多个实施方案的用于操作聚焦离子束系统 8 的方法的流程图 600。该方法开始于起始器 601。在步骤 602 处, 离子束 18 以非零垂落角 θ_c 被引导向衬底 22 的水平顶面 401。在步骤 604 处, 离子束 18 在平面内扫动以在衬底 22 中研磨出一个或多个初始切口, 从而暴露垂直于衬底 22 的顶面 401 的基本上平坦的表面。这些初始切口为用于从衬底中移除大块样品材料以暴露平坦表面的“粗切口”。通过用非零垂落角 θ_c 来将离子束 18 引导到衬底上, 与竖直定向的离子束 (即, 垂直于衬底 22 的顶面 401 进行引导的离子束) 相比, 由衬底 22 中具有较高研磨速率的材料所投射的阴影减少。减少由衬底 22 中具有较高研磨速率的材料所投射的阴影会减少由垂落效应带来的不希望的表面变化。图 7 所示为不呈现出垂落效应的样品 700。

[0060] 由于离子束 18 的形状和能量分布, 平坦表面可能从顶部向底部渐缩。并且, 在初始切削过程中, 材料可能重新沉积在或流动到平坦表面上。最终切口的第一个原因是为了移除平坦表面中任何不想要的锥形。最终切口的第二个目的是为了从平坦表面中受到射束影响的区中移除薄层, 此薄层可能包括非晶层、重新沉积的层, 或流到平坦表面上的层。最终切口的第三个目的是为了对薄层进行底切以为移除作准备, 此底切程序包括在薄层底部以及两侧边缘处的 FIB 研磨。为了造出最终切口, 衬底 22 围绕既不垂直于又不平行于射束 18 的轴旋转非零旋转角 θ_r (步骤 606)。旋转角 θ_r 根据用于对衬底 22 进行后处理的所希望的研磨角来确定。也就是说, 不是使样品台 24 或 FIB 柱 16 相对于另一者倾斜, 而是样品台 24 围绕垂直于衬底 22 的顶面 401 的轴线旋转以实现所希望的研磨角。研磨角 θ_m 可以根据以下等式由旋转角 θ_r 和垂落角 θ_c 来确定:

$$[0061] \quad \theta_m = \tan^{-1}[\sin(\theta_r) \tan(\theta_c)],$$

[0062] 其中:

θ_m = 研磨角; z 轴与薄层面法线的平面内 FIB 的分量

[0063] θ_c = 垂落角; FIB 与 z 轴之间的机械角

θ_r = FIB-z 轴平面与薄层平面之间的旋转角

[0064] 在使衬底 22 旋转非零旋转角 θ_r 之后, 在不使样品台 24 相对于离子束 18 倾斜的情况下, 将离子束 18 引导到在衬底 22 中暴露的平坦表面上 (步骤 608)。离子束 18 在暴露的平坦表面上按图案来进行扫描, 以在衬底 22 中研磨出一个或多个最终切口 (步骤 610)。在衬底 22 中完成第一切口之后, 步骤 612 沿着“否”分支离开, 返回到步骤 604 以开启邻近于第一切口的第二切口。此第二切口的完成产生了两个空腔, 这两个空腔通过由两个暴露的平坦表面划界的壁而分隔开。分隔开这两个空腔的壁可以用作薄层。在完成第二切口之后, 步骤 612 沿着“是”分支离开以进入步骤 620, 这表示薄层的完成。一个或多个最终切口可以包括在基底处对壁进行底切使得壁可以被移除。

[0065] 为了提高产量并且减少处理时间, 本发明的实施方案可以包括多于一个 FIB 柱以及多于一个电子束柱。图 8 示出了三柱组件 800 的顶部示意图, 且图 9 所示为其侧面示意图, 该三柱组件含有两个 FIB 柱 802a 和 802b, 在中心 SEM 柱 804 的每一侧上各一个。为了进行说明, FIB 柱 802a 至 802b 如图中所示与 SEM 柱 804 成 45 度角, 但是确切的角可能随柱尺寸、射束与衬底 22 相距的距离, 和 / 或其他因素而变。在此处所示的实例中, 三个柱

802a、802b 和 804 的光轴会聚于电子束柱正下方的衬底 22 的表面上的单个点上。在其他实施方案中,可能优选的是对这三个柱 802a、802b 和 804 进行配置,使得光轴不会聚于单个点上。在一些实施方案中,来自柱 802a、802b 和 804 的所有射束可以同时被引导到衬底 22。在其他实施方案中,来自柱 802a、802b 和 804 的射束中只有一个或两个射束可以同时被引导到衬底 22。用于确定垂落角 θ_c 的以上计算适用于多个 FIB 柱的情况以及图 3 和图 4 中所示的单个 FIB 柱的情况。针对各柱的检测器的布置方案可以是以下之一:

[0066] 1) 穿过透镜式检测器位于每个柱内,全部彼此独立地工作。对于 SEM 柱 804 而言,二次和 / 或背散射的电子可以被收集起来以产生成像信号。对于 FIB 柱 802a 和 802b 而言,二次电子或二次离子可以聚集起来以在研磨和抛光过程中产生补充的成像信号。此信号可以用于端点检测。

[0067] 2) 一个或多个检测器位于这三个柱的侧面(未图示),并且能够检测二次电子、背散射的电子和 / 或二次离子,从而产生一个或多个成像信号。

[0068] 图 10 和图 11 为展示了采用 SEM 柱 804 的两个不同的电子束成像模式的侧视图。在图 10 中,电子束 48 法向入射到衬底 22 的表面,在衬底 22 周围进行初始导向期间,此模式会是有用的,用于定位有待包含在薄层 400 的制备中的特定特征。电子束 48 远心地进行扫描,以避免由可能在倾斜射束中出现的视差引起的位置误差。在图 11 中,SEM 柱 804 内的双偏转系统用于使电子束 48 相对于薄层 400 的两侧倾斜,从而使这些侧面能够被成像以用于端点检测(即,当感兴趣的特征暴露时,在特征被研磨掉之前停止研磨)。为了实现适当的倾斜角(例如,与衬底法线成 ± 7 度),采用对于大偏转角以及最小的偏转引致象差而言最佳的双偏转系统。

[0069] 图 12 示出了使用离子束 18a 和 18b 同时研磨出两个切口 1202a 和 1202b 的聚焦离子束柱 802a 和 802b,其中在薄层 400 的每一侧上各一个切口以暴露薄层 400 的竖直面。SEM 柱 804 未图示,这样可以看到切口 1202a 和 1202b。这些 FIB 柱可能具有相同类型的离子源(例如,镓)或可以被配置成一个具有用于快速研磨的重离子源的柱,而另一个柱被配置有用于精研磨和抛光的较轻离子源。还有可能的是每个 FIB 柱可能具有相同类型的离子源,但是具有不同的射束界定孔隙,以使一个柱能够产生用于快速(大块)研磨的高离子通量,而另一个 FIB 柱具有较小孔隙以产生适用于精研磨和抛光的较低离子通量。在 FIB 柱彼此不同的情况下,可能有必要的是当移除垂落时补偿不同的研磨速率,如图 16 和图 17 所示。另一个替代方案是对 FIB 柱进行配置以用于多个工作模式,其中一个模式产生带高电流的大射束,而另一个模式产生带低电流的小射束,这些替代模式可以通过透镜电压的变化和 / 或机械孔隙运动来进行选择。

[0070] 图 13 为图 12 中的聚焦离子束柱 802a 和 802b 以及聚焦离子束 18a 和 18b 的特写图,其示出了两个 FIB 可以如何彼此独立地操作,其中要么在薄层 400 的相对侧上研磨(如图所示),要么两个 FIB 都在薄层 400 的同一侧研磨(未图示)。为了研磨出切口 1202a 和 1202b,FIB 以修改过的光栅图案进行扫描,在这些修改过的光栅图案中,在靠近薄层 400 处存在较多扫描线而在离薄层 400 较远处存在较少扫描线。用这种修改过的光栅图案来扫描 FIB 会产生两个三角形切口,其中每个切口的最深那侧形成了薄层 400 的两个面中的一个面。在此模式下,这两个 FIB 将与法线成大约 45 度撞击衬底 22 的顶面 401,与法向入射的射束相比,这样可能会增加研磨速率(这与 FIB 柱中采用的特定离子种类有关)。在图 3 至

图 5 中针对单个 FIB 柱实施方案描述的衬底 22 旋转方法在此处同样适用于双 FIB 柱实施方案,因为两个柱倾斜角 θ_c 是固定的,而当衬底 22 围绕垂直于衬底 22 表面的轴旋转时,对于柱 802a 和 802b 而言,角 θ_m 和 θ_r 将同时变化。在此光栅扫描过程中,电子束柱可以周期性地被激活以在进程中产生切口的图像来帮助端点检测。FIB 柱内的检测器也可以用于实时端点检测。

[0071] 图 14 和图 15 展示了根据本发明的一个实施方案的用双 FIB 系统对薄层制备工艺中的最终切口的研磨。切口 1202a 和 1202b 已经完成(见图 12 至图 13)并且此时聚焦离子束 18a 和 18b 相对于薄层 400 的基本上竖直的面偏转,如图所示。图 14 展示了聚焦离子束 18a 和 18b 同时在薄层 400 的相对侧上研磨的情况。图 15 展示了聚焦离子束 18a 和 18b 同时在薄层 400 的同一侧上研磨的情况。每个 FIB 柱内的双偏转器用于使聚焦离子束向外倾斜,使得它们以近掠射角撞击薄层侧。在图 14 中,衬底 22 可以经旋转以将离子束引导成更靠近这两个薄层侧的法线。

[0072] 图 16 为同时抛光薄层 400 的同一面 402 以减少垂落的双 FIB18a 和 18b 的特写图。示出了突出物 1602(例如,装置中的金属互连堆叠内的钨触点或通孔,由于不同的研磨速率,这些特征可能由于比堆叠中的其他元件研磨得慢而最终突出)。为了进行说明的目的,在此实例中这两个 FIB18a 和 18b 具有大约 90 度的夹角,但是可以根据具体应用而使用其他夹角。夹角通常为 FIB 柱 802a 和 802b 中的每一者与其间的 SEM 柱 804 之间的角的两倍。如果 SEM 柱 804 安装成垂直于衬底表面,那么对于射束 18a 和 18b 而言,90° 夹角对应于垂落角 $\theta_c = 45^\circ$ 。如图中可见,由于这些射束以较大角度交叉,因此突出物 1602 下方可能有非常少的阴影,从而减少突出物 1602 下方的垂落。

