



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103367087 B

(45)授权公告日 2017. 10. 20

(21)申请号 201310104256.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2013.03.28

H01J 37/305(2006.01)

H01J 37/30(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103367087 A

审查员 李荣荣

(43)申请公布日 2013.10.23

(30)优先权数据

13/436916 2012.03.31 US

(73)专利权人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 T.米勒 S.克罗格 J.兹布拉内克

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 蒋骏 刘春元

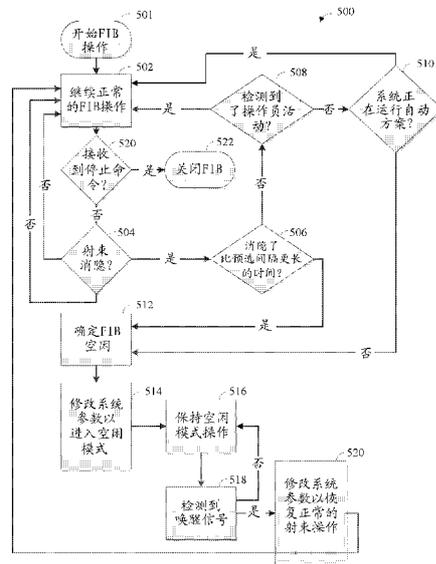
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

自动化离子束空闲

(57)摘要

一种用于关闭和恢复离子束系统中的离子束的改进的方法和设备。优选实施例提供了一种用于改善对聚焦离子束源的功率控制的系统,其利用自动检测带电粒子射束系统何时空闲(即射束本身未在使用中),并且之后使射束电流自动降低至在离子柱中的任何孔径面处发生很少或不发生离子铣削的程度。优选实施例包括控制器,其可操作成在检测到带电粒子射束系统的离子源的空闲状态时修改施加到提取器电极的电压和/或降低施加到源电极的电压。



1. 一种带电粒子射束系统,包括:
  - 聚焦离子束源,其具有:
  - 等离子体腔;
  - 射频(RF)电源,被连接到放置在所述等离子体腔外侧的RF天线以将RF能量传输到所述等离子体腔中来通过激励所述腔中的气体来创建等离子体;
  - 气体源,被连接到所述等离子体腔以用于将气体供应到所述等离子体腔;
  - 源电极,用于将所述等离子体电偏置到高压;以及
  - 提取器电极,用于从所述等离子体提取离子;
  - 离子柱,其包括用于将来自聚焦离子束源的带电粒子聚焦到样本上的一个或多个聚焦透镜;以及
  - 系统控制器,用于:
    - 检测带电粒子射束系统的空闲状态;以及
    - 响应于检测所述空闲状态,通过继续将RF能量传输到所述等离子体腔中来维持所述等离子体腔中的等离子体,以及在已经检测到空闲状态时修改施加到源电极和/或提取器电极的电压以防止离子沿所述柱向下通过。
2. 根据权利要求1所述的带电粒子射束系统,其中,所述聚焦离子束源包括电感耦合等离子体源。
3. 根据权利要求1或权利要求2所述的带电粒子射束系统,其中,修改电压包括保持提取器电极上的足以从所述源提取离子的电压以及在已经检测到空闲状态时降低施加到源电极的电压,以防止离子沿所述离子柱向下通过。
4. 根据权利要求3所述的带电粒子射束系统,其中,保持提取器电极上的电压包括保持提取器电极和源电极之间的相对电势,同时降低施加到源电极的电压,使得离子不被加速经过所述离子柱。
5. 根据权利要求1或权利要求2所述的带电粒子射束系统,还包括射束消隐器,其用于在带电粒子射束处于操作中的同时使离子束消隐,使得离子不到达样本。
6. 根据权利要求5所述的带电粒子射束系统,其中,检测所述带电粒子射束系统的空闲状态包括:
  - 确定射束是否被消隐;
  - 如果是,那么确定射束是否已经消隐了比预选时间更长的时间;以及
  - 如果射束已经消隐了比预选时间更长的时间,那么确定所述带电粒子射束系统空闲。
7. 根据权利要求1或权利要求2所述的带电粒子射束系统,还包括一个或多个操作员输入装置,并且其中,检测所述带电粒子射束系统的空闲状态包括:
  - 确定在预选时间段内是否检测到任何操作员输入;
  - 如果没有,那么确定带电粒子射束系统是否正在运行自动方案;以及
  - 如果在预选时间段内尚未检测到操作员输入,并且如果未正运行自动方案,那么确定带电粒子射束系统空闲。
8. 根据权利要求3所述的带电粒子射束系统,其中,所述聚焦离子束源包括电感耦合等离子体源。
9. 一种控制带电粒子射束系统的方法,所述带电粒子射束系统具有聚焦离子束源和离

