



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104979151 B

(45)授权公告日 2018.11.30

(21)申请号 201510171305.3

(22)申请日 2015.04.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104979151 A

(43)申请公布日 2015.10.14

(30)优先权数据

14/251739 2014.04.14 US

(73)专利权人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 B.R.小劳思 V.布罗登

M.施米德特

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 原绍辉 周心志

(51)Int.Cl.

H01J 37/26(2006.01)

G01N 1/28(2006.01)

(56)对比文件

US 2004129878 A1,2004.07.08,

CN 103646839 A,2014.03.19,

CN 103646839 A,2014.03.19,

JP 2012256516 A,2012.12.27,

US 2013214468 A1,2013.08.22,

CN 1834608 A,2006.09.20,

审查员 吕莎莎

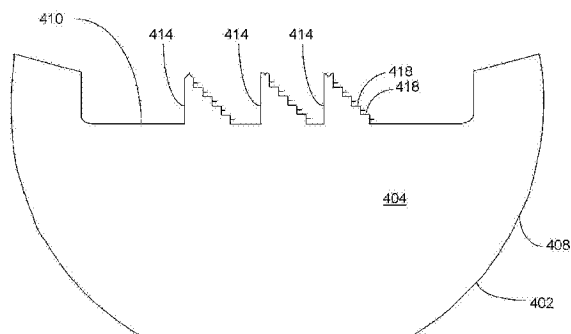
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

高容量TEM栅格

(57)摘要

本发明涉及高容量TEM栅格,特别是一种TEM栅格提供立柱,立柱具有台阶,台阶增加了能附连到栅格上的样品数量。在某些实施例中,每个立柱包括单侧楼梯台阶配置。一种用于提取多种样品的方法包括提取样品并且将样品附连到立柱的不同楼梯台阶上。



1. 一种用于透射式电子显微镜的TEM栅格,包括:

保持器主体,其具有外边缘和内边缘;

多个附连元件,其附连到所述保持器主体上,每个相应的附连元件均适于附连制备成在TEM上查看的多个样品,每个相应的附连元件具有附连所述保持器主体的基底并且具有至少两个台阶,每个台阶均适于接收所述样品中的相应的一个的附连,每个相应的附连元件的所述台阶位于离所述基底不同距离处,其中,每个附连元件具有与其他附连元件形状不同的顶端;

每个相应的附连元件均具有与所述至少两个台阶相对的一侧,所述相对的一侧不包括台阶,并且还适于在离所述TEM栅格的块体一距离处接收附连的样品,使得来自所述栅格的再沉积的风险被最小化,从而允许以所述样品的很低的再沉积减薄进行所述样品的精细的能量分散的x射线光谱学分析。

2. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,所述多个附连元件沿着所述内边缘间隔开并且它们的底部由所述内边缘的中间部分所分离开。

3. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,每一个相应的附连元件包括至少三个台阶。

4. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,所述多个附连元件是至少三个附连元件并且所述至少三个附连元件中每一个包括至少三个台阶。

5. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少两个台阶在所述附连元件的同一侧。

6. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,其还包括:辨识每个附连元件的辨识标记。

7. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,其还包括:辨识每个相应的附连元件的所述至少两个台阶中每一个的辨识标记。

8. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,每个台阶适于通过在操作中接收聚焦离子束以沉积材料从而附连所述样品中的相应的一个来接收所述样品中的所述相应的一个的附连。

9. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,在栅格制造过程中冲压、蚀刻或激光切割所述栅格。

10. 根据权利要求1所述的TEM栅格,其特征在于,所述附连元件包括在所述至少两个台阶处的缩进部,所述样品能附连到所述缩进部上。

11. 一种制备用于在透射式电子显微镜中查看的样品的方法,包括:

朝向基板导向聚焦离子束以从所述基板切下第一样品;

将所述第一样品附连到操纵器;

将所述第一样品移动到TEM栅格,所述TEM栅格包括主体和两个或更多个附连结构,所述附连结构包括多个台阶,并且每一个均具有与其他附连结构形状不同的顶端;

通过所述附连结构中的选定的第一附连结构的顶端形状辨识所述第一附连结构,并且将所述第一样品附连到所述两个或更多个附连结构中的所述第一附连结构上的所述多个台阶中的选定的第一台阶;

朝向基板导向聚焦离子束以从所述基板切下第二样品;以及

通过所述附连结构中的选定的第二附连结构的顶端形状辨识所述第二附连结构,并且将所述第二样品附连到所述两个或更多个附连结构中的所述第二附连结构上的所述多个台阶中的选定的第二台阶。

12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,其还包括:朝向所述第一样品导向电子束以形成所述第一样品的透射电子图像;以及朝向所述第二样品导向电子束以形成所述第二样品的透射电子图像。

13. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,

将所述第一样品附连到所述第一附连结构上的所述多个台阶中的选定的第一台阶包括导向聚焦离子束以沉积材料从而将所述第一样品附连到所述多个台阶中的选定的第一台阶;以及

将所述第二样品附连到所述第一附连结构上的所述多个台阶中的选定的第二台阶包括导向聚焦离子束以沉积材料从而将所述第二样品附连到所述多个台阶中的选定的第二台阶。

14. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,将所述第一样品附连到操纵器上或者将所述第二样品附连到操纵器上包括通过束诱导沉积、溅射沉积、粘合剂、或静电吸引将所述第一样品或所述第二样品附连到所述操纵器上。

15. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,其还包括:在将所述第一样品或第二样品附连到所述TEM栅格上之后使用所述离子束来减薄所述第一样品或所述第二样品。

16. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,其还包括:使用机器视觉来对所述第一附连结构上的所述多个台阶中的选定的一个台阶上的辨识标记进行自动辨识。

17. 一种TEM栅格,包括:

主体,其具有外边缘和内边缘,所述外边缘呈具有三毫米的直径的部分圆形式,所述内边缘在由所述部分圆的弦所形成的所述外边缘内;以及

从所述内边缘延伸的至少两个立柱,所述至少两个立柱中的每一个具有至少一个锯齿状边缘,所述锯齿状边缘形成多个样品安装位置用于附连样品以在透射式电子显微镜上查看,每个样品位置在不同线段上,

所述至少两个立柱中的每一个均具有与其他立柱形状不同的顶端。

18. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少一个锯齿状边缘形成至少三个样品安装位置。

19. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少两个立柱包括一个直边缘并且在锯齿状边缘上包括至少三个样品安装位置。

20. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少两个立柱是至少三个立柱,每个立柱包括在所述立柱一侧上的锯齿状边缘。

21. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少两个立柱包括多个立柱,所述多个立柱中的每一个包括至少一个锯齿状边缘。

22. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,其还包括:辨识所述多个样品安装位置中每一个的辨识标记。

23. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少两个立柱包括由所述内边缘的中间部分所分离开的多个立柱,并且其分别包括形成适于附连样品以在透射式电子显

视镜上查看的多个样品安装位置的至少一个锯齿状边缘。

24. 根据权利要求17所述的TEM栅格,其特征在于,所述至少两个立柱包括由所述内边缘的中间部分所分离的多个立柱,并且其分别包括至少两个锯齿状边缘,每一个所述锯齿状边缘均形成适于附连样品以在透射式电子显微镜上查看的多个样品安装位置。

大容量TEM栅格

技术领域

[0001] 本发明涉及透射式电子显微镜 (TEM) 栅格和用于提取并且搬运样品以使用透射式电子显微镜和扫描透射式电子显微镜进行观察。

背景技术

[0002] 纳米技术、材料科学和生命科学需要用以形成纳米级分辨率的图像的能力。例如，集成电路现在被制造成具有小至数十纳米的特征，并且集成电路制造过程的开发和控制需要形成这些特征的有用图像。用于制作集成电路的光刻过程的变化需要持续地监视和测量所述过程结果以确保产品参数保持在可接受的范围内。

[0003] 随着最小特征大小接近光刻过程的分辨率极限，这种监视的重要性显著地增加。待监视的特征可以包括互连线的宽度和间距、接触孔的间距和直径、以及表面几何特征诸如各种特征的拐角和边缘。半导体晶片上的特征是三维结构并且完整的表征必须不仅描述表面尺寸诸如线或沟槽的顶部宽度，而且也描述特征的三维轮廓。也需要分析在制作过程中存在的污染和其它缺陷。

[0004] 可以使用扫描电子显微镜 (SEM) 进行某些观察和测量。在SEM中，初级电子束被聚焦到扫描所述待观察表面的细小/精细斑点。在初级束冲击所述表面时，从表面发射次级电子。检测所述次级电子，并且形成图像，且在图像上的每个点处的亮度由当束冲击表面上的相对应斑点时所检测到的次级电子的数量决定。随着待观察的特征继续变得越来越小，然而，存在着待测量的特征对于普通SEM所提供的分辨率而言太小的点。

[0005] 透射式电子显微镜 (TEM) 允许观察者看到极小的特征，大约数纳米。与仅对材料的表面进行成像的SEM相对照，TEM也允许分析样品的内部结构。在常规TEM中，宽束冲击了保持在保持器中的样品，保持器被称作“TEM”栅格，并且通过样品而透射的电子被聚焦以形成图像。样品必须足够薄以允许初级束中的许多电子穿过样品行进并且在相对侧离开。TEM样品通常小于100nm厚。