[0073] 图 17 展示了根据本发明的一个优选实施方案的用双 FIB 系统使用台旋转对薄层制备工艺中的最终切口 1202a 和 1202b 的研磨。样品台 24 和 / 或三柱组件 800 旋转了非零旋转角 θ_r ,使得薄层 400 围绕既不垂直也不平行于聚焦离子束 18a 和 18b 的轴线旋转。在使样品台 24 和 / 或三柱组件 800 旋转了非零旋转角 θ_r 之后,在不使样品台 24 相对于离子束倾斜的情况下,将聚焦离子束 18a 和 18b 引导到薄层 400 中的暴露的平坦表面 402a 和 402b 上。随后,离子束 18a 和 18b 在暴露的平坦表面 402a 和 402b 上按图案进行扫描,以在薄层 400 上研磨出一个或多个最终切口。

[0074] 图 8 至图 17 已相对于三柱配置进行了描述,该三柱配置包括两个聚焦离子束柱 802a 和 802b,在单个中心电子束柱 804 的每一侧上各一个。在本发明的范围内,替代性的柱配置也是有可能的,这些替代性的柱配置包括但不限于以下各项:

[0075] 1) 两个电子束柱和两个 FIB 柱,在此配置中,替代于其轴与衬底表面正交的单一电子束柱,两个电子束柱 804a 和 804b 与两个 FIB 柱 802a 和 802b 组合在一起,如图 18 所示。此配置的优点是:这两个电子束相对于薄层各侧的角度更适用于在研磨、精研磨和抛光过程中成像。一个明显的缺点是第二电子束柱以及其支持电子设备的额外成本。此成本缺点中的一些可以通过使用微型 SEM 和微型 FIB 柱来缓和。确切地说,全静电 SEM 柱,或微型 SEM 柱,可以利用较便宜的静电光学器件(透镜和电压供应),来取代现有技术 SEM 柱中采用的较昂贵的磁性光学器件(磁性线圈和电流供应)。

[0076] 2) 多组柱,在此配置中,采用两组或两组以上柱来进一步增加薄层制备产量。例如,一种系统可以包括两组三个柱,例如图 8 和图 9 中所示的那些,它们可以沿着与含这三

个柱的平面垂直的轴线彼此间隔开,这样将实现柱的最密堆积,从而使真空罩最小。另一个实施方案可以为两组或多于两组的四柱组件(两个电子束和两个FIB,如图18和图19所示)。

[0077] 3) 一个倾斜的电子束柱和两个FIB柱,在此配置中(等同于图18,两个电子束柱804a和804b中的一个被移除),单一电子束(SEM)柱将如图18所示进行安装,其伴有两个FIB柱,这两个FIB柱之间有大约90度夹角,如图8中的两个FIB柱所示。这两个FIB柱产生聚焦离子束,这两个聚焦离子束之间具有大约90度角,如图16所示。在此概念下,衬底22将安装在具有旋转轴线的样品台24上,从而使SEM柱能够在研磨过程中对薄层的每一侧成像(台的旋转轴线将会垂直于衬底)。这两个FIB柱可以相同,或可以经配置使得一个FIB柱对于可能在较高射束电压下的较高电流工作而言最优化,而另一个FIB柱对于可能在较低射束电压下的较低电流工作而言最优化。

[0078] 根据本发明的一些实施方案,一种用于在衬底中生成基本上平坦的面的方法包括:将第一射束引导到衬底的第一表面处以从衬底中的第一位置移除材料,第一射束从第一表面的法线偏移第一非零垂落角;在垂直于第一表面的平面内扫动第一射束以在衬底中研磨出一个或多个初始切口,这些初始切口使基本上垂直于第一表面的第二表面暴露;使衬底围绕轴线旋转非零旋转角,该轴线不同于与第一射束正交或平行于第一射束的轴线;在不改变第一非零垂落角的情况下,将第一射束引导到第二表面处以从衬底中移除另外的材料;以及使第一射束在第二表面上按图案进行扫描,以在衬底中研磨出一个或多个最终切口。

[0079] 在一些实施方案中,该方法还包括:将第二射束引导到衬底的第一表面处以从衬底中的第二位置移除材料,第二射束从第一表面的法线偏移第二非零垂落角,衬底中的第二位置设置成足够接近衬底中的第一位置以形成所希望厚度的薄层;在垂直于第一表面的平面内扫动第二射束以在衬底中研磨出一个或多个初始切口,这些初始切口使基本上垂直于第一表面且基本上垂直于第二表面的第三表面暴露;使衬底围绕轴线旋转非零旋转角,该轴线不同于与第二射束正交或平行于第二射束的轴线;在不改变第二非零垂落角的情况下将第二射束引导到第三表面处,以从衬底中移除另外的材料;以及使第二射束在第三表面上按图案进行扫描,以在衬底中研磨出一个或多个最终切口。

[0080] 在一些实施方案中,该方法还包括使衬底围绕垂直于第一表面的轴线旋转非零旋转角。在一些实施方案中,该方法还包括基于所希望的研磨角以及第一非零垂落角来确定所述非零旋转角。在一些实施方案中,第一射束选自包括以下各项的组:聚焦离子束、电子束、激光束,以及从喷水切割机中喷出的水射流。在一些实施方案中,第二射束选自包含以下项的组:聚焦离子束、电子束、激光束,以及从喷水切割机中喷出的水射流。

[0081] 在一些实施方案中,该方法还包括在研磨过程中用扫描电子显微镜来对衬底成像。在一些实施方案中,第一非零垂落角为射束与衬底的第一表面的法线之间的角。在一些实施方案中,非零旋转角为包括射束和衬底的旋转轴的平面与包括该衬底的第二表面的平面之间的角。

[0082] 在一些实施方案中,所述第一射束的引导和所述第二射束的引导可以按时间顺序发生,并且其中所述第一射束与所述第二射束可以是相同的射束。在一些实施方案中,所述第一射束的引导和所述第二射束的引导可以大体同时发生,并且其中所述第一射束与所述

第二射束为不同的射束。

[0083] 在一些实施方案中,在研磨出一个或多个初始切口的过程中和/或之后,一个或多个最终切口移除重新沉积在和/或流到第二表面上的材料。在一些实施方案中,在研磨出一个或多个初始切口的过程中,这一个或多个最终切口移除掉第二表面上的被制成为非晶态的材料。

[0084] 在一些实施方案中,这一个或多个最终切口基本上移除掉薄层顶部与底部之间的厚度变化。在一些实施方案中,这一个或多个最终切口将薄层与衬底分离。

[0085] 在一些实施方案中,薄层包括透射电子显微镜样品。在一些实施方案中,该方法还包括将第一射束和第二射束引导到衬底上以增加产量,第一射束从衬底中的第一位置移除材料,且第二射束从衬底中的第二位置移除材料。在一些实施方案中,该方法在没有操作者的手动干预的情况下自动执行。在一些实施方案中,该方法还包括将第一射束引导到第二表面上以从衬底中移除另外的材料,且将第二射束引导到第三表面上以从衬底中移除另外的材料。

[0086] 根据本发明的一些实施方案,一种用于在一个衬底中生成基本上平坦的面的设备包括:第一粒子源,该第一粒子源用于发射粒子以在衬底中研磨出特征;第一聚焦柱,该第一聚焦柱用于将从第一粒子源发射出的粒子形成第一射束并且引导第一射束以撞击在衬底上;以及样品台,该样品台用于将衬底相对于样品台固持在固定位置,其中样品台可以围绕不多于一条轴线旋转。

[0087] 在一些实施方案中,样品台围绕一条轴线旋转,该轴线不同于与第一射束正交和/或平行于第一射束的轴线。在一些实施方案中,第一聚焦柱与样品台所成的角在整个研磨过程中保持固定。在一些实施方案中,该设备还包括扫描电子显微镜,其中扫描电子显微镜经配置以对衬底中的研磨出的特征成像。在一些实施方案中,样品台具有不多于四个自由度。

[0088] 在一些实施方案中,该设备还包括:第二粒子源,该第二粒子源用于发射粒子以与第一粒子源同时在衬底中研磨出特征;以及第二聚焦柱,该第二聚焦柱用于将从第二粒子源发射出的粒子形成第二射束并且引导第二射束以撞击在衬底上。在一些实施方案中,该设备还包括:多于两个粒子源,这些粒子源用于发射粒子以与第一粒子源同时在衬底中研磨出特征;以及多于两个聚焦柱,这些聚焦柱用于将从这多于两个粒子源发射出的粒子形成多于两个射束并且引导这多于两个射束以撞击在衬底上。

[0089] 在一些实施方案中,样品台在 x、y 和 z 方向上平移,并且聚焦柱围绕 z 方向上的轴线旋转。

[0090] 尽管已详细描述本发明以及其优点,但应理解,在不脱离所附权利要求书界定的本发明的精神和范围的情况下,可在此进行各种改变、替代和更改。此外,本申请案的范围无意限于本说明书中所描述的过程、机器、制造、物质成分、装置、方法和步骤的特定实施方案。本领域的普通技术人员从本发明的披露内容中容易了解到,可以根据本发明利用执行与在此所描述的对应实施方案基本上相同的功能或实现与在此所描述的对应实施方案基本上相同的结果的目前存在或稍后将开发出的过程、机器、制造、物质成分、装置、方法或步骤。因此,所附权利要求书意图在其范围内包括此类过程、机器、制造、物质成分、装置、方法或步骤。