子聚焦柱,所述聚焦离子束源包括等离子体腔、射频(RF)电源、被连接到所述等离子体腔以用于将气体供应到所述等离子体腔的气体源、源电极、提取器电极,所述射频(RF)电源被连接到放置在所述等离子体腔外侧的RF天线以将RF能量传输到所述等离子体腔中来通过激励所述腔中的气体来创建等离子体,所述方法包括:

自动检测聚焦离子束源的空闲状态;以及

在检测到空闲状态时,自动修改供应给源电极的电压和/或供应给提取器电极的电压,以防止离子穿过所述离子聚焦柱,同时通过继续将RF能量传输到所述等离子体腔中来保持所述等离子体腔中的等离子体。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述带电粒子射束系统包括射束消隐器,并且其中,自动检测所述聚焦离子束源的空闲状态包括:

自动确定射束是否被消隐;

如果是,那么确定射束是否已经消隐了比预选时间更长的时间;以及

如果射束已经消隐了比预选时间更成的时间,那么确定所述带电粒子射束系统空闲。

11. 根据权利要求9或权利要求10所述的方法,其中,所述带电粒子射束系统包括一个或多个操作员输入装置,并且其中,自动检测所述聚焦离子束源的空闲状态包括:

自动确定在预选时间段内是否检测到任何操作员输入;

如果没有,那么确定所述带电粒子射束系统是否正在运行自动方案;以及

如果在预选时间段内尚未检测到操作员输入,并且如果未正运行自动方案,那么确定所述带电粒子射束系统空闲。

12. 根据权利要求9或权利要求10所述的方法,其中,修改电压包括保持提取器电极上的足以从所述源提取离子的电压以及在已经检测到空闲状态时降低施加到源电极的电压以防止离子沿所述离子柱向下通过。

13. 根据权利要求9或权利要求10所述的方法,还包括确定是否已经接收到唤醒信号,并且如果是,则自动修改供应给源电极的电压和/或供应给提取器电极的电压,以使离子从离子源中被提取,并使离子加速经过所述离子聚焦柱。

14. 根据权利要求9或权利要求10所述的方法,其中,所述带电粒子射束系统包括电感耦合等离子体源。

## 自动化离子束空闲

### 技术领域

[0001] 本发明涉及聚焦离子束源,并且更具体而言,涉及控制提供到聚焦离子束源的功率的手段。

### 背景技术

[0002] 聚焦离子束(FIB)系统被用在集成电路制造和纳米技术的各种应用当中,以创建和更改微米测量级和纳米测量级的结构。FIB系统可以使用各种源来产生离子,例如,等离子体源或液态金属离子源(LMIS)。LMIS能够提供高分辨率处理,即,小的斑点尺寸,但是通常产生低射束电流。直到最近,才知道有等离子体系统使用更高的射束电流,并且因而允许更快的材料处理,但是其无法被聚焦到足够小的斑点尺寸以便对纳米级结构起作用。然而,最近已经开发出了能够提供窄能量范围内的带电粒子的电感耦合等离子体(ICP)源,其允许将粒子聚焦到小的斑点。Keller等在题为“Magnetically Enhanced, Inductively Coupled Plasma Source for a Focused Ion Beam System”的美国专利No. 7241361中描述了这样的ICP源,该专利被转让给本发明的受让人,并且通过引用将其并入本文。