[0006] 在扫描透射式电子显微镜 (STEM) 中，初级电子束被聚焦为细小斑点，并且跨越整个样品表面上而扫描斑点。通过工件而透射的电子被样品远侧上的电子检测器收集，并且在图像上每个点的强度对应于当初级束冲击着表面上相对应点时所收集的电子的数量。

[0007] 因为样品必须很薄以用于利用透射式电子显微镜检查 (TEM或STEM) 查看，样品的制备可能是精细、耗时的工作。如本文所用的术语“TEM”指TEM或STEM，并且对于制备用于TEM的样品的提及应被理解为还包括制备用于在STEM上查看的样品。

[0008] 术语“基板”在本文中用于指将从中提取样品的工件，并且术语“样品”将用来描述从基板提取并且安装到TEM栅格上以用于减薄和/或用于观察的基板的部分。

[0009] 若干技术用于制备TEM样本。这些技术可以涉及劈开，化学抛光，机械抛光，或者宽束、低能量离子铣削，或者将上述技术中一个或多个进行组合。这些技术的缺点在于它们常常需要起始材料被分割为越来越小的片，由此破坏大部分原始工件。

[0010] 其它技术，大体上被称作“取出/提升出 (lift-out)”技术，使用聚焦离子束来从基

板或块体样品切割样品从而使得其能被取出而不会破坏或损坏基板的周围部分。这种技术适用于分析用于制作集成电路的过程的结果,以及分析在物理或生物科学中的材料。这些技术可以用于从基板内的任何取向(例如,在截面图或平面图中)形成样品。某些取出技术提取了呈薄片形式的样品,薄片充分薄以直接用于TEM中;其它取出技术提取“厚块(chunk)”或在观察之前需要额外减薄的较大样品。可以在仍附连到基板上时,在附连到用于将样品从基板运输到TEM栅格上的探针上时,或者在样品附连到TEM栅格上之后而减薄所述样品。薄片可以形成为均匀薄结构或者其可以包括在更厚支承结构内的薄查看区。所提取的薄片通常形成垂直于基板表面而定向的样品。常常平行于基板表面提取厚块以形成样品,如在授予Hong等人的“Planar View Sample Preparation”的美国专利No.7,423,263中描述,其是由本发明的申请人所拥有的并且由此以引用的方式并入到本文中。

[0011] 其中从基板提取所制备样品并且使所制备样品移动到聚焦离子束(FIB)系统真空腔室内的TEM栅格的技术通常被称作“原位”技术。其中由聚焦离子束形成样品并且然后在从基板移除样品之前从真空腔室移除基板的技术被称作“异位”技术。

[0012] 在一示例中,在从基板分离样品之前将样品减薄到所希望的厚度,并且将样品转移到利用薄电子透明膜所覆盖的金属栅格。在样品搁置于薄膜上时,通过使电子束穿过样品来查看样品。图1示出了现有技术TEM栅格100,其通常由铜、镍或金制成。尽管尺寸可能不同,典型栅格可能具有例如3.05mm的直径,和中间部分102,中间部分102包括由杆106所限定的尺寸为 $90\mu\text{m} \times 90\mu\text{m}$ 的小隔间,杆106具有 $35\mu\text{m}$ 的宽度。在碰撞电子束中的电子将能穿过小隔间104,但将被杆106阻挡。中间部分102被边缘部分108包围。边缘部分108的宽度是0.225mm。边缘部分108并不具有小隔间并且显示了取向标记110。电子透明支承膜大约为20nm厚并且跨越整个样品载体上是均匀的。待分析的TEM样本被放置于或安装于小隔间104内。

[0013] 为了从基板移除样品,附连到显微操纵器上的探针被定位于样品上并且谨慎地降低以接触它。对于异位移除,探针可以使用真空、静电力或者粘合剂来将样品附连到探针顶端上以使之从基板移动到栅格。用于异位提取样品的一种这样的系统被描述于授予Agorio等人的“Method and Apparatus for Sample Extraction and Handling”的美国专利No.8,357,913中。

[0014] 并非在将样品从基板移除之前将样品减薄,在某些原位过程中,使用探针将样品从基板移除,探针连接到显微操纵器并且附连到TEM栅格的立柱(post)(也被称作“齿”或“指状物”)诸如在图2中的立柱。部分或完全形成的样品通常在其形成后通过束诱导沉积而附连到探针上。然后分离样品与基板并且将样品由探针运输到TEM栅格,其中,样品由束诱导沉积而附连到立柱上。然后切断在探针与样品之间的连接,将样品留在TEM栅格立柱上。样品探针可能旋转并且TEM栅格可能倾斜或旋转以确保样品以用于处理查看的所希望的取向而附连到立柱上。用于形成和提取样品的技术例如被描述于Keady等人的名称为“High Throughput TEM Preparation processes and Hardware for Backside Thinning of Cross-Sectional View Lamella”的美国专利公开No.2013/0248354和Blackwood等人的名称为“TEM Sample Preparation”的W02012/103534中,二者都是本申请者所拥有的并且由此以引用的方式并入到本文中。

[0015] 典型立柱型TEM栅格200包括3mm圆的一部分。在某些应用中,样品,诸如样品202A、

202B和202C通过离子束沉积或粘合剂而附连到立柱204A、204B、204C或204D上。样品从立柱延伸从而使得在TEM(未图示)中的电子束将具有穿过样品到样品下方的检测器的自由路径。样品通常安装成具有与TEM栅格的平面平行的薄查看区域,并且TEM栅格安装成使得当观察样品时TEM栅格的平面垂直于电子束。图3示出了具有立柱302A和302B的另一TEM栅格300,样品304A、304B、304C和304D附连到立柱302A和302B上。TEM栅格300的立柱具有与TEM栅格200的立柱不同的形状。

[0016] 图5A至图5C示出了典型现有技术TEM栅格的立柱500的放大视图。TEM立柱通常包括被称作“缩进部”的架子502。图5A示出了立柱500的正视图,显示了由外边缘504形成的架子502,外边缘504比立柱500的内部部分506更薄。缩进部便于样品508附连到立柱500上并且在附连期间最小化或避免损坏TEM栅格。架子502可以围绕整个TEM立柱的周边持续地伸展。图5B示出了图5A的立柱500的侧视图。图5C示出了具有架子502的TEM立柱500的显微照片。更薄的外边缘504沿着整个立柱500并且在立柱之间延伸。

[0017] 在图2、图3、图4A、图4B、图8A和图8B中并未示出缩进部,应认识到每一个的TEM栅格可能具有缩进部,样品或薄片附连到缩进部上。为了清楚目的,在这些其它图中并未示出缩进部。

[0018] 术语TEM栅格在本文中用于指上面安装所述样品的任何结构,包括不仅如图1所示被薄电子透明膜所覆盖的金属栅格,而且还包括如图2和图3所示的立柱型栅格,以及任何其它类型的支承件,诸如样品能附连到的丝。TEM栅格通常安装于TEM样品保持器中。样品保持器能从离子束系统真空腔室移除以将带有样品的TEM栅格运输到TEM用于查看。已知用于保持TEM栅格的样品保持器和用于运输样品保持器的系统。

[0019] 使用现有技术样品提取方法的TEM样品的制备是耗时的。临界尺寸(“CD”)计量和其它过程监视技术常常需要来自晶片上的不同位置的多个样品以充分表征和形容具体过程。在某些情形下,例如,将需要分析来自给定晶片的15至50个TEM样品。当必须提取并且测量这么多样品时,用以处理来自一个晶片的样品的总时间可能是数天或甚至数周。即使能通过TEM而揭示的信息可能很有价值,形成并且测量TEM样品的整个过程在历史上一直是劳动密集型并且耗时的,使得将这种类型的分析用于制造过程控制是不实用的。

[0020] 加速样品提取和转移的过程将会通过允许半导体晶片更快速地返回到生产线而提供显著的时间节省。自动化所述取出过程将增加在给定时段由离子束系统所提取的样品的数量。

发明内容

[0021] 本发明的目的在于提供一种改进的TEM栅格,其用于在透射式电子显微镜检查中所用的样品,本发明还提供一种便于TEM样品生产的方法。

[0022] 本发明的实施例提供一种TEM栅格,其包括带有锯齿状边缘的立柱以提供台阶,台阶形成了用于将多个样品安装到每个立柱上的样品位置。TEM栅格通过容纳比现有技术TEM栅格更多的样品而便于自动化样品制备。优选地,在每个台阶上机器可读的辨识标记便于自动样品制备。

[0023] 前文已概述了而非广泛地描述了本发明的特点和技术优点以便可以更好地理解下文的本发明的详细描述。将在下文中描述本发明的额外特点和优点。本领域技术人员应

了解所公开的概念和具体实施例可易于用作用于修改或设计其它结构以执行本发明的相同目的的基础。本领域技术人员还应认识到这样的等效构造并不偏离如在所附权利要求中所陈述的本发明的精神和范畴。