[0091] 我们的权利要求如下。

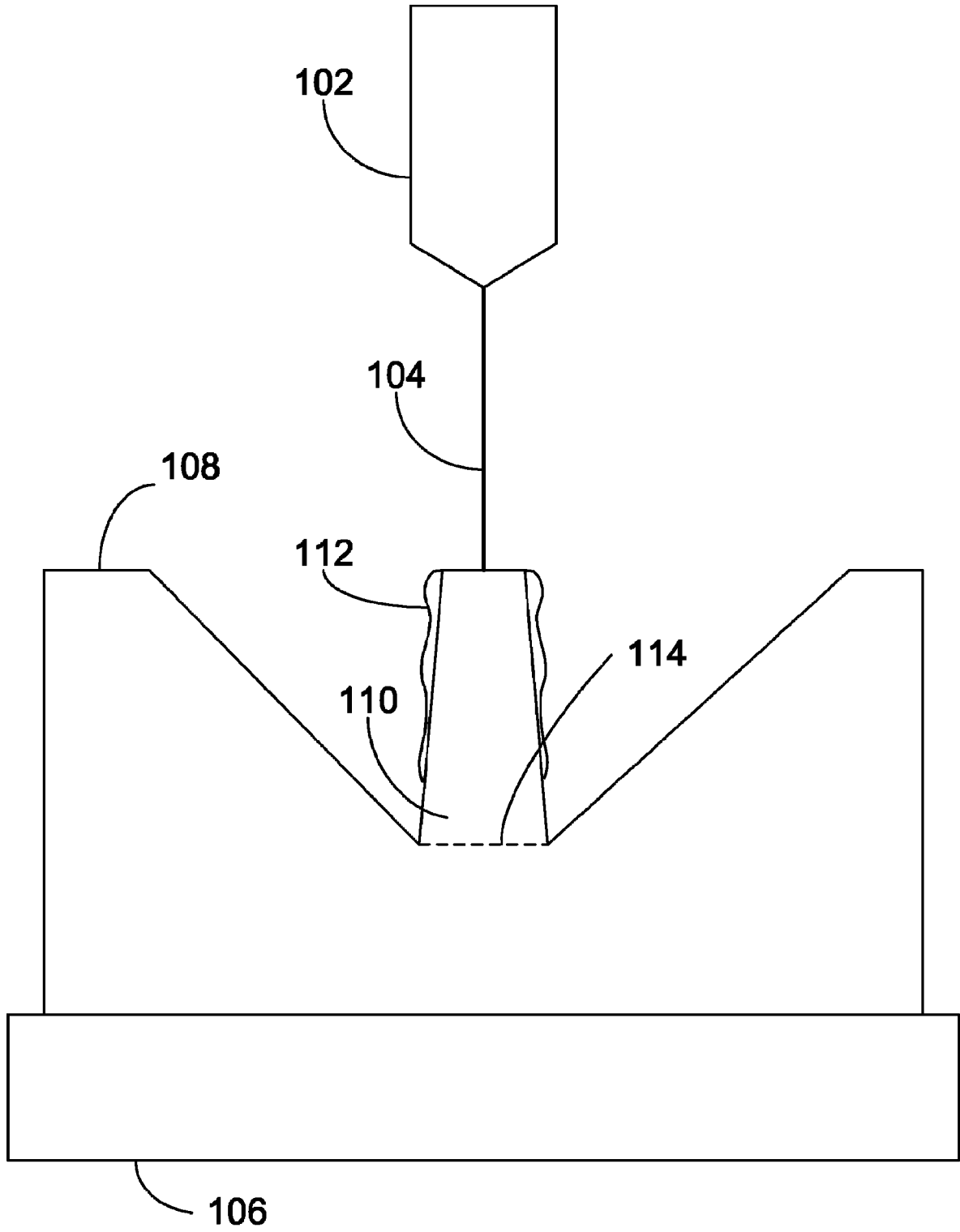


图 1A

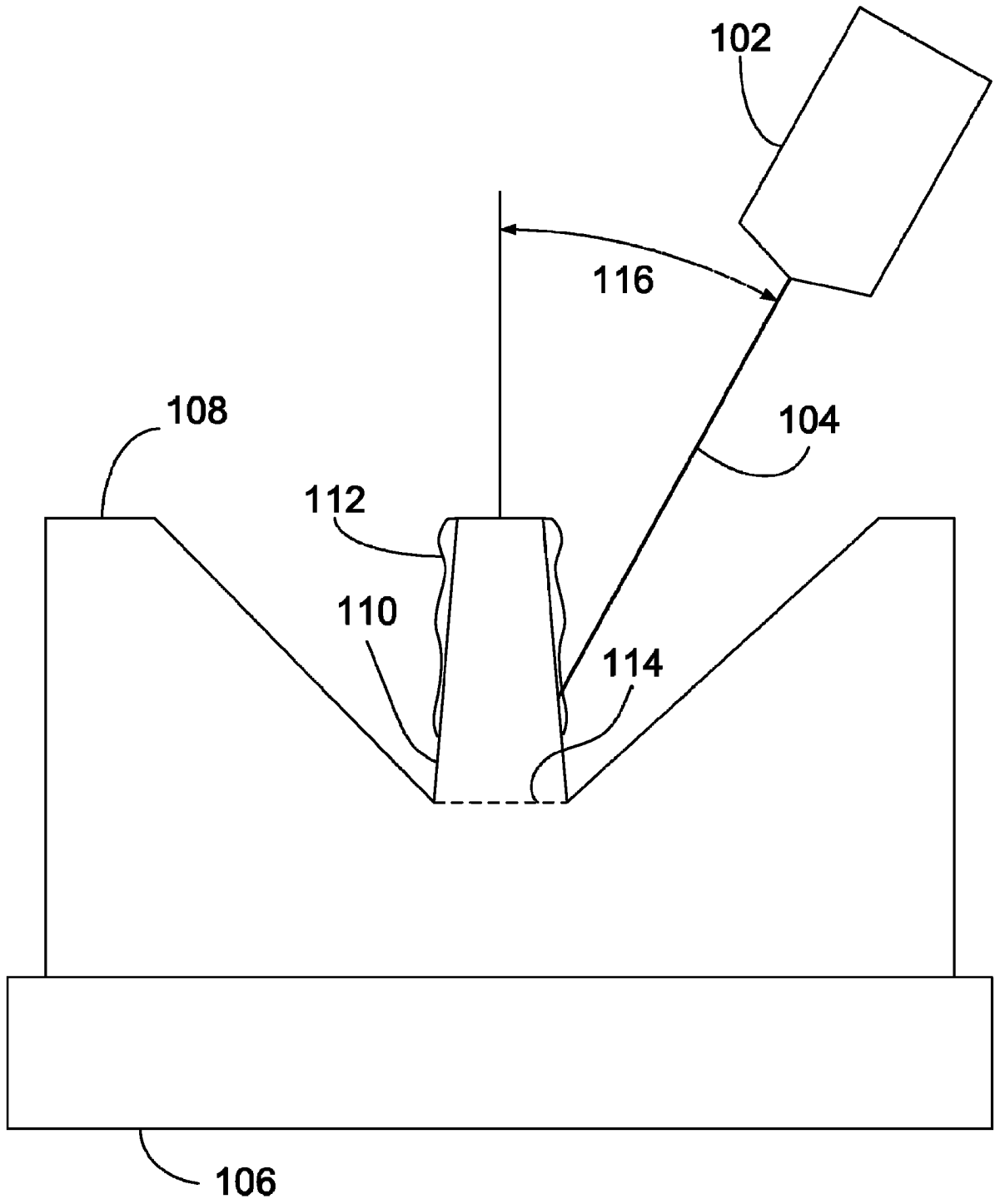


图 1B

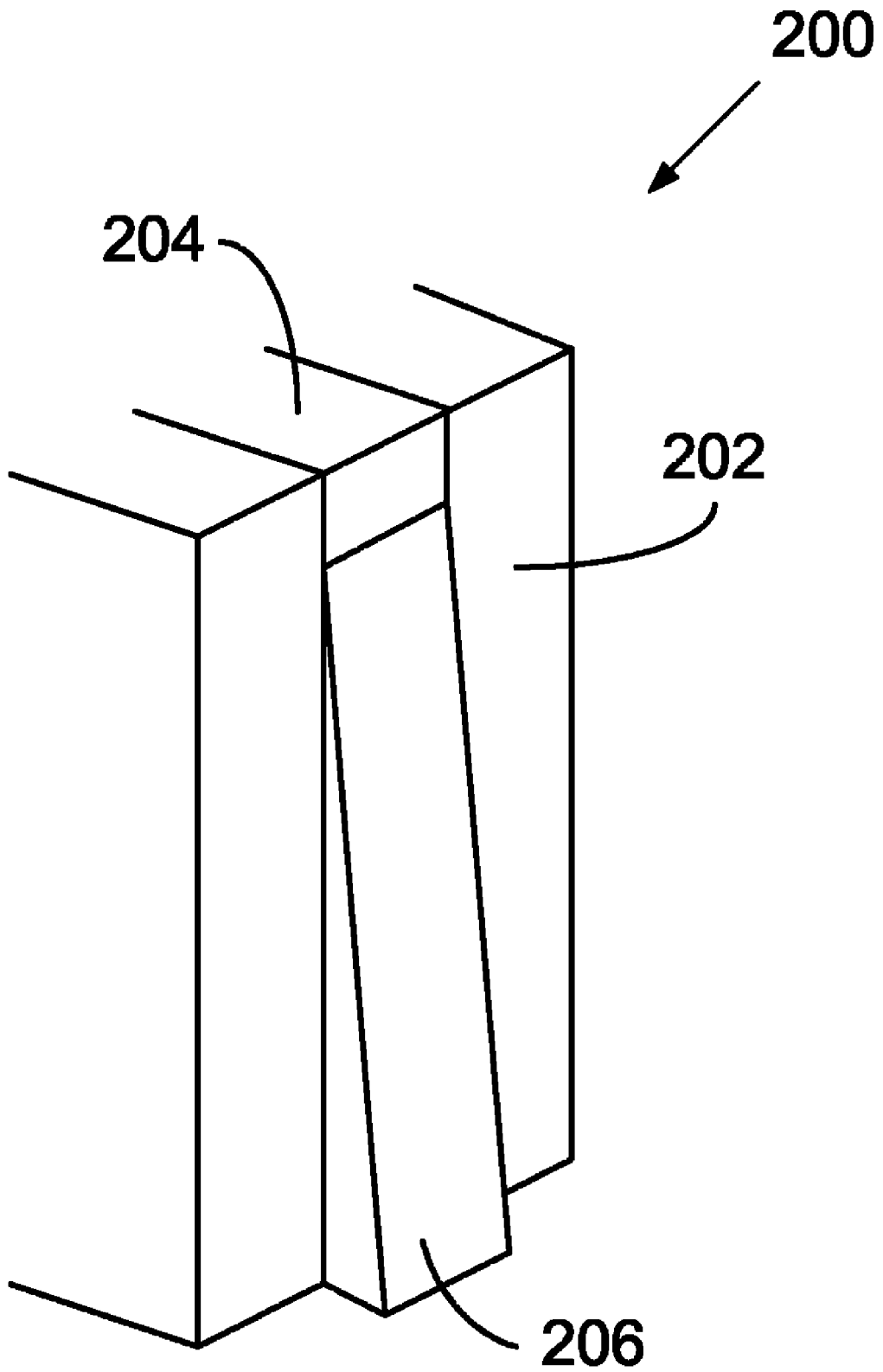


图 2