[0003] 在使用常规的基于聚焦离子束(FIB)的系统时,情况往往是,所述系统将被使用,但是之后在再次需要离子束之前将需要使系统在一定的时间段内空闲。在这种情况下,通常使射束“消隐(blank)”,而不是完全关闭射束。这主要是由于在重新开启脉冲时所需的建立时间的原因,在一些情况下该建立时间可能长达一个小时。射束消隐通常是通过静电“射束消隐器”所实现的,所述“射束消隐器”可以由处于显微镜柱内的金属板(具有从~5mm到10cm的长度)构成,所述金属板具有使射束通过的小间隙(~0.25mm到~2mm),在向一个板施加电压(从~5v到~400v),同时使另一个板保持在接地电势时,将使射束偏转。射束消隐器紧接地位于孔径板的上游,所述孔径板具有用于射束的小开口。在向射束消隐器施加电压时,由于射束的偏转使其错过了随后的孔径板内的开口,因而使射束消隐(防止其到达样本)。这导致了射束撞击孔径板,或甚至撞击射束消隐板。

[0004] 在使离子束消隐时,由此防止其撞击样本(并防止引起对样本的非故意损害),但仍然一直生成射束,并在所述柱中引起损耗。在使射束消隐时,射束正撞击的射束消隐板和孔径板本身受到离子束的缓慢破坏。很多FIB系统还包括在所述柱内处于消隐面(例如,射束接受孔径)之上的其他孔径,该其他孔径在射束处于操作中时也一直受到撞击并且受到缓慢破坏。

[0005] 尽管射束消隐引起了对孔径的一定程度的破坏,以及对所述柱本身的其他损耗,但是通常已经将其看作比完全关闭离子源是更期望的。在LMIS中,在完全关闭离子源时,离子倾向于在热量上变得完全冷却。对于等离子体源而言,往往通过熄灭等离子体来关闭所述源。在任何一种情况下,重新开启射束涉及在工具将可靠地操作之前的一定时间段的建立时间。在一些情况下,这一建立时间可能多达一小时。因而,由于使系统关闭、重新开启、以及然后返回到操作稳定状态所需要的很长时间量,现有技术FIB系统的操作员当中存在着在不使用所述FIB系统时就让它开启着的倾向。

[0006] 因此,所需要的是一种用于在LMIS或ICP系统中关闭离子束的改进的方法和设备,其不对处于消隐平面之上的孔径造成损害,并且不需要在一旦恢复离子束时用于系统进行建立的不可接受的时间。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种用于关闭和恢复离子束系统中的离子束的改进的方法和设备。优选实施例提供了一种用于对聚焦离子束源的改进功率控制的系统,其利用自动检测带电粒子射束系统何时空闲(射束本身未在使用中),并且之后使射束电流自动降低至在离子柱中的任何孔径面都处发生很少或不发生离子铣削的程度。

[0008] 上文相当已经相当宽泛地概述了本发明的特征和技术优势,以便更好地理解随后的本发明的详细描述。在下文中将描述本发明的额外的特征和优点。本领域技术人员应当认识到,可以容易地利用所公开的构思和具体实施例作为基础以便修改或者设计出用于实现本发明的相同的目的的其他结构。本领域技术人员还应当认识到这样的等价构造并不背离如所附权利要求中阐述的本发明的精神和范围。

### 附图说明

[0009] 为了更加透彻地理解本发明及其优点,现在对结合附图进行的以下描述做出参考,其中:

[0010] 图1示出了使用法拉第屏蔽来降低的耦合以及使用绝缘流体来进行高压隔离和冷却的等离子体源的纵向截面示意图;

[0011] 图2示出了使用电感耦合等离子体源的带电粒子聚焦离子束系统;

[0012] 图3示出了描绘现有技术聚焦离子束系统中使用的常规射束消隐设备的示意图;

[0013] 图4示出了使用液态金属离子源(LMIS)的带电粒子聚焦离子束系统;以及

[0014] 图5示出了根据本发明的管理提供到带电粒子射束系统的功率的优选方法。

[0015] 附图意图辅助理解本发明,并且除非另行指出,否则附图不是按比例绘制的。在附图中,通过同样的数字来表示各幅图中所图示出的每个相同或几乎相同的部件。为了清楚起见,并非在每幅图中对每个部件都做了标记。

### 具体实施方式

[0016] 优选实施例提供了一种系统,其用于在离子束空闲时防止离子穿过离子束系统中的离子柱,并且用于在再次需要离子束时,在不需要能够使离子束可靠地操作之前的大范围的建立时间的情况下恢复离子束。根据优选实施例,可以使用自动功率控制系统来自动检测带电粒子射束何时空闲,并且然后将射束电流降低到在离子柱中的任何孔径平面处都发生很少或不发生离子铣削的程度。在带电粒子射束系统准备好进行带电粒子射束的额外操作时,能够在很好或没有建立时间的情况下提高射束电流,如下文更详细地描述的。