附图说明

[0024] 为了更透彻理解本发明及其优点,现在参考结合附图而进行的下文的描述,在附图中:

[0025] 图1示出了第一类型的现有技术TEM栅格。

[0026] 图2示出了第二类型的现有技术TEM栅格。

[0027] 图3示出了第三类型的现有技术TEM栅格。

[0028] 图4A和图4B示出了TEM栅格的实施例。

[0029] 图5A至图5C示出了TEM栅格的立柱的放大视图。

[0030] 图6是制作用于透射式电子显微镜的样品的方法的流程图。

[0031] 图7示出了可以用于制备用于TEM查看的样品的双束系统。

[0032] 图8A和图8B分别示出了TEM栅格的优选实施例的正视图和后视图。

具体实施方式

[0033] 本发明的某些实施例提供具有增加的样品容量的TEM栅格。某些实施例的楼梯型立柱设计通过使每个立柱上焊接的样品下方的浪费空间最小化而增加能附连到TEM栅格上的样品数量。

[0034] 在某些实施例中,单侧楼梯结构通过将所有样品位置定位于最易于焊接的栅格的侧部上而优化了用于倒置取出(inverted lift-out)的技术,如在Keady等人的名称为“High Throughput TEM Preparation processes and Hardware for Backside Thinning of Cross-Sectional View Lamella”美国专利公开No.2013/0248354中所描述。

[0035] 在某些实施例中,楼梯设计,单侧或双侧,与在每个楼梯的顶部处和/或每个楼梯台阶上的机器和/或人可读的标志诸如简化的字母或几何形状相组合,允许快速并且准确地定位和辨识样品位置。

[0036] 单侧楼梯的不对称使得当将样品加载到栅格保持器中时操作者易于将栅格正确地适当定向。这便于准确的机器视觉驱动样品放置。立柱的非楼梯侧准备好了样品的很低的再沉积减薄,这允许精细的能量分散的x射线光谱学分析。例如,在延伸到右边的单侧楼梯上,立柱的左侧允许使用者将样品放置于离支承栅格的块体较远距离处。当使用者希望执行光谱分析并且希望最小化来自栅格的再沉积污染所述结果的风险时可能是有利的。当寻找铜或铜是否存在时,这是特别重要的,因为,栅格可以由铜制成,并且来自栅格的铜的计划外溅射可能重沉积到样品上,污染样品。

[0037] 取决于具体实施方式,栅格的设计必须被改变以改变每个立柱上的台阶的大小和步骤,以及立柱的数量,从而增加容量或者提供更多的空间以用于操纵样品。某些应用需要少量的较大样品,而其它应用需要大量的较小样品,并且可以改变栅格设计以适应每种应用的具体要求。例如,在某些应用中,提取了很大的“厚块”样品,即,在一侧上具有尺寸大于100 μm 的样品。可以例如通过使用购自本申请的受让人FEI公司,Hillsboro,Oregon的Vion

Plasma FIB来提取较大的厚块。这些较大样品优选地附连到具有较少量可用位置的栅格上,诸如在每一个立柱上具有更少量的台阶和/或具有更少量的立柱。这些较大样品通常用于常常没有高处理量的活动中,并且因此使用多个栅格并且在每个栅格上安装有更少样品并不成问题。另一方面,STEM计量过程通常需要大量样品,并且能可靠地并且快速地获得大量样品的能力在这种应用中是更重要的。在这些应用中,具有更多立柱并且在每个立柱上具有更小和更多台阶的栅格允许每个栅格更多薄片,并且最小化栅格加载和卸载循环可能会节省时间。经简化的辨识字母可能被其它几何形状替换以辅助机器视觉识别或栅格可制造性。不同立柱的顶部可能形成为不同几何形状以便于辨识每个立柱,如图8A和图8B所示。

[0038] 在每个楼梯顶部上设置易于使用机器视觉而定位的标志便于自动化取出过程。其也通过将线装配到每个楼梯的位置而便于促成一种用以定位具体栅格和确定栅格取向的自动化程序。这将会允许自动旋转调整以补偿在将栅格加载到栅格保持器内的任何取向误差,当手动加载栅格时,这种误差可能易于是2-3度。载物台旋转也可能留在其原始位置,并且替代地,使用测量的栅格旋转来帮助更准确地驱动到每个位置。这节省了再寻找栅格的时间。如果将薄片与指状物或立柱对齐是关键,则可以在将薄片焊接到栅格上之前执行自动旋转调整。通过标出栅格的取向,栅格的取向可以被驱动回到经调整的旋转。

[0039] 图4A示出了TEM栅格402,其包括:主体404,其具有外边缘和内边缘410,外边缘呈具有约三毫米直径的部分圆408的形式,内边缘410在外边缘内由部分圆408的部分弦形成。多个立柱414从内边缘410延伸。图4B示出了三个立柱414的放大视图。如图所示,在此实施例中的立柱414沿着由所述内边缘410的中间部分所分离的它们的底部而间隔开。每个立柱具有由竖直边缘420和基本上平行于内边缘410的水平边缘422形成的台阶418。竖直边缘420提供了用来附连样品424以用于使用聚焦离子束系统进行减薄和/或用于在透射式电子显微镜上查看的部位。

[0040] 每个立柱414可选地在顶部处具有易于自动机器辨识的不同几何形状并且每个台阶418也可以具有标识符。在一实施例中,竖直边缘420和水平边缘422各为50 μ m长,其提供充足的空间来放置样品,这个空间通常是约10 μ m宽和约5 μ m高。在每个楼梯的顶部处的标志,诸如简化字母“A”、“B”和“C”,可以用于以连续编号的台阶,例如1、2、3、4和5来辅助标识所述样品。用于每个个别台阶的标志符可能在栅格上被写入,或者仅通过位置来理解。楼梯可以是单侧的(如图所示),或者双侧的,即,角锥形。因为在某些提取过程中移除之后样品的取向,与另一侧相比,其易于焊接到立柱的一侧。

[0041] 图6是示出了制备用于在TEM上观察的多个样品的方法的流程图。在步骤602中,使用者将样品基板插入于真空腔室内。在步骤604中,聚焦离子束朝向样品基板而定向以形成样品。在分离样品与基板之前,在步骤606中,将探针附连到样品上。在步骤608中,从基板切下样品。在步骤610中,上面附连了第一薄样品的探针被移动到TEM栅格,诸如在图4A中所描述的TEM栅格。在步骤612中,第一薄样品附连到TEM栅格上在立柱的多个台阶之一上。在步骤614中,探针与样品分开,将样品留在TEM栅格上。

[0042] 在决策框616,判断是否将要形成额外样品。若如此,过程在步骤604处重复。在形成和从基板移除每个样品时,每个样品附连到立柱414的台阶418中不同台阶的竖直边缘420上直到填充了所有台阶。其中填充所述台阶的次数可以不同。例如,可以提取样品,将样品移动到栅格402并且在位置A1处储存。提取第二样品并且使之移动到栅格402,并且在位

置A2处储存。提取第三样品,并且使之移动到栅格402并且在位置A3处储存,并且以此类推以填充立柱A。之后,提取了样品并且将样品焊接到立柱B的第一台阶上。然后,提取了样品并且焊接到台阶B2,然后B3并且以此类推。然后能够以相同方式填充立柱C。最后,能填充在所有立柱上的所有台阶。替代地,在每个立柱上的顶部台阶可以被填充并且然后向下到下一台阶。示例栅格402能保持安装到梯级上的15个样品并且如果使用立柱的两侧,可以保持18个样品。其它实施例可以具有不同数量的立柱和每个立柱不同数量的台阶。不同的立柱可以具有不同数量的台阶并且台阶的大小和间距可以彼此不同。在两侧上带有梯级台阶的TEM栅格能保持甚至更多的样品。

[0043] 在形成了所有所希望的样品并且使之移动到TEM栅格之后,在步骤618中利用聚焦离子束将TEM栅格上的样品减薄。能改变加工次序。例如,可以通过重复步骤604来部分地形成多个薄样品并且然后可以通过重复步骤606到步骤614来切下部分形成的样品中的每一个,使之移动到TEM栅格,并且附连到TEM栅格上。可以在切下样品之前,在将每个薄样品附连到TEM栅格上之后、或者所有薄样品已被附连到TEM栅格上之后使样品减薄。

[0044] 在步骤620,将TEM栅格移动到TEM并且在步骤622,样品在TEM上成像。步骤604至步骤618可以部分地或完全地是自动的。

[0045] 图7描绘了示例性双束SEM/FIB系统702,其被配备以形成样品并且将样品移动到TEM栅格。合适的双束系统可以例如从本发明的受让人FEI公司,Hillsboro,Oregon购买到。虽然在下文中提供了合适硬件的示例,本发明并不限于以任何特定类型的硬件来实施。

[0046] 双束系统702具有竖直安装的电子束柱704和聚焦离子束(FIB)柱706,聚焦离子束(FIB)柱706在可抽真空的样本腔室708上相对于竖直以大约52度的角度安装。样本腔室可以由泵系统709抽真空,泵系统709通常包括涡轮分子泵、油扩散泵、离子吸气泵、涡旋泵中的一种或多种,或者其组合,或者其它已知的泵送器件。