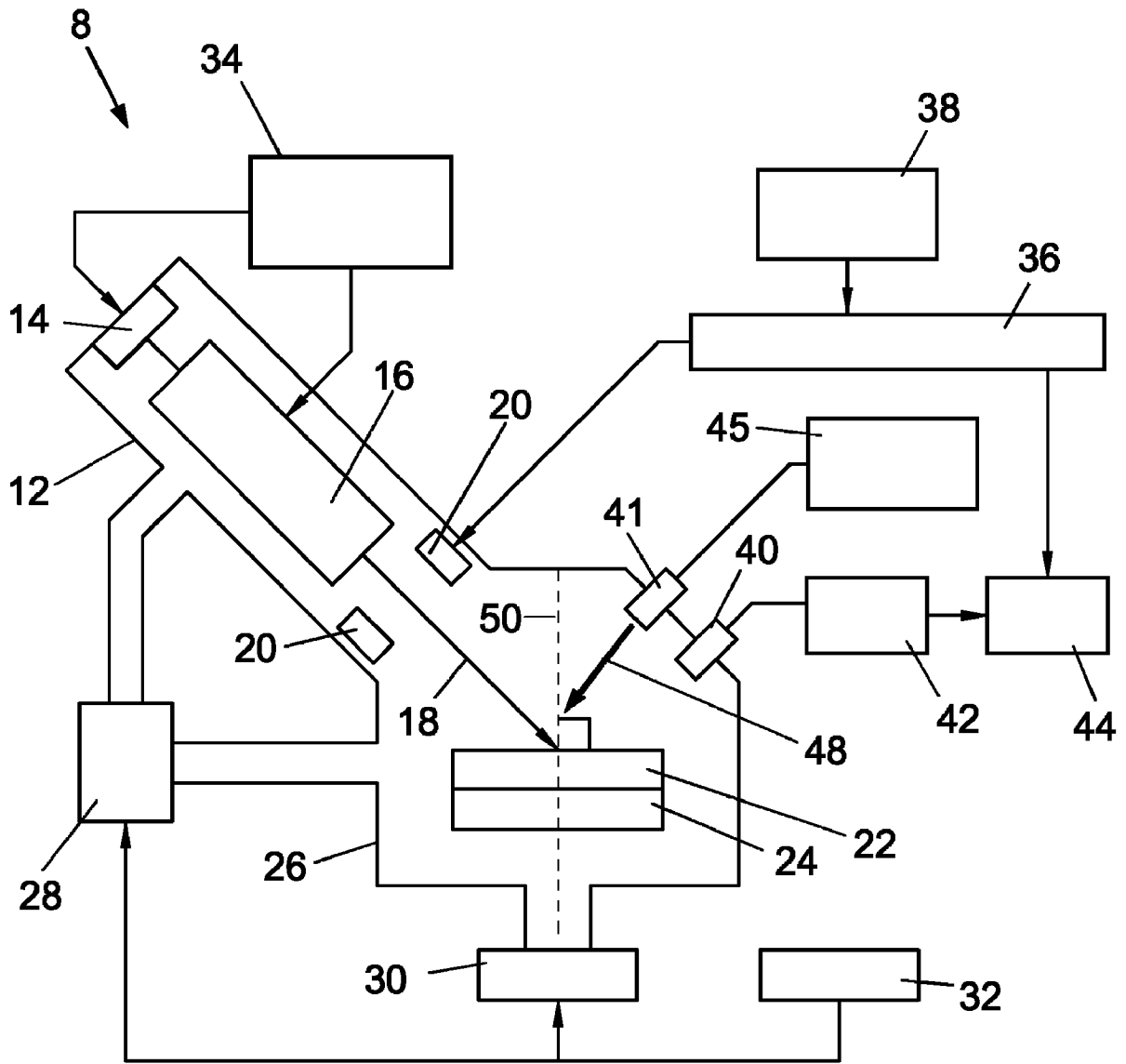


图 3

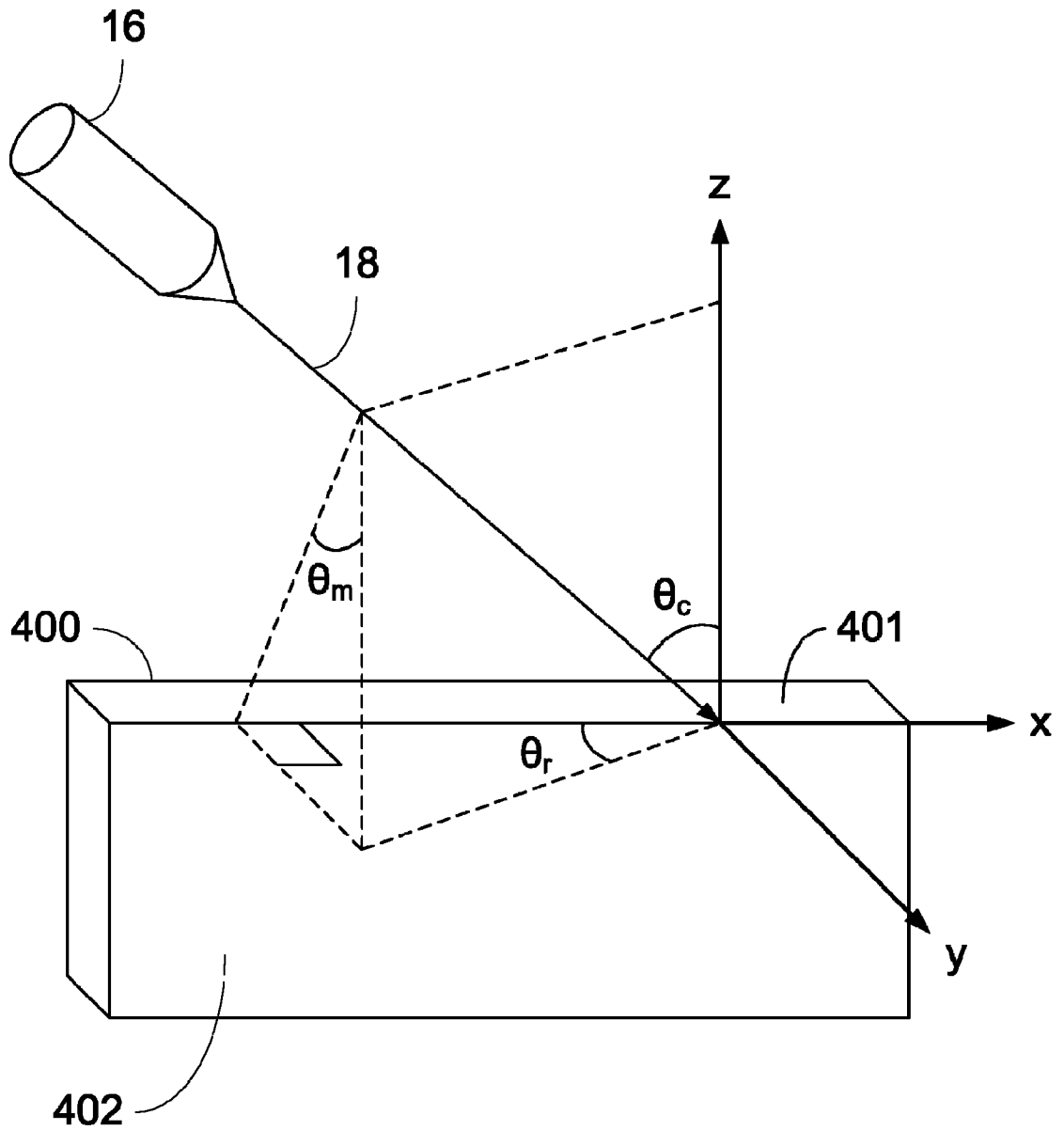


图 4

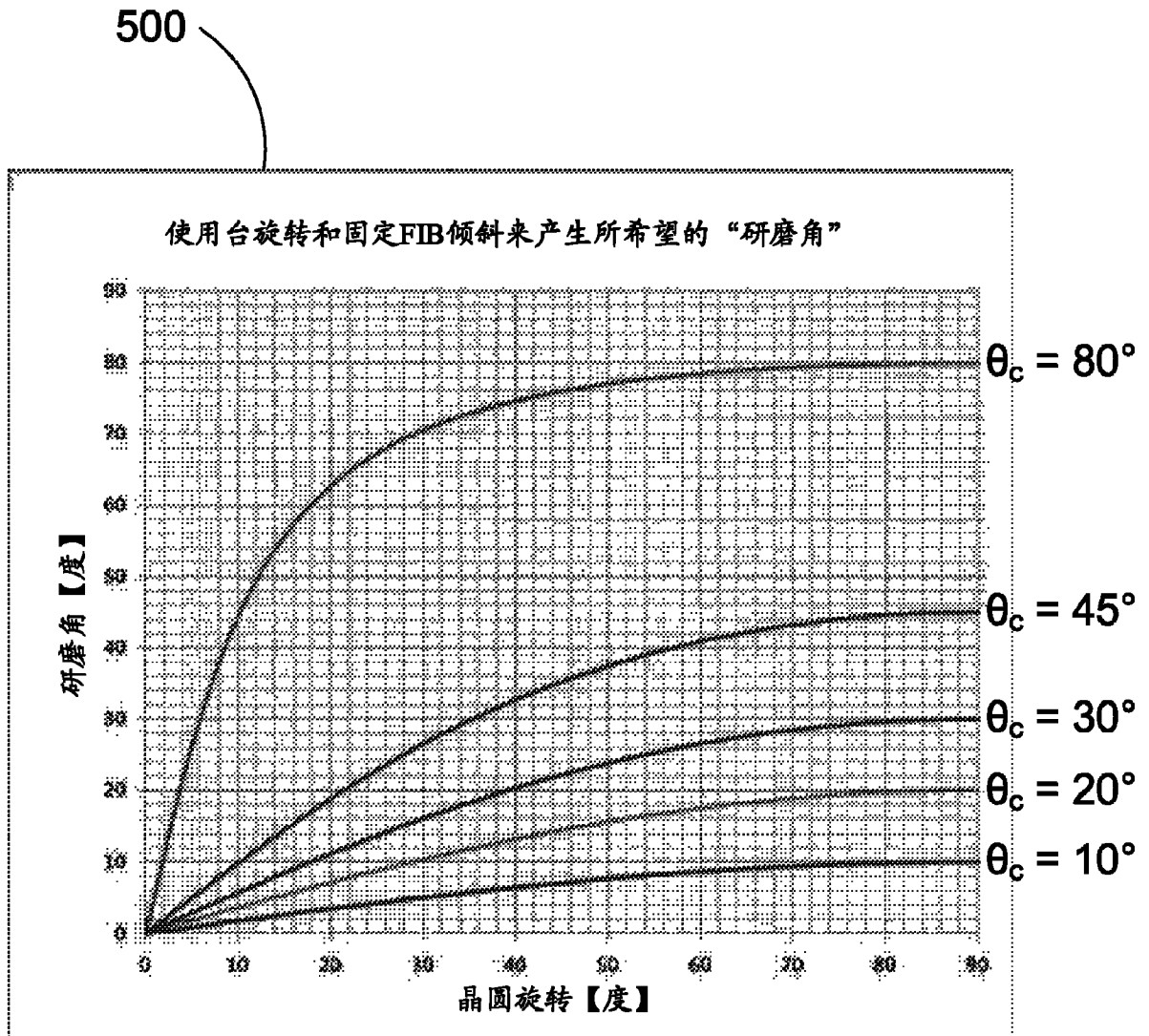


图 5