[0017] 根据本发明的实施例能够采用检测射束何时空闲的各种方法。如文中中使用的,术语“空闲”被用于指代射束未正被用于诸如铣削或成像的样本处理的状况。这些确定射束何时真正空闲的方法可以被单独采用,或者可以在相同系统中被一起采用。例如,如果使射束在长于预选间隔的时间段内保持消隐,或者如果在预选时间段内不存在对系统的操作员

输入(通过键盘或者指示装置),那么可以将所述系统视为空闲。在使用不存在操作员输入来确定系统是否空闲时,还必须确认系统未正在运行不需要操作员干预的自动方案。而且,即使射束保持消隐,也可以检测各种类型的活动(例如,台的移动或者任何类型的自动样本加载装置的操作),并将其用来确定射束操作是否即将来临,并且如果是,那么将系统视为未空闲。

[0018] 优选地,如果确定系统空闲,那么系统可以进入“空闲状态”,在该状态下,对至少一个参数进行调整,从而使射束电流降低到在任何孔径面处都发生很少或不发生带电粒子射束铣削的程度。例如,可以通过熄灭用于ICP系统的等离子体或者通过关闭LMIS系统中的源来实现射束电流的这种降低,但是在这些情况当中的任何一种情况下,重新启动射束都需要可以可靠操作所述源之前的一定量的建立时间。用于对等离子体重新点火的建立时间可以多达一个小时,而重新启动LMIS首先需要可能花费5-10分钟的启动例行程序,之后是另一个5-10分钟的额外建立时间。即使在建立时间只需要额外的10-20分钟的情况下,所浪费的时间在高吞吐量非常宝贵的很多类型的材料加工方面是并非微不足道的。因此,长久以来FIB系统操作的最佳实践就是只要系统处于操作中就使一切都保持开启并且保持稳定。几个小时的消隐时段并不罕见,其可能导致处于射束阻挡器之上的柱中且在持续轰击下的电极和孔径受到大量损害。

[0019] 然而,申请人已经发现,通过仅防止就算不是所有也是大多数的离子沿着所述柱向下被加速,能够实现关闭离子源的就算不是所有也是大多数的的好处。对于等离子体系统而言,例如,代替使等离子体熄灭,可以通过使提取电极上的电压坡降至零(相对于等离子体),来建立根据本发明的优选实施例的空闲状态。因此,将不再从等离子体提取离子并沿所述柱向下对其加速。如在下文更详细地描述的,这消除或者极大地降低了任何所需的建立时间,同时还使射束消隐器上方的柱中的孔径免受消隐离子束的损害。在优选实施例中,可以基于射束确实空闲的确定来自动建立这种空闲状态,如下文还要描述的。

[0020] 图1示出了等离子体源100的程式化纵向截面图。等离子体源100包括具有内壁104和外壁106的介电等离子体腔102。等离子体腔102放置在导电底座110上。使等离子体112保持在等离子体腔102内。如以下更详细所述的,提取光学部件114根据应用通过等离子体腔102中的开口116和底座110中的开口118从等离子体112中提取带电粒子、离子或电子。优选具有以最低损耗发送射频能量的陶瓷或塑料材料的构成的的介电外壳120与等离子体腔102同心,并且在外壳120和等离子体腔外壁106之间限定了空间122。分裂法拉第屏蔽134位于空间122中,并且其通常与等离子体腔102同心。泵124将冷却流体126从贮存器/冷却器127通过冷却流体入口128泵送至空间122,并使冷却流体通过出口132离开,从而通过与外壁106的热转移来冷却等离子体腔102。

[0021] 通常将分裂法拉第屏蔽134固定至接地电势,并且因此电势在等离子体区域和分裂法拉第屏蔽之间迅速下降,因而等离子体区域和分裂法拉第屏蔽之间的材料必须具有足够大的介电强度来抵抗电弧放电。可以将冷却流体选择为与陶瓷外壳102的材料相比具有足够高的介电常数,使得跨越流体的电压降是足够低的,以防止操作电压下的介电击穿。将液体冷却剂选择为没有气泡或者其他杂质,气泡或者其他杂质可能为场增强和气体放电呈现机会。可以将冷却流体选择为稍具导电性,在这种情况下,流体体积将基本上没有电场,并且基本上所有的电压降都将发生在等离子体腔102内。冷却流体还应当具有足够的热容