[0047] 电子束柱704包括:电子源710,诸如肖特基发射器或者冷场发射器,以用于产生电子;以及,电子光学透镜712和714,其形成电子716的精细聚焦束。电子源710通常被维持在500V与30kV之间的电位,高于工件718的电位,工件718的电位通常被维持在接地电位。

[0048] 因而,电子以大约500eV至30keV的着陆能量来冲击所述工件718。负电位能被施加到工件上以减少电子的着陆能量,这减小了电子与工件表面的相互作用体积,从而减小了成核位点的大小。工件718可以包括例如半导体装置、微机电系统(MEMS)、数据存储装置、或要针对其材料特征或组成而加以分析的材料的样品。电子束716的冲击点可以由偏转线圈720定位于工件718表面上并且在工件718表面上扫描。透镜712和714和偏转线圈720的操作受到扫描电子显微镜能量供应和控制单元722控制。透镜和偏转单元可以使用电场、磁场或其组合。

[0049] 工件718在样本腔室708内在可移动载物台724上。载物台724能优选地在水平面(X轴线和Y轴线)并且竖直地(Z轴线)移动并且能倾斜大约六十(60)度并且绕Z轴线旋转。门727能被打开以用于将工件718插入于X-Y-Z载物台724上并且也用于维修内部气体供应储集器(未图示),如果使用内部气体供应储集器的话。门是联锁的从而使得如果将样本腔室708抽真空,则门不能被打开。

[0050] 在真空腔室上安装一个或多个气体喷射系统(GIS)730。每个GIS可以包括用于保持前体或激活材料的储集器(未图示)和用于将气体导向至工件表面上的针732。每个GIS还

包括用于对前体材料到工件的供应进行调节的器件734。在此示例中,调节器件被描绘为可调整的阀,但调节器件也可以包括例如用于加热前体材料以控制其蒸气压力的调节加热器。

[0051] 当电子束716中的电子撞击到工件718上时,发射次级电子、反向散射电子和俄歇电子并且这些电子能被检测到以形成图像或者用于确定关于工件的信息。次级电子例如被次级电子检测器736诸如Everhart-Thornley检测器、或能检测低能量电子的半导体检测器装置检测到。位于TEM栅格761和载物台724下方的STEM检测器762允许检测通过样品而透射的电子。载物台724和TEM栅格761能被配置成使得检测器762能收集通过安装于TEM栅格上的样品而透射的电子。来自检测器736和762的信号被提供给系统控制器738。所述控制器738还控制偏转器信号、透镜、电子源、GIS、载物台和泵和该仪器的其它物品。监视器740使用信号以用来显示使用者控件和工件图像。

[0052] 在真空控制器741的控制下由泵系统709将腔室708抽真空。真空系统在腔室708内提供大约 7×10^{-6} mbar的真空。当合适前体或激活剂气体被引入到样品表面上时,腔室背景压力可能升高,通常升高到约 5×10^{-5} mbar。

[0053] 聚焦粒子束柱706包括上颈部744,离子源746和包括提取器电极750的聚焦柱748和包括物镜751的静电光学系统位于上颈部744内。离子源746可以包括液态金属镓离子源、等离子体离子源、液态金属合金源、或任何其它类型的离子源。聚焦柱748的轴线从电子柱的轴线倾斜52度。离子束752从离子源746通过聚焦柱748并且在静电偏转器754之间朝向工件718传递。

[0054] FIB能量供应和控制单元756提供了在离子源746处的电位。离子源746通常被维持处于介于1kV与60kV之间的电位,高于工件的电位,工件的电位通常维持在接地电位。因而,离子以大约1keV至60keV的着陆能量冲击所述工件。FIB能量供应和控制单元756被联接到偏转板754,偏转板754能造成离子束在工件718的上表面上描绘出相对应的图案。在某些系统中,偏转板被放置于最后透镜前方,如本领域中熟知的那样。当FIB能量供应和控制单元756向消隐电极(blanking electrode)施加消隐电压时,在离子束聚焦柱748内的束消隐电极(未图示)造成离子束752冲击到消隐孔口(未图示)上,而不是工件718上。

[0055] 离子源746通常提供了单电荷正镓离子束,其能在工件718处聚焦为低于十分之一微米宽束以用于通过离子铣削、增强的蚀刻、材料沉积来修改工件718或者用于使工件718成像。

[0056] 显微操纵器757,诸如购自德克萨斯州达拉斯(Dallas,Texas)的OmniProbe, Inc., 的AutoProbe 200™或者购自德国罗伊特罗根(Reutlingen, Germany) Kleindiek Nanotechnik的Model MM3A可以在真空腔室内精确地移动物体。显微操纵器757可以包括定位于真空腔室外侧的精密电动马达758以向位于真空腔室内的部分759提供X、Y、Z和 θ (theta) 控制。显微操纵器757可以装配有不同的末端执行器以用于操纵较小物体。在本文所描述的实施例中,末端执行器是薄探针760。显微操纵器(或者微探针)可以用于将TEM样品(其已经从基板释放,通常由离子束释放)到TEM样品保持器761中的TEM栅格用于分析。载物台724也可以包括安装于其上的翻转载物台(未图示),如在例如Asselbergs等人的名称为“Method for the Manufacture and Transmissive Irradiation of a Sample, and Particle-optical System”美国专利公开No.20040144924中所描述,该专利公开为本发明

的申请者所拥有并且由此以引用的方式并入到本文中。将TEM栅格安装到翻转载物台 (flip stage) 上允许改变TEM栅格的取向并且TEM栅格的取向随着载物台旋转, 允许能将样品安装于所希望的取向。

[0057] 系统控制器738控制双束系统702的各个部分的操作。通过系统控制器738, 使用者能通过输入到常规用户接口 (未图示) 内的命令使离子束752或电子束716以所希望的方式扫描。替代地, 系统控制器738可以根据经编程的指令来控制双束系统702。图7是示意图, 其并不包括典型双束系统的所有元件并且其并不反映所有元件的实际外观和大小或它们之间的关系。

[0058] 图8A和图8B分别示出了TEM栅格802的优选实施例的正视图和后视图。TEM栅格802包括主体804, 主体804具有外边缘808和在由外边缘808所限定的边界内的内边缘810。多个立柱814从内边缘810延伸。每个立柱具有由垂直于内边缘810的竖直边缘和基本上平行于内边缘810的水平边缘所形成的台阶818。竖直边缘提供了用来附连样品以用于使用聚焦离子束系统进行减薄和/或用于在透射式电子显微镜上进行查看的部位。每个立柱814可选地在顶部处具有不同几何形状以易于自动机器辨识并且每个台阶818也可以具有标识符。TEM栅格802的可选取向指示符820允许使用者容易地确定TEM栅格802的哪一侧朝向上。

[0059] 虽然在栅格的立柱上的特征已被称作“台阶”, 术语“台阶”并不表示各个台阶需要平行于或垂直于立柱延伸起始的基线。可以使用提供用于安装样品的多个位置的任何锯齿状立柱边缘。例如, 立柱边缘可以包括垂直于基线的第一部分和不平行于与所述第一边缘部分连接着的基线的第二成角度的部分。替代地, 样品通常被附连到垂直于基线的部分上。替代地, 立柱边缘可以包括平行于基线的第一部分和连接着不平行于基线的线的第二成角度部分。立柱可以包括在一侧上的锯齿状蚀刻和在第二侧上的直边缘, 或者在两侧上的锯齿状边缘。锯齿状边缘由边缘区段组成, 每个边缘区段与另一边缘区段以顶点分离开。每个区段包括样品安装区域。在某些实施例中, 在立柱的一个锯齿状边缘上存在多于三个边缘区段, 优选地多于四个, 并且更优选地五个或更多个边缘区段, 每个边缘区段包括样品安装区域。

[0060] TEM栅格可以在单个TEM栅格上提供9个或更多个, 12个或更多个, 或15个或更多个样品位置。例如, 栅格可以包含两个或更多个立柱, 每个立柱具有一个或多个锯齿状边缘。每个锯齿状边缘可以提供多于3个、多于4个、多于5个或多于6个样品安装区域。TEM栅格的实施例被构造成具有缩进部 (如在图5A-5C中示出) 以便于将样品附连于样品位置处。

[0061] 本发明的某些实施例提供一种用于透射式电子显微镜的TEM栅格, 包括: 保持器主体; 至少一个附连元件, 其附连到保持器主体上用于附连被制备用于在TEM上查看的多个薄样品, 附连元件具有基底并且具有至少两个台阶, 薄样品能附连到台阶上, 台阶位于离基底不同距离处。