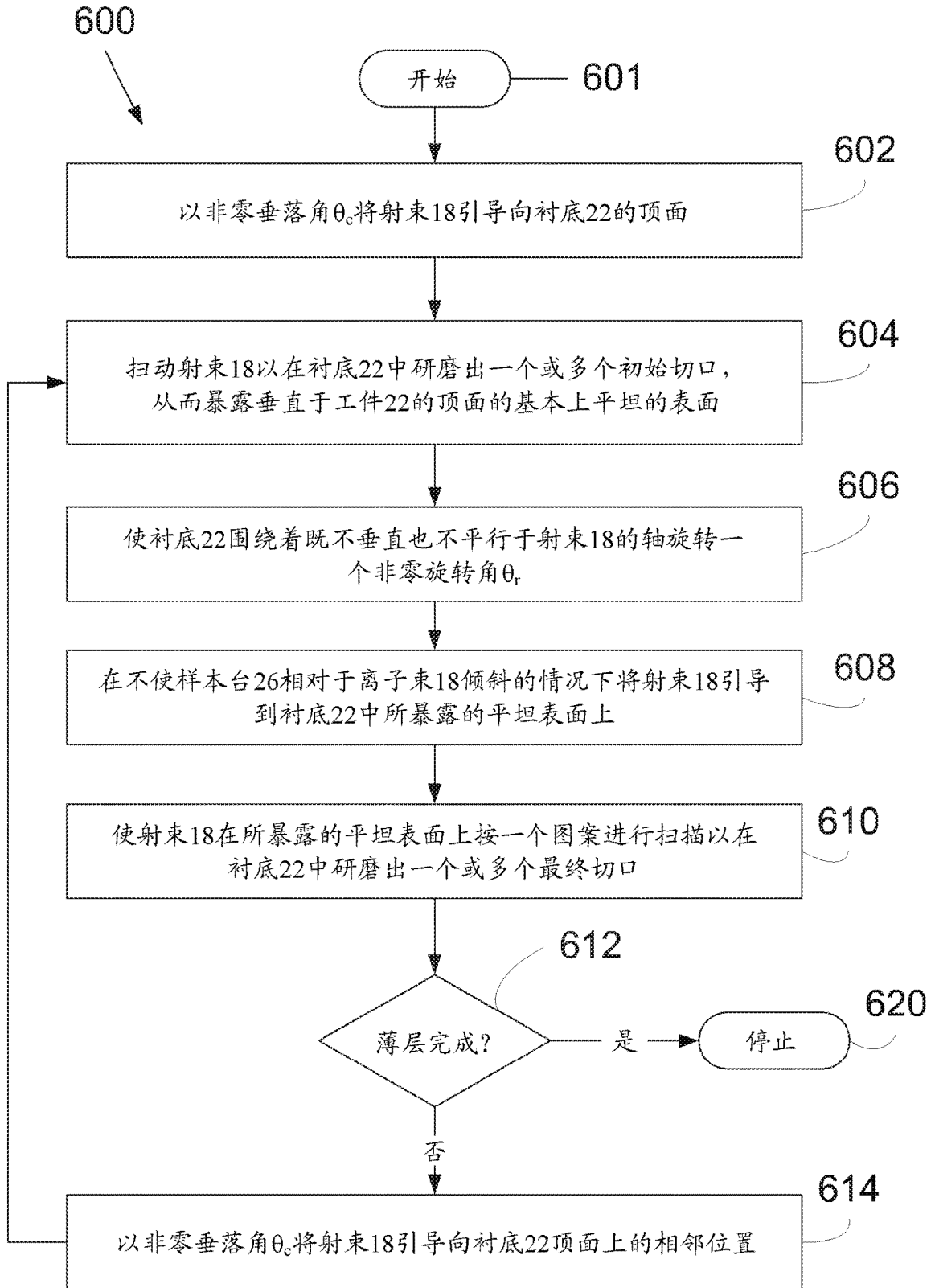


图 6

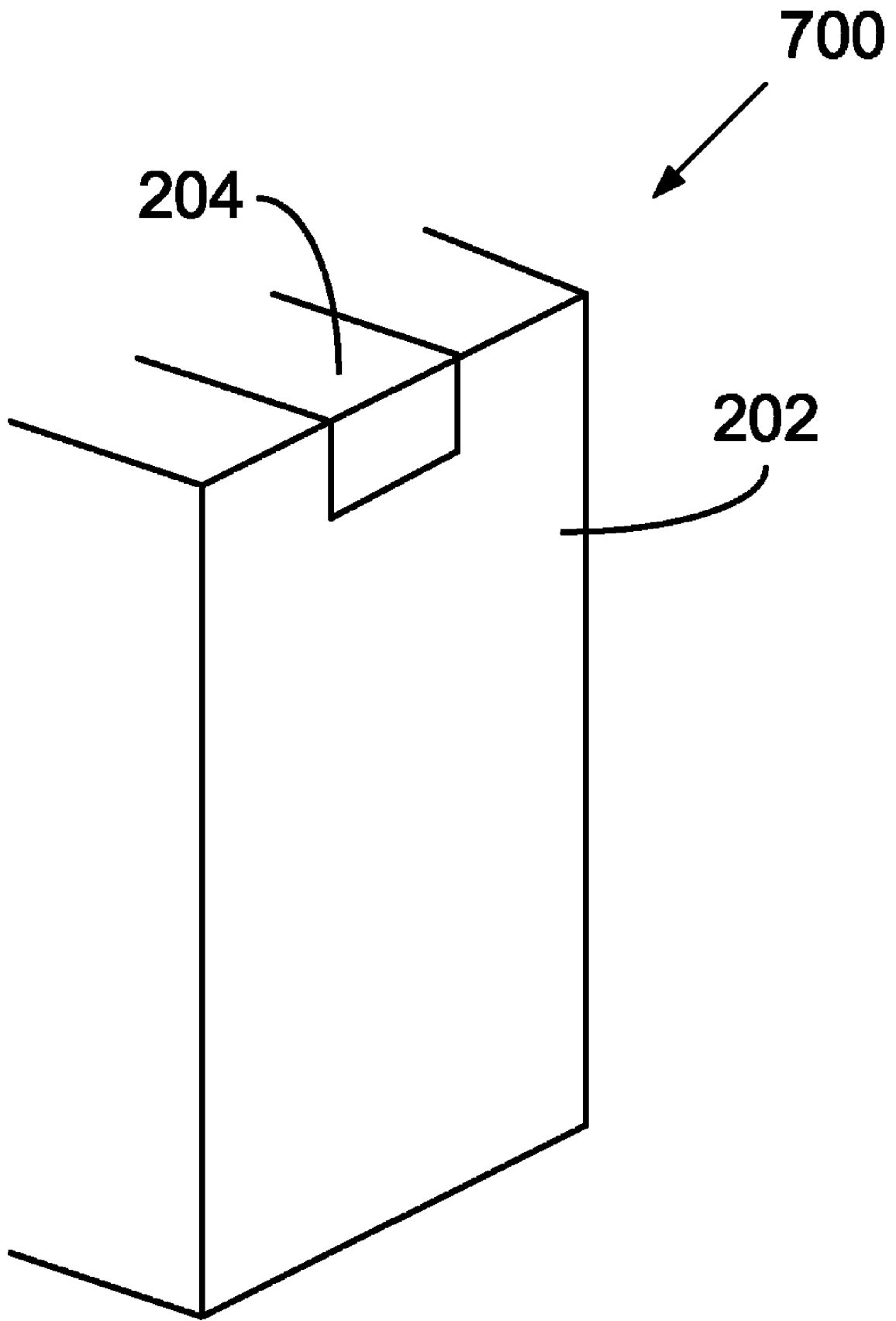


图 7

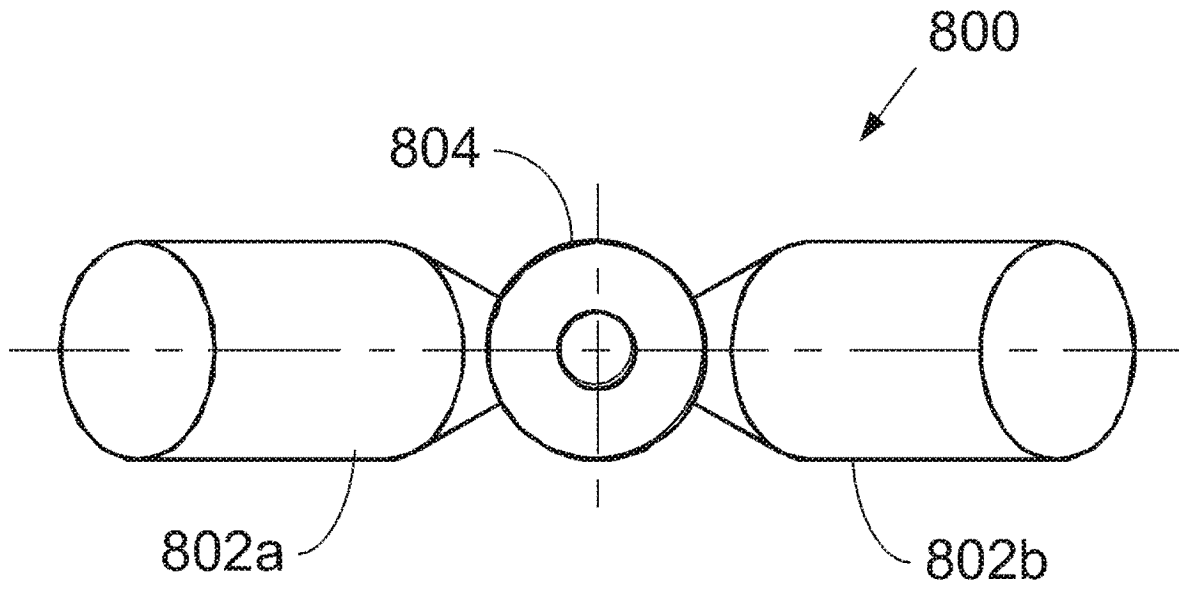


图 8

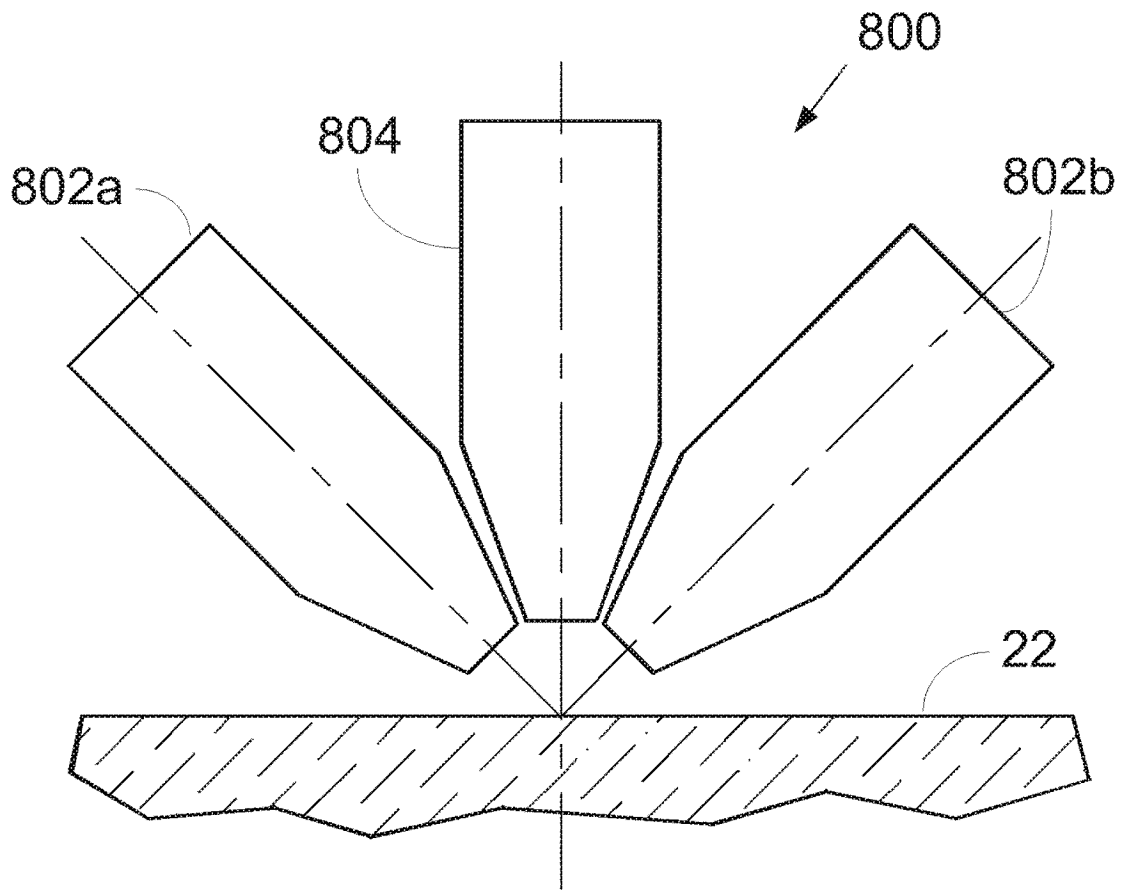