量,以在不需要大的流体流量的情况下防止等离子体腔102过热,大的流体流量需要将会消耗过多功率的大型泵。通常使等离子体腔外壁106保持在小于大约50°C的温度下。

[0022] 法拉第屏蔽134在降低射频线圈136和等离子体112之间的电容耦合的同时传递来自RF线圈136的射频能量,以激励等离子体。在一些实施例中,通过将法拉第屏蔽134基本上封装在诸如陶瓷、玻璃、树脂或聚合物的固体介电介质中以消除法拉第屏蔽与不希望的流体相接触以及消除高压放电,来使法拉第屏蔽免受腐蚀和物理损害。RF线圈136可以是中空的,并且可以通过使流体冷却剂流过线圈中的内部通道137来使RF线圈136冷却。等离子体腔冷却剂系统还可以泵送流体冷却剂通过线圈,或者线圈可以具有独立冷却系统。

[0023] 将气体从诸如罐150的气体源提供给等离子体腔102。罐150通常被保持在接地电势下,并且含有处于高压的气体。调节器152降低离开罐进入管道154的气体的压力。任选的可调节阀门156在所述源不在使用中时进一步降低气体线路中的压力或者完全关闭管道。诸如毛细管158的流量限制器在气体到达等离子体腔106之前进一步降低气体压力。限制器158在气体线路和等离子体腔102的内部之间提供期望的气体传导。限制器158优选与等离子体112电接触,并且因而也处于等离子体电势。在其他实施例中,流量限制可以具有从等离子体以外的电压源施加的电偏置。绝缘屏蔽160围绕毛细管158,并且处于绝缘屏蔽160的端部的接地金属套环162确保气体的电势在该位置为零。因而,在绝缘屏蔽160内发生了从接地到等离子体电压的全电势变化,在所述绝缘屏蔽160中气体处于相对高的压力,并且因此对电弧放电有抵抗力。

[0024] 在没有阀门156的一个示范实施例中,调节器152使离开供应罐的气体的压力从150psig(磅每平方英寸(表压))降至5psig。气体压力保持在5psig下,直到气体到达毛细管158为止,并且在该点处气压降至例如0.1Torr的等离子体腔压力。绝缘屏蔽160优选具有足够的长度,以保持场足够低,以防止损害性放电。绝缘屏蔽160典型地为大约至少5mm长,并且更典型地处于大约30mm和60mm之间。例如,如果使等离子体保持在30kV下,那么处于10mm的屏蔽内的电场大约为3kV/mm,其在大多数应用中是足够低的以防止持续放电。本领域技术人员将理解,局部电场将随几何结构而变,并且可能发生最初的低电流放电,从而在绝缘屏蔽160内达到静电荷平衡。在一些实施例中,阀门156可以远在气体到达等离子体前的最终限制器之前降低气体压力。替代毛细管,流量限制器可以是诸如泄漏阀的阀门。可以使用任何类型的气体源。例如,所述气体源可以包括液体或固体材料,其被加热以产生足够速率下的气体,以供应给等离子体。不同的气体源的不同输出压力可能需要不同的部件来使压力降低到等离子体腔中所需要的压力。

[0025] 图2是具有电感耦合等离子体(ICP)离子源的粒子光学设备200的示意图,所述离子源包括根据本发明的优选实施例的自动功率控制系统。气体管线202可以包括一个或多个气体供应204,每一气体供应具有其自身的流量和/或压力调节器206。气体供应204可以包括各种不同气体,或也可以是同一种气体的多重源。可以通过自动打开气体供应204的相应流量阀门208来独立地选择每个气体供应204。单个流量阀门的激活对应于期望单个气体种类的情况,而一个以上的流量阀门的同时激活对应于期望气体混合的情况。然后通过最终流量阀门210调节单个气体或气体混合,所述最终流量阀门210通向通往等离子体源管220的供气管212,等离子体在所述等离子体源管220内生成。替代地,可以将等离子体源管称为等离子体腔。压力计214监测供气管212中的气体压力。可以由源涡轮泵266通过放气阀