[0062] 在某些实施例中, 至少一个附连元件包括至少2个附连元件, 至少两个附连元件中每一个包括至少两个台阶。

[0063] 在某些实施例中, 至少一个附连元件包括至少三个台阶。

[0064] 在某些实施例中, 至少一个附连元件包括至少三个附连元件并且其中至少三个附连元件中每一个包括至少三个台阶。

[0065] 在某些实施例中, 保持器主体由导电材料组成。

- [0066] 在某些实施例中,至少两个台阶在附连元件的同一侧。
- [0067] 在某些实施例中,TEM栅格包括:辨识每个附连元件的辨识标记。
- [0068] 在某些实施例中,TEM栅格包括:辨识至少两个台阶中每一个的辨识标记。
- [0069] 在某些实施例中,附连元件具有基底且其中多个台阶始于离附连元件的基底不同距离处。
- [0070] 在某些实施例中,在TEM栅格制造过程期间冲压、蚀刻或激光切割了TEM栅格。
- [0071] 在某些实施例中,其中,附连元件包括了在至少两个台阶处的缩进部,薄样品能附连到缩进部上。
- [0072] 本发明的某些实施例提供一种制备用于在透射式电子显微镜中查看的样品的方法,该方法包括:
- [0073] 朝向基板导向聚焦离子束以从基板切下第一样品;
- [0074] 将第一样品附连到操纵器;
- [0075] 将第一样品移动到TEM栅格,TEM栅格包括主体和附连结构,附连结构包括多个台阶;
- [0076] 将第一样品附连到附连结构上的多个台阶中的第一台阶;
- [0077] 朝向基板导向聚焦离子束以从基板切下第二样品;以及
- [0078] 将第二样品附连到附连结构上的多个台阶中的第二台阶。
- [0079] 在某些实施例中,该方法还包括:朝向第一样品导向电子束以形成第一样品的透射电子图像;以及朝向第二样品导向电子束以形成第二样品的透射电子图像。
- [0080] 在某些实施例中,将第一样品附连到附连结构上的多个台阶中的第一台阶包括对于聚焦离子束进行导向以沉积材料从而将第一样品附连到多个台阶中的第一台阶上;并且将第二样品附连到附连结构上的多个台阶中的第二台阶包括对于聚焦离子束进行导向以沉积材料从而将第二样品附连到多个台阶中的第二台阶。
- [0081] 在某些实施例中,将第一样品附连到操纵器上或者将第二样品附连到操纵器上包括通过束诱导沉积、溅射沉积、粘合剂、或静电吸引来将第一样品或第二样品附连到操纵器上。
- [0082] 在某些实施例中,该方法还包括:在将第一样品或第二样品附连到TEM栅格上之后,使用离子束来减薄第一样品或第二样品。
- [0083] 在某些实施例中,该方法还包括:使用机器视觉来自动地识别辨识标记。
- [0084] 本发明的某些实施例提供一种TEM栅格,包括:
- [0085] 主体,其具有外边缘和内边缘,外边缘呈具有约三毫米直径的部分圆形式,内边缘在由部分圆的弦所形成的外边缘内;以及
- [0086] 从内边缘延伸的至少一个立柱,至少一个立柱具有至少一个锯齿状边缘,锯齿状边缘形成多个样品安装位置以用于附连薄样品以在透射式电子显微镜上查看,每个样品位置在不同线段上。
- [0087] 在某些实施例中,至少一个锯齿状边缘形成至少三个样品安装位置。
- [0088] 在某些实施例中,至少一个立柱包括一个直边缘并且在锯齿状边缘上包括至少三个样品安装位置。
- [0089] 在某些实施例中,至少一个立柱包括至少三个立柱,每个立柱包括了在立柱一侧

上的锯齿状边缘。

[0090] 在某些实施例中,至少一个立柱包括多个立柱,多个立柱中的每一个包括至少一个锯齿状边缘。

[0091] 在某些实施例中,TEM栅格还包括:辨识多个样品安装位置中每一个的辨识标记。

[0092] 在某些实施例中,在TEM栅格的制造过程中冲压、蚀刻或激光切割TEM栅格。

[0093] 本发明的优选方法或设备具有许多新颖方面,并且因为本发明可出于不同目的在不同方法或设备中实施,不需要在每一实施例中都存在着每一方面。此外,所描述的实施例的许多方面可分开地取得专利权。本发明具有广泛适用性并可提供如上述实例中描述和展示的许多益处。实施例根据具体用途将极大地变动,且并非每一实施例都将提供本发明可实现的所有益处和满足所有目标。

[0094] 应认识到,可以经由计算机硬件、硬件和软件的组合、或通过储存在永久性/非暂时计算机可读存储器中的计算机指令来实施本发明的实施例。可以在计算机程序中使用标准编程技术实施该方法-包括利用计算机程序而配置的非暂时计算机可读存储介质,其中如此配置的存储介质使计算机以特定和预定的方式-根据本说明书中描述的方法和附图运行。各程序可以在高级程序或面向对象的编程语言中实施/执行以与计算机系统沟通/交流。但是,如果需要,可以在汇编或机器语言中执行程序。在任一情况下,语言可以是编译的或解释的语言。此外,该程序可以在为此目的而编程的专用集成电路上运行。

[0095] 此外,可以在任何类型的计算机平台,包括但不限于个人计算机、小型计算机、主机、工作站、网络式或分布式计算环境、与带电粒子工具或其它成像装置分离、集成或交流的计算机平台等中实施方法。可以在存储于非暂时存储介质或器件(无论是可拆卸的还是集成到计算机平台上),诸如硬盘、光学读和/或写存储介质、RAM、ROM等上的可机读编码中实施本发明的方面,从而使其可由可编程计算机读取,以用于当由计算机读取存储介质或器件以执行其中描述的程序时配置和运行计算机。此外,可机读编码或其部分可以在有线或无线网络上传送。当这种介质含有用于与微处理器或其它数据处理器相协同而执行上述步骤的指令或程序时,本文所述的本发明包括这些和其它各种类型的非暂时计算机可读存储介质。当根据本文所述的方法和技术编程时,本发明还包括计算机本身。

[0096] 计算机程序可被应用来输入数据以执行本文所述的功能并由此转化该输入数据以产生输出数据。将输出信息施用于一个或多个输出装置,诸如显示监视器。在本发明的优选实施例中,经转化的数据代表实体和有形体,包括了在显示器上产生该实体和有形体的特定视觉描述。

[0097] 在下列讨论和在权利要求书中,术语“包括”和“包含”以开放端形式而使用,因而应被理解为是指“包括,但不限于...”。在任何术语在本说明书中没有专门限定的情况下,意在给予该术语其平常和普通含义。附图旨在助于理解本发明,除非另行指明,不按比例绘制。适合于实施本发明的粒子束系统可购自例如FEI公司,即本申请的受让人。

[0098] 尽管已详细描述本发明及其优点,应该理解的是,可以在不背离如由所附权利要求规定的本发明的精神和范围的情况下对本文所述的实施例做出各种修改、取代和变动。此外,本申请的范围预期并不限于本说明书中描述的工艺、机器、制造、相关组合物、手段、方法和步骤的特定实施例。本领域普通技术人员从本发明的公开将容易认识到,可根据本发明运用目前存在或随后有待开发的实施与本文所述的相应实施例基本相同的功能或实