图 9

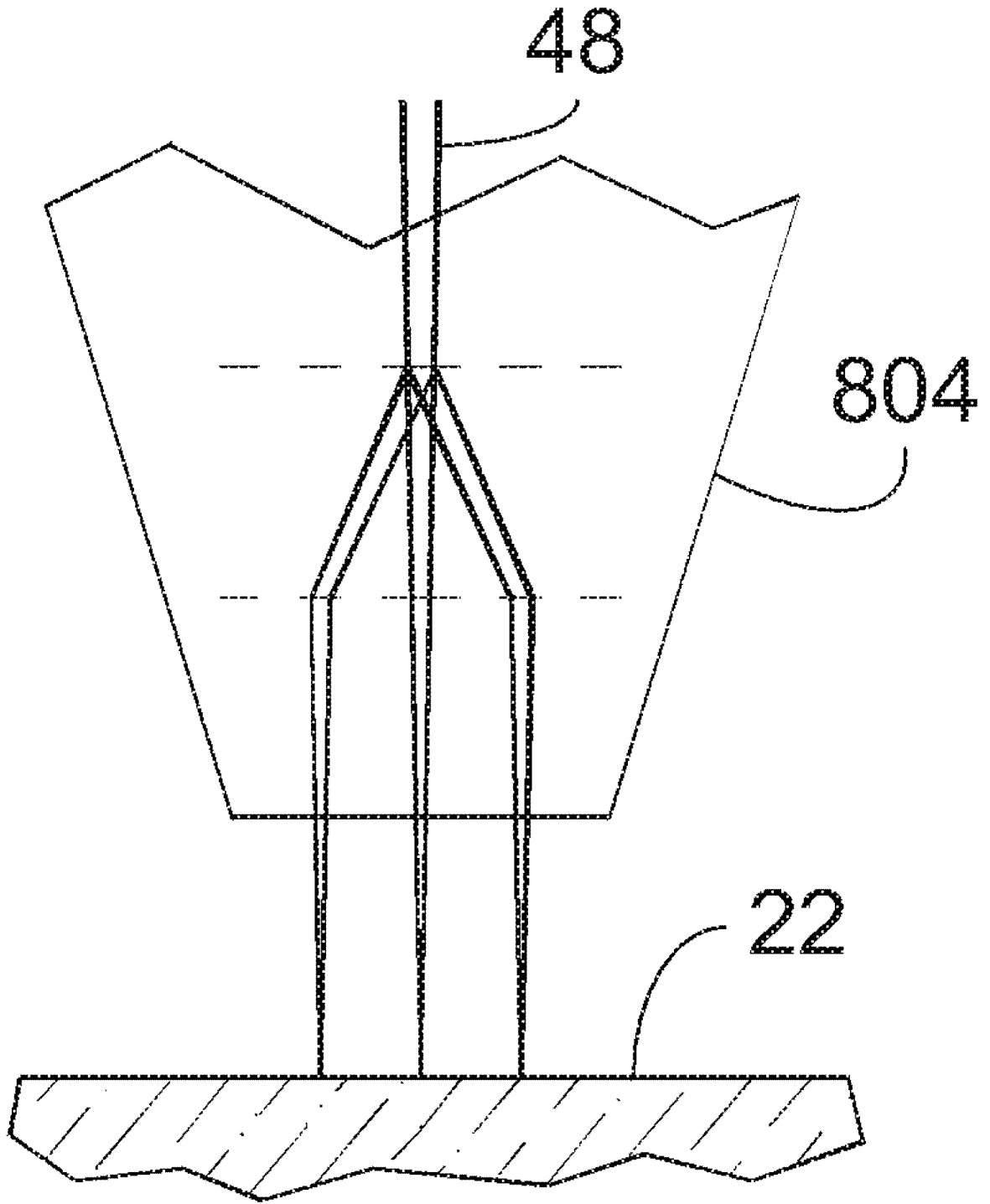


图 10

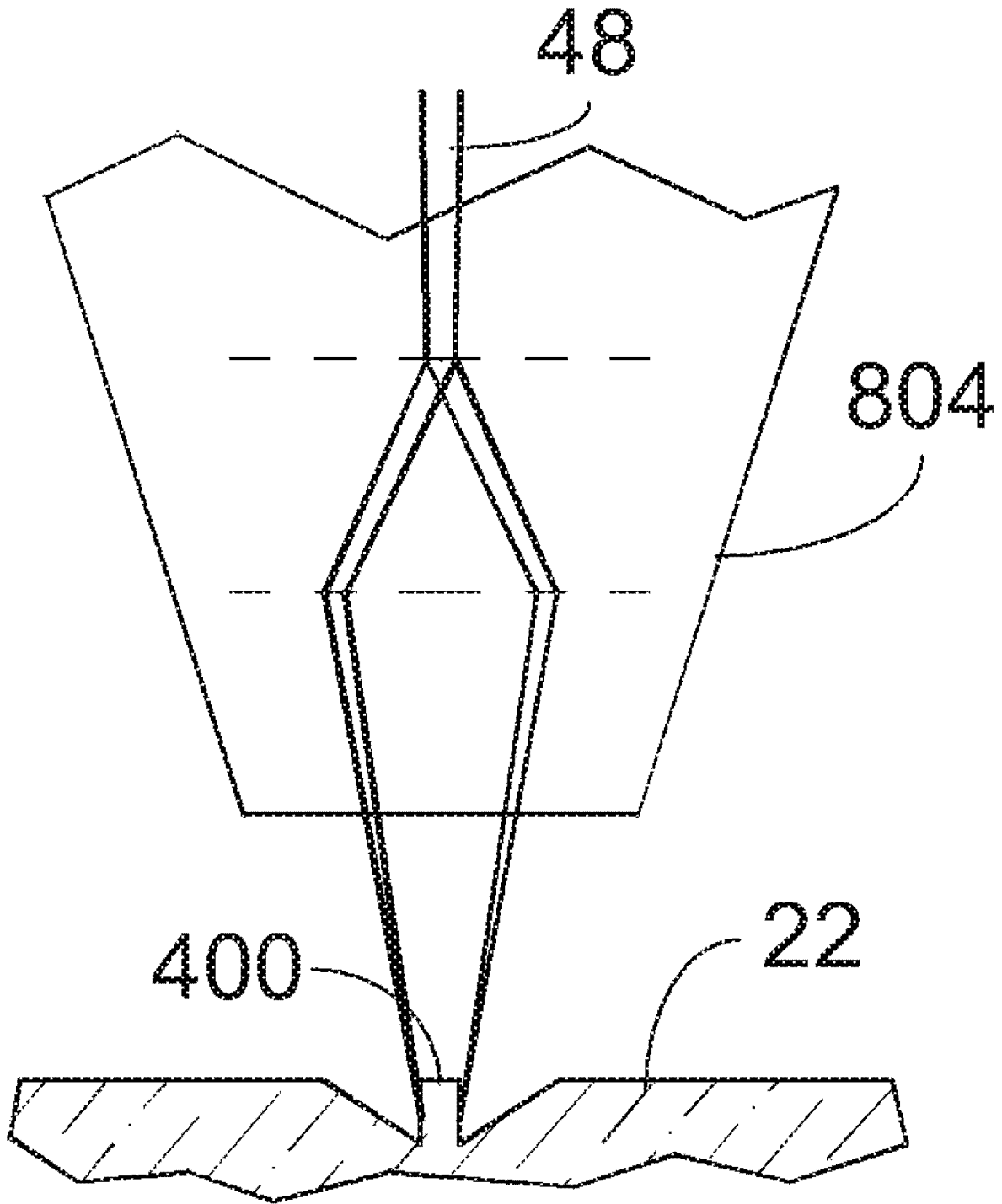


图 11

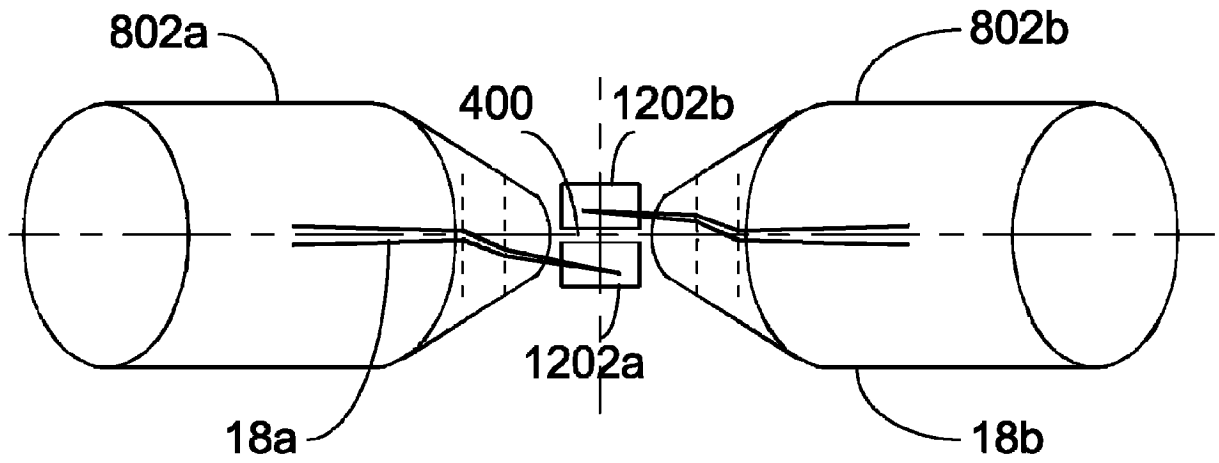


图 12