268对供气管212排气。源涡轮泵266还可以将不希望的污染物,例如,来自所形成的涂层的微粒,从源管220中泵送出。

[0026] 通过RF电源223提供RF功率,并将其通过匹配箱222馈送至等离子体管220,所述匹配箱222被连接至围绕源管220的RF天线224。分裂法拉第屏蔽(未示出)优选放置于天线224和等离子体管220之间,以降低电容耦合,由此降低所提取的带电粒子的能量扩展度,并且允许将粒子聚焦到更小的斑点。RF电源223还可以按照“平衡”的方式向所述天线施加功率,如美国专利No. 7241361中所述的,从而进一步降低所提取的射束中的粒子的能量扩展度。在等离子体源管220的底部附近,使源电极226偏置到高压,从而向来自等离子体的离子施加高压。将偏置源电源264连接至源偏置电极226,并通过点火器258发动等离子体。在要生成电子束或者负离子束时使源偏置电极偏置到大的负电压,或者在要生成正离子束时使源偏置电极偏置到高的正电压。例如,在提取用于离子束铣削的离子时通常使等离子体偏置到大约正30kV;在提取用于EDS分析的电子时或者在提取用于二次离子质谱分析的负离子时,通常将等离子体偏置到大约负20kV和负30kV之间;以及在提取用于形成扫描电子束图像的电子时,通常将等离子体偏置到大约负1kV和负10kV之间。使用具有分裂法拉第屏蔽和平衡天线的ICP来降低射束能量扩展度促进了更高分辨率射束的产生,该射束适用于一些应用,其中大的斑点尺寸将是不适当的。

[0027] 通过电源260对聚焦柱250中的提取器电极228进行偏置,电源260以偏置源电源264的输出电压为参考。提取器电极电源260可以是双极电源。通过电源262对所述柱中的聚光器(condenser)电极230进行偏置,电源262也以偏置源电源264的输出电压为参考,并且器也可能是双极电源。由于提取器电极228上的相对于源偏置电极226上的电压的偏置电压在源管220的下端处感生了高电场,因而从源管220中所含有的等离子体中提取了离子。从源管220中提取的离子通过源偏置电极226中的开口或孔径向下排出,从而形成了进入光学柱250的带电粒子射束(未示出)。

[0028] 所述柱内的两个静电单透镜232和234被示为用于将离子束聚焦到安装在台282上的样本280上,所述台282受到样本室284的底部的台控制288的控制;然而,透镜的确切数量和类型并不是本发明的部分。样本室涡轮泵286确保通过去除过多的气体粒子而在室284和柱250内保持真空。还可以使用涡轮泵286来从柱250和/或样本室284中去除污染物。分别通过高压电源233和235来控制静电透镜232和234。透镜232和234也可以是双极透镜。

[0029] 将射束限定孔径组件240安装到离子柱中的第一单透镜232和第二单透镜234之间,所述组件240包括一个或多个射束限定孔径(图1中示出三个孔径)。通常,所述射束限定孔径组件240将包括具有不同直径开口的多个圆形孔径,其中可以将它们当中的任何一个放置在光轴上,以能够实现对基板表面处的射束电流和半角的控制。替代地,所述射束限定孔径组件240中的两个或更多孔径可以是相同的,从而提供能够延长孔径维护周期之间的时间的冗余度。可以基于所要执行的铣削或成像操作的空间分辨率要求,通过控制射束半角以及透镜的对应调整来选择基板表面处或附近的聚焦离子束的射束电流和直径。通过借助于由FIB系统控制器272控制的射束限定孔径(BDA)致动器242进行射束限定孔径组件240中的期望孔径在所述柱的光轴上的机械定位,来确定所要使用的特定孔径(并且因此确定基板处的射束半角)。

[0030] 图3是描绘了聚焦离子束系统中使用的常规射束消隐设备300的示意图。如上所

述,通过消隐器控制246来控制使带电粒子射束302偏转的射束消隐器偏转板244,并且将所述射束消隐器偏转板244实现在所述柱250内。射束消隐器偏转板244直接位于孔径板245的上游,所述孔径板245具有用于射束的小开口249。在向射束消隐器244施加电压时,由于射束303的偏转使其错过了随后的孔径板245中的开口249,因而使射束303消隐(防止其到达样本)。这导致了射束303撞击到孔径板,或甚至撞击到射束消隐板。替代地,所述孔径板245能够形成法拉第筒,其可以被用来测量射束电流。