现基本相同结果的工艺、机器、制造、相关组合物、手段、方法或步骤。相应地，所附权利要求在它们的范围内意在包括这样的工艺、机器、制造、相关组合物、手段、方法或步骤。

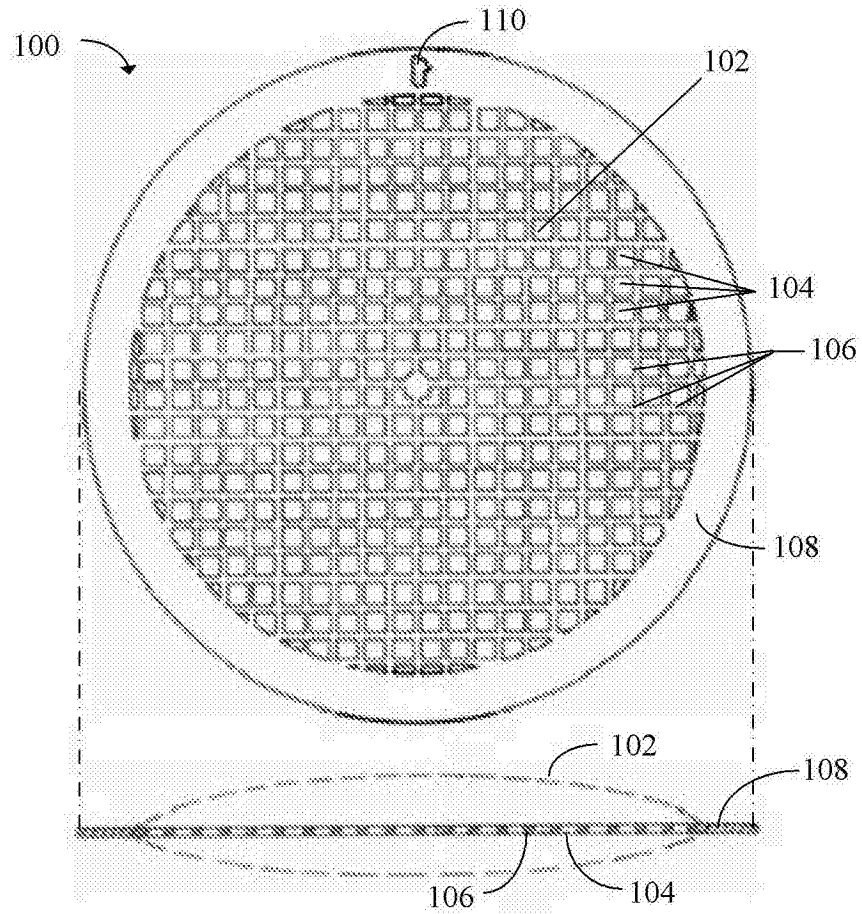


图 1

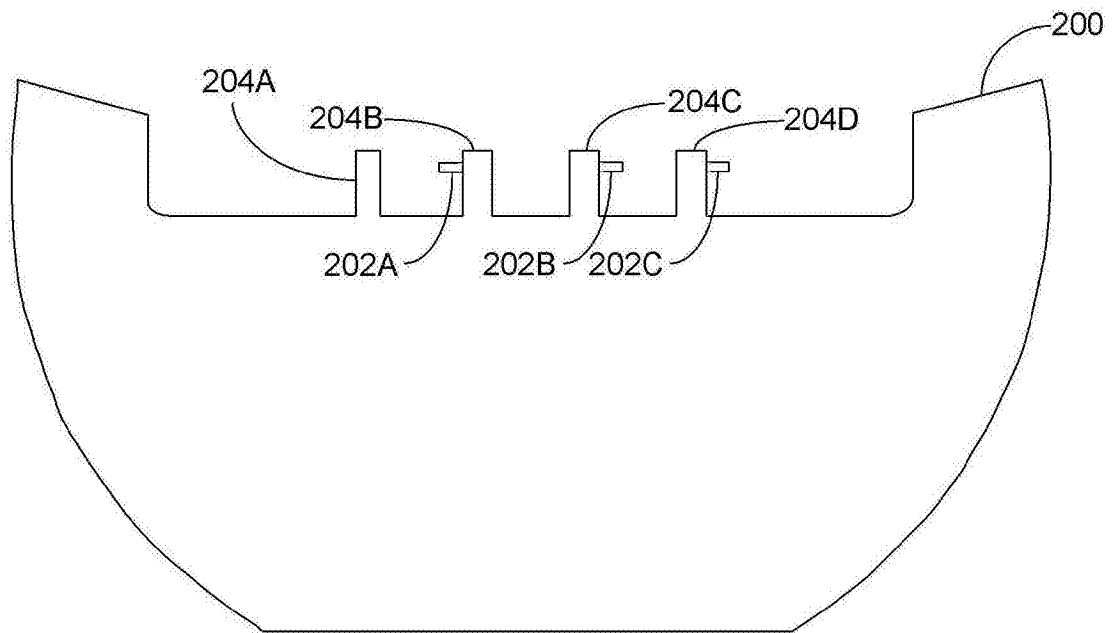


图 2

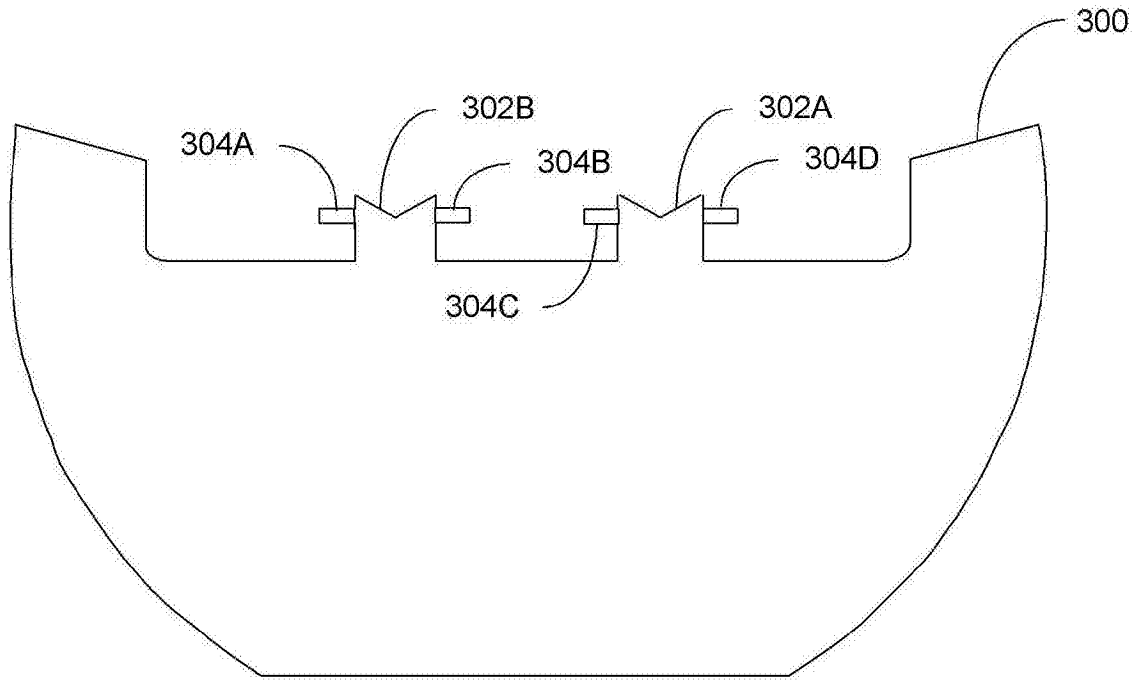