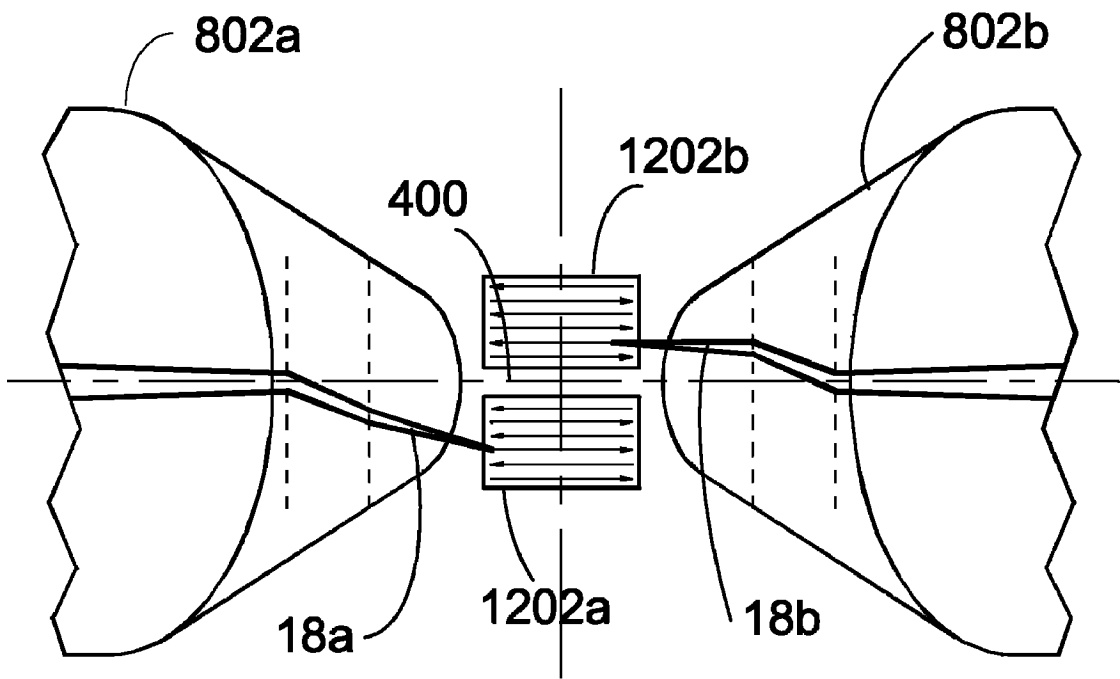


图 13

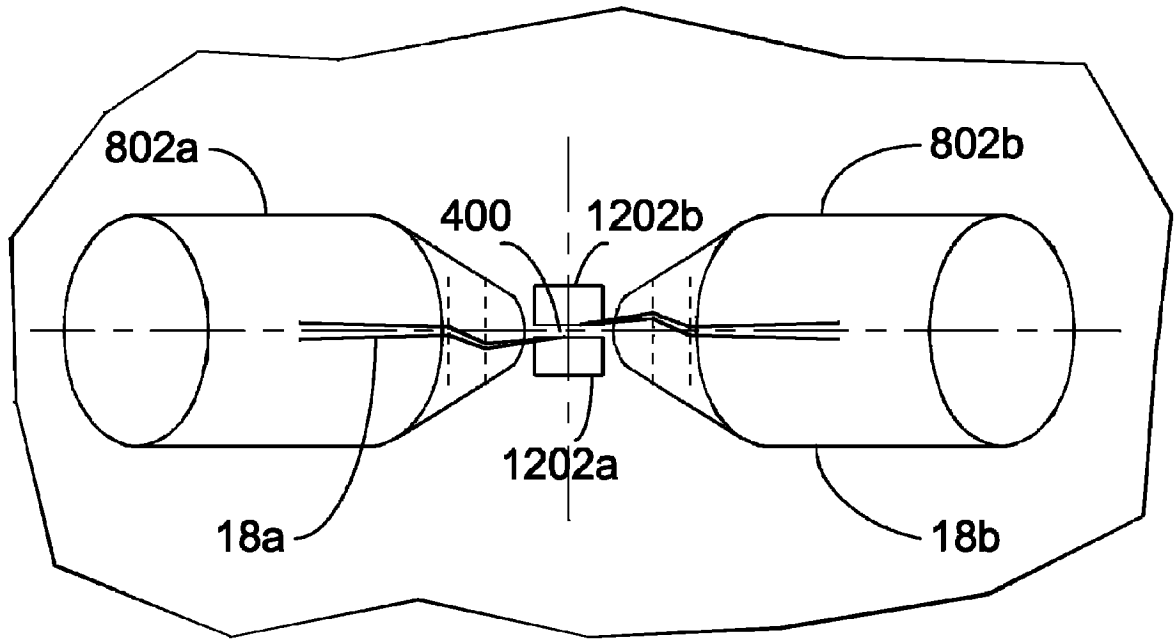


图 14

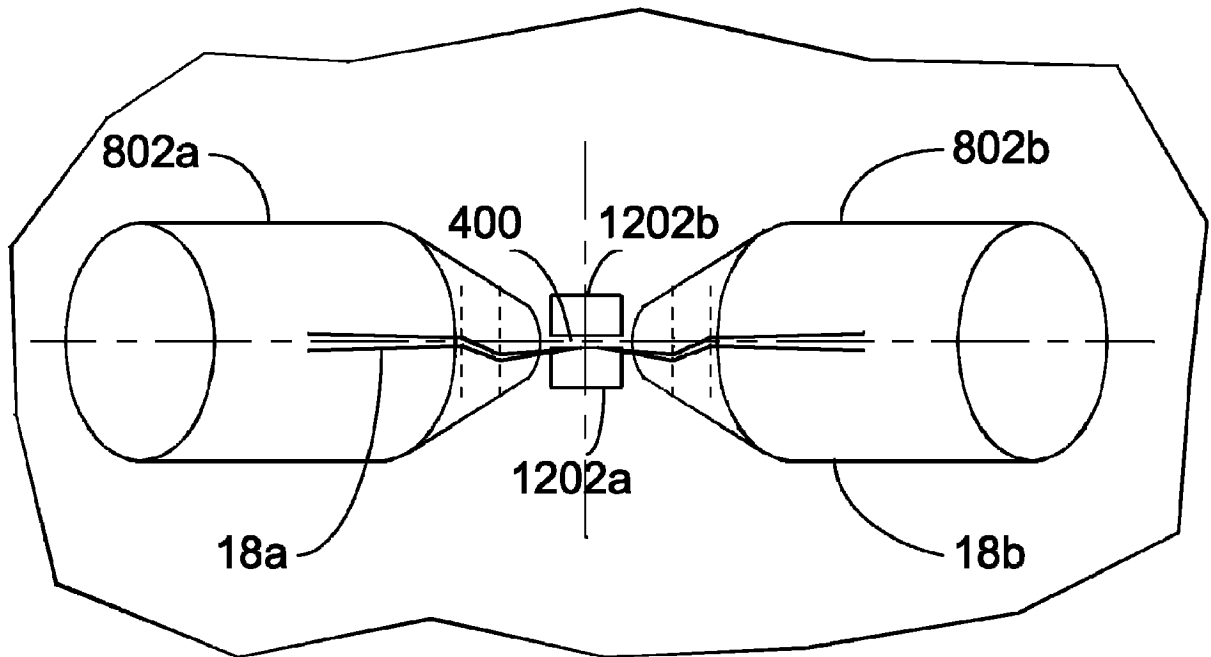


图 15

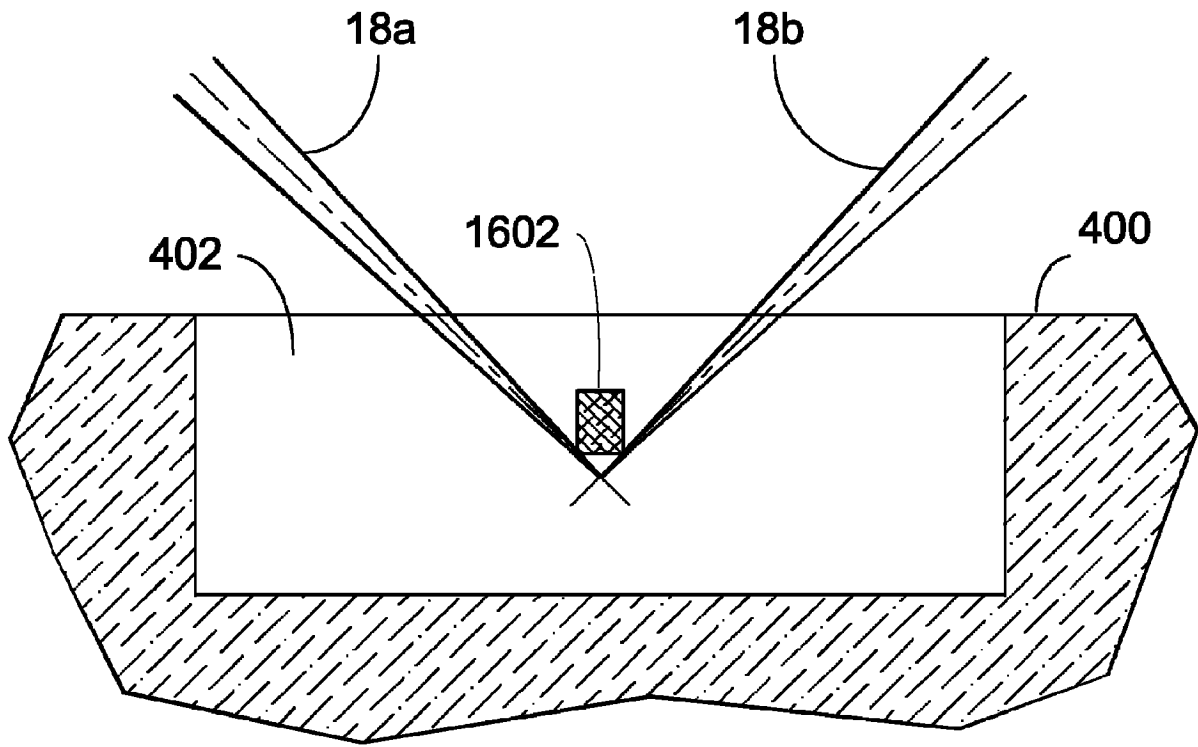