[0031] 再次参考图2,可编程逻辑控制器(PLC)256为RF电源223和点火器258提供控制和自动化。等离子体源控制器270控制ICP离子源、离子提取光学部件以及包括谱仪290在内的任意的其他系统部件的各个电压,并且控制PLC 256。等离子体源控制器270还能够向聚焦离子束(FIB)系统控制器272提供来自PLC 256和谱仪290的反馈。FIB系统控制器272全面负责带电粒子设备200的适当操作,如由图2中示意性示出的各种控制链路所说明的。

[0032] 例如,FIB系统控制器272能够控制射束接受孔径(BAA)致动器238、高电压透镜电源233和235、BDA致动器242、消隐器控制246、静电计248、谱仪290、台控制288和等离子体源控制器270,所述等离子体源控制器270转而控制如上文所述的其他部件。用户可以向FIB系统控制器272或者等离子体控制器270输入某个操作参数组,诸如预定义强度水平或者预定义最大功率,并且这些控制器能够改变诸如RF功率、流量和压力设置的某些系统参数,使得等离子体的性质与预定参数组匹配。用户还可以输入诸如射束电流、透镜电压、射束接受角、滤质器偏转角、电极电压以及射束消隐器偏转角的期望操作参数,使得FIB系统控制器272将对所述设备的所述参数进行监测和调整,以匹配期望参数。本领域技术人员将认识到可以利用计算机容易地实现这一输入,或者通过另一输入装置直接向系统控制器实现这一输入。

[0033] 图4示出了根据本发明的优选实施例的适于与自动功率控制系统一起使用的带电粒子聚焦离子束系统中的液态金属离子源(LMIS)组件400。通过电丝413悬置的LMIS 412包括针状发射器414和被示为包含在贮存器416中的液态金属的供应。选择贮存器416的容量和液态金属的量,以确保其不会变成所述源的寿命限制因素。液态金属从贮存器416中流出来,并以薄膜的形式沿着发射器414向下,这里以多个液滴418表示所述薄膜。在液态金属到达发射器414的端部时,通过提取电极422从发射器提取金属离子,并使其在方向420上向工件加速。通过沿着源412向下的液态金属原子的流量、提取器电极或提取筒422的电势以及电流控制或抑制电极424的电势之间的相互作用来控制离子电流。一旦从LMIS提取了离子,就通过样本和所述源之间的电势使其加速经过所述柱。

[0034] 在离子离开发射器414时,使它们形成为射束426。射束426在其离开所述源时扩展,从而形成了具有在发射器414的尖端处的锥形顶点的发射锥形428。在离子朝向工件420移动时,射束426穿过射束限制和提取构件中的多个孔径。这些孔径中的每个限制了通常被称为射束直径的外包络。射束426通过顶部孔径430传递到提取筒422中。屏蔽432具有比提取电极顶部孔径430小的底部孔径434,其只允许射束426的中央部分通过。穿过屏蔽底部孔径434的射束426的部分撞击提取筒422的底板436。

[0035] 底板含有射束限定孔径或BDA 438。通常使用术语射束限定孔径(BDA)来描述盘状元件本身以及穿过所述元件的洞或孔径439。BDA中的孔径439明显小于所述布置中的其他孔径,并因此只允许初始射束中的一小部分穿过到工件。射束的大部分撞击屏蔽432和BDA

438。一旦离子穿过BDA,就将其聚焦到常规聚焦离子柱(未示出)中的工件上。诸如图3中所示的设备的常规射束消隐设备通常将被实现为具有聚焦离子柱,并且被用于使射束消隐。

[0036] 图5示出了根据本发明的管理提供到带电粒子射束系统的功率的优选方法。在图5的一些实施例中,方法500通过带电粒子射束系统是可操作的,所述带电粒子系统包括聚焦离子束源、用于对来自聚焦离子束源的带电粒子聚焦的一个或多个聚焦透镜、提取器电极和系统控制器。在一些实施例中,所述聚焦离子束源可以是包括等离子体离子腔和源偏置电极的ICP源。在其他实施例中,所述离子束源可以是LMIS,其具有针状发射器414和可以将电压施加到的液态金属供应。