图 3

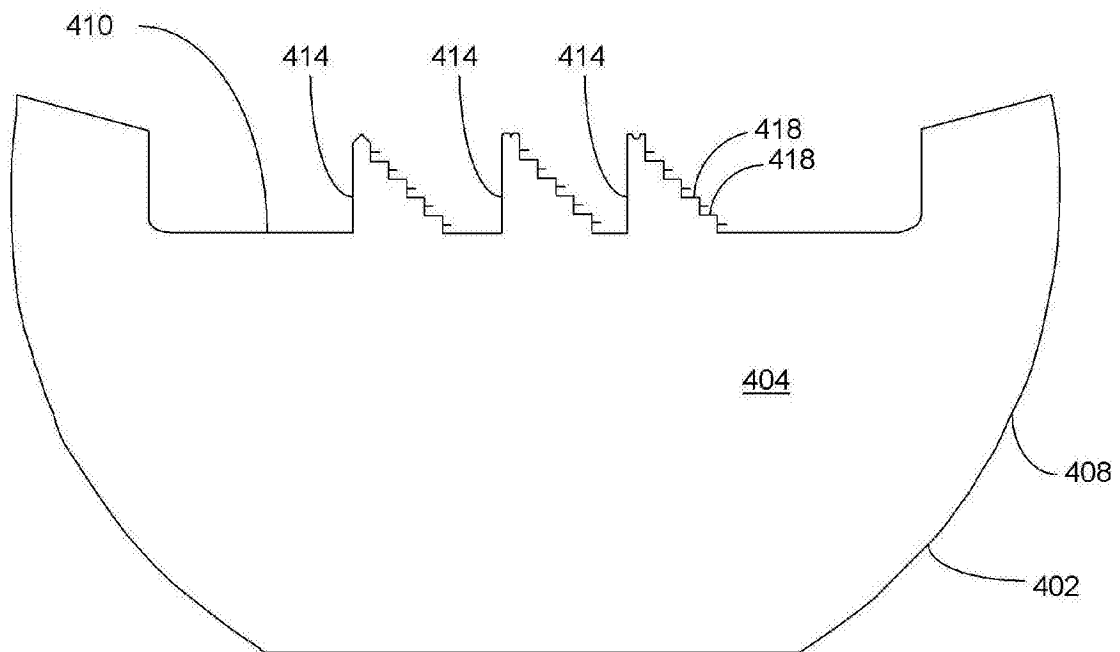


图 4A

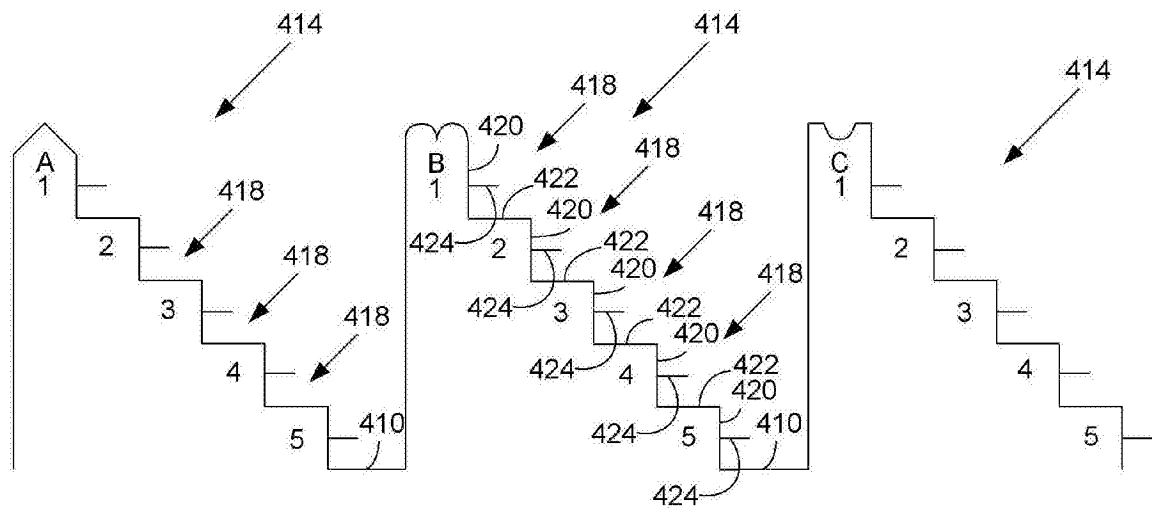


图 4B

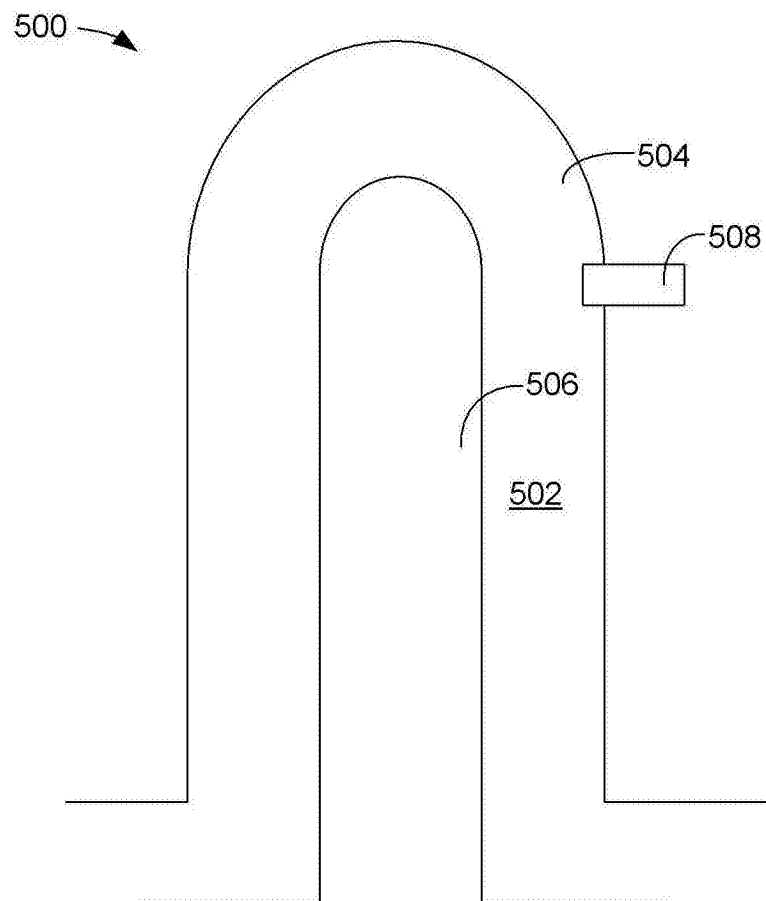


图 5A

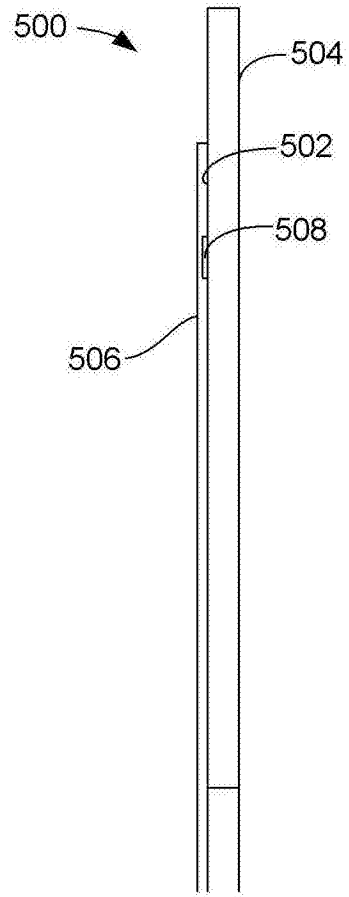


图 5B