图 16

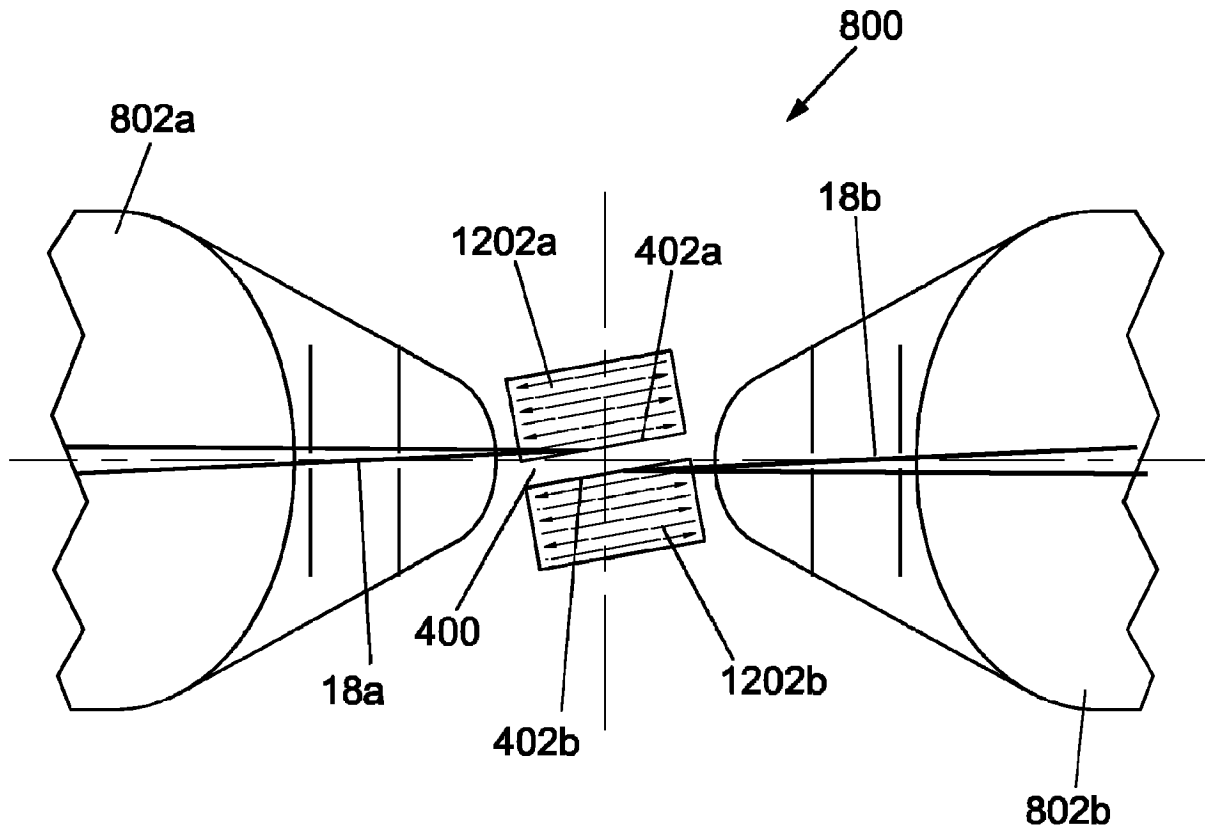


图 17

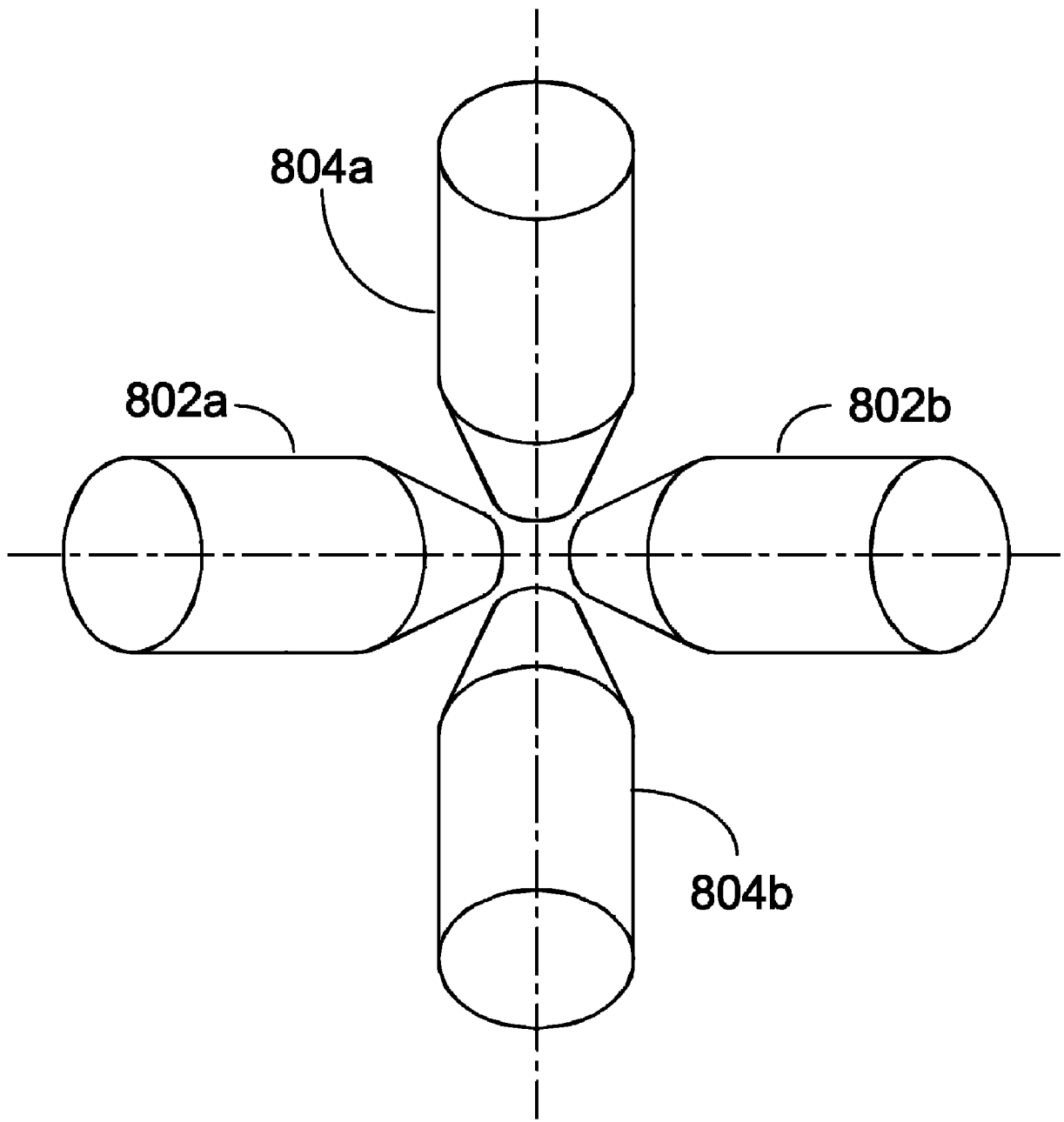


图 18

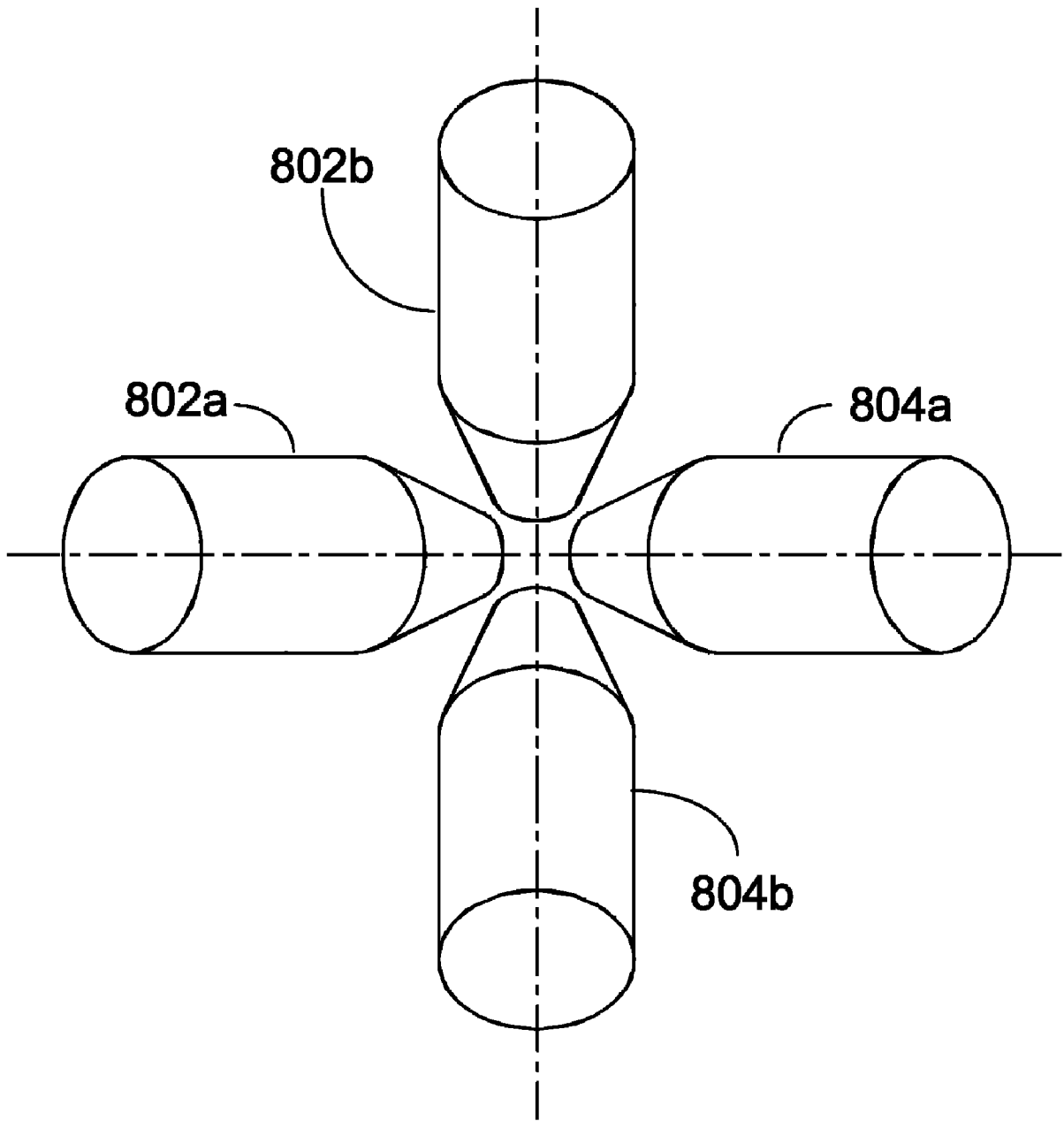


图 19