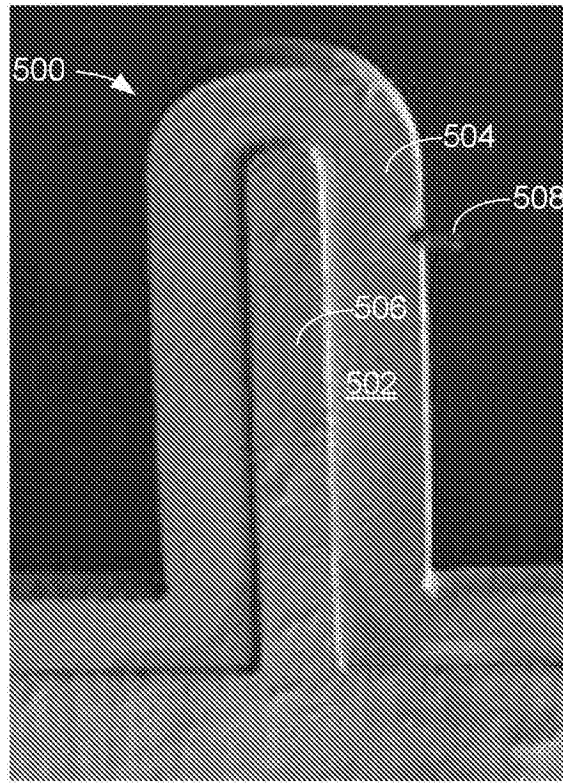


图 5C

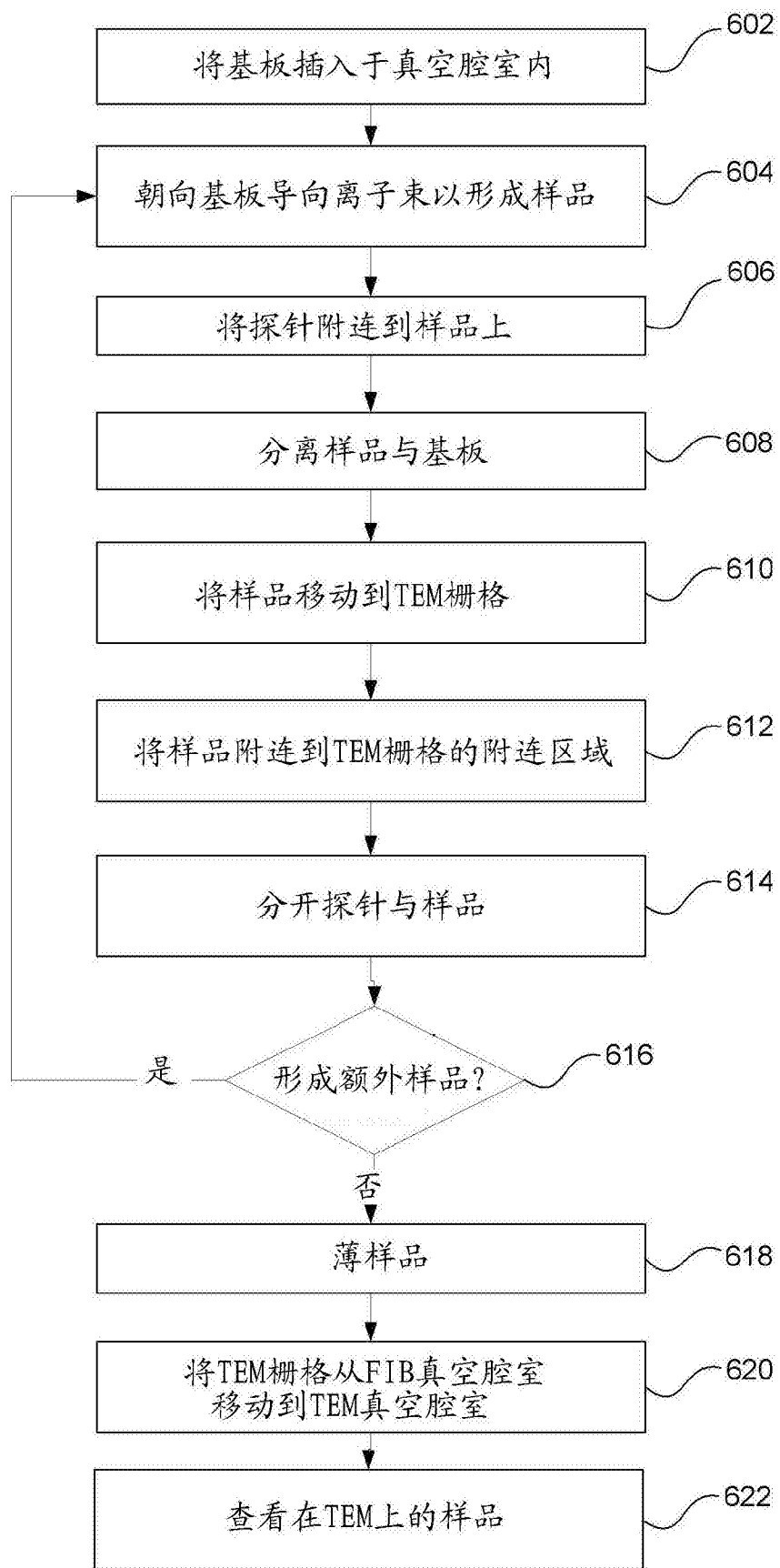


图 6

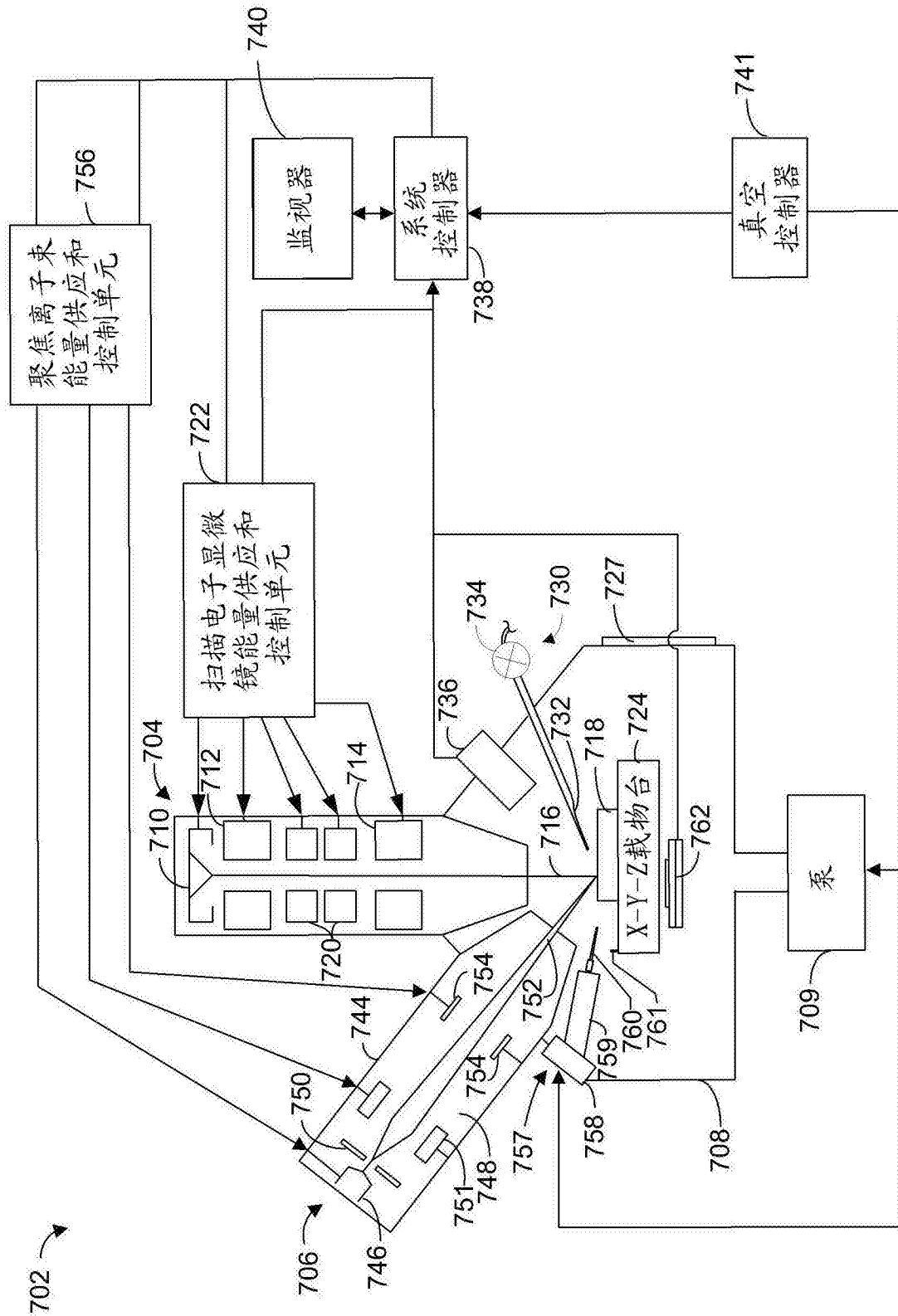


图 7

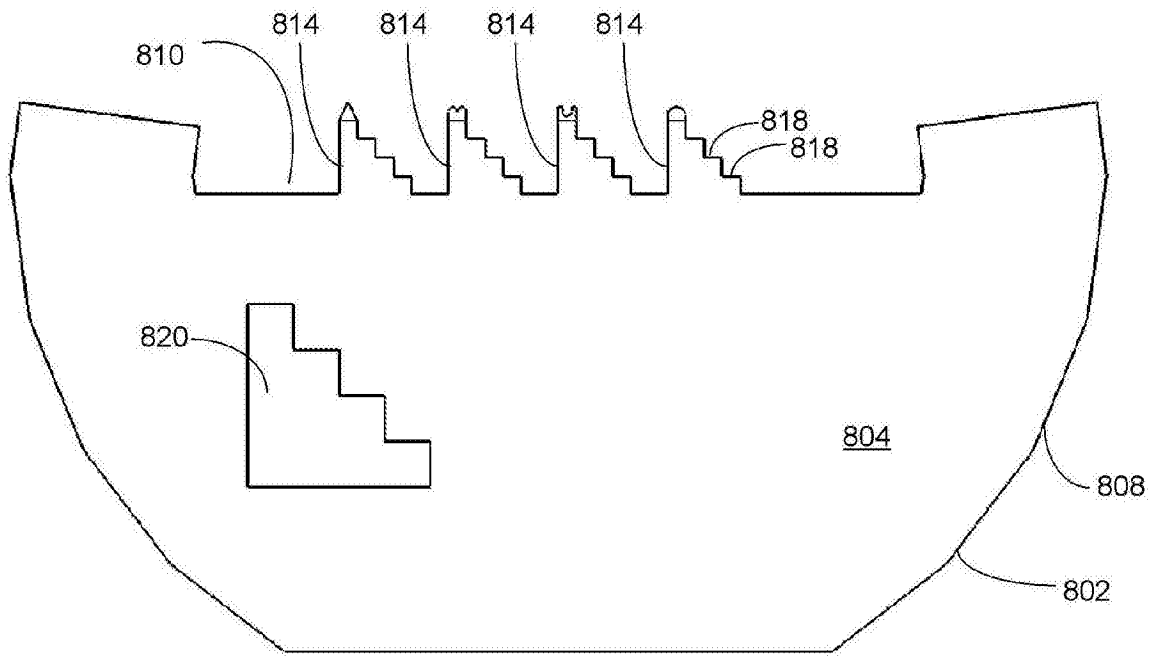


图 8A

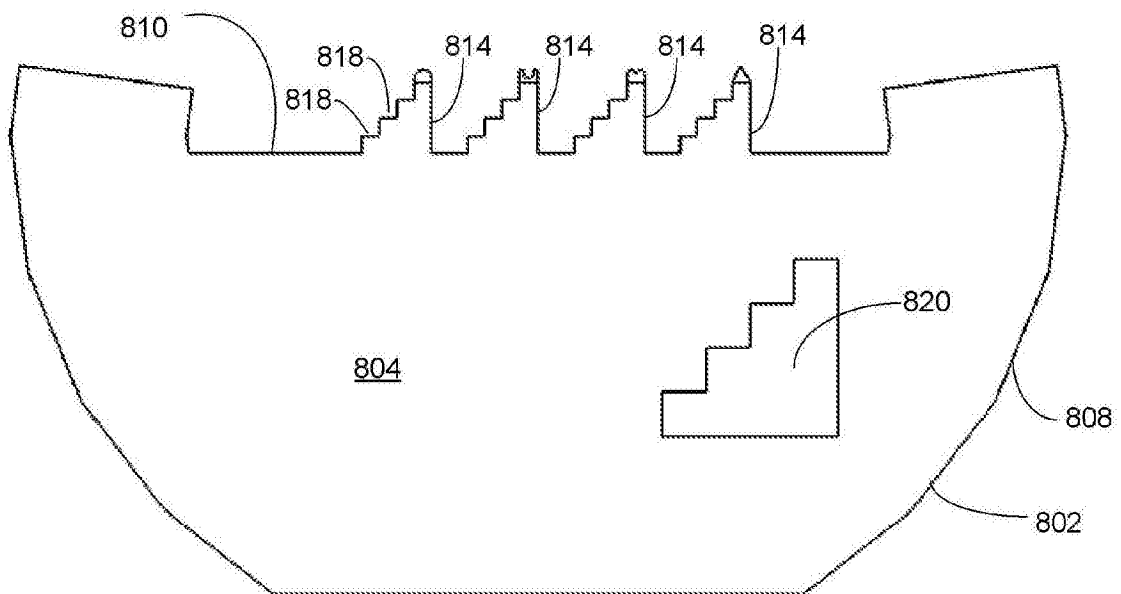


图 8B