[0037] 根据图5的优选方法500,在步骤501中开始FIB操作。根据本发明的优选实施例,可以使用任何类型的FIB系统,包括使用ICP源的等离子体FIB系统或者使用液态金属离子源(LMIS)的FIB系统。可以将本发明的实施例有利地应用于任何类型的带电粒子射束系统,其中处于射束消隐器上方的柱部分在带电粒子源的操作期间受到损害。实际上,本发明的优选实施例可以被应用于根本不采用或者包括射束消隐器的离子束系统中,因为在利用本发明时针对射束消隐器的主要用途之一将是不必要的。

[0038] 一旦射束系统处于正常操作模式,那么所述系统能够自动确定是否应当将所述系统置入到空闲模式中。步骤504到510图示出了一种用于确定所述系统是否空闲的可能方法,但是也可以采用其他方法。在步骤504中,确定射束是否已经被消隐。在没有正通过诸如图3中所示的射束消隐器的射束消隐器来将离子引导到样本时,离子束被消隐。如果不是这样,那么所述系统继续正常FIB操作。然而,一旦射束被消隐,那么计时器开始测量射束已经被消隐的时间。在射束的实际操作期间(例如,在将射束移动到样本表面上的不同点时),射束被消隐是常见的。操作期间的消隐通常持续非常短的间隔。也可能存在该仪器执行一些其他操作的时间段(例如,移动样本台或者操作多射束系统中的另一射束柱)。因此,操作员通常希望选择系统将进入空闲模式之前的稍微更长的时间段。在一些优选实施例中,预选时间将为几个小时左右,但是可以根据情况选择更长或者更短的时间。

[0039] 在步骤506中,确定射束是否已经消隐了比预选间隔(在进入空闲模式之前允许射束保持空闲的时间)更长的时间。在计时器正运行的同时,如果射束解除了消隐,那么将优选使计时器复位,并在射束再一次被消隐时再次开始运行。如果是,那么在步骤512中做出FIB空闲的确定。如果不是,那么可以采取任选的附加步骤来确定射束是否实际上空闲。在步骤508中,确定是否检测到任何操作员活动。操作员输入的范例为带电粒子射束系统的键盘活动或者带电粒子射束系统的鼠标指示装置的活动。如果检测到操作员活动,那么其指示FIB系统并未空闲,并且将继续正常操作。如果未检测到操作员活动,那么在步骤510中确定仪器是否正在运行自动方案,该自动方案将往往不需要任何操作员干预。如果这样的自动方案正在运行,那么也指示FIB系统并未空闲,并且将继续正常操作。在一些实施例中,还可以在确定FIB系统空闲之前使用计时器来确定是否在预选的时间内尚未存在操作员输入。

[0040] 在本发明的一些优选实施例中,可以使用任选的步骤508到510代替步骤504到506,而不是在这些步骤之外使用。在本发明的其他优选实施例中,可以替代上文所述的方法,或者在那些方法之外,使用确定空闲状态的额外的方法。例如,可以借助于自动方案自动进入空闲模式(在所述方案中的其他步骤将取得保证进入空闲模式的足够时间时)。也可

以借助于操作员指示(例如,“空闲”按钮)进入空闲状态,其中将自动执行对一个或多个射束参数的修改。

[0041] 如果射束已经消隐了比预选时间更长的时间,并且任选地如果也没有操作员活动,那么在512中做出FIB空闲的确定。在该点上,在步骤514中,能够对某些系统参数进行修改,从而将射束柱置入到空闲模式中,该空闲模式最小化或消除对射束消隐器上方的柱的损害。如上所述,被修改的确切系统参数将部分取决于所使用的FIB源的类型,是ICP还是LMIS。在一些优选实施例中,一旦做出系统空闲的确定,那么可以将通知和“中止”按钮在屏幕上显示一段时间,从而给予操作员阻止系统进入空闲模式的机会。如果用户在所分配的的时间内未响应,那么可以将系统置入到空闲模式中,并例如在计算机显示屏上显示指示系统状态的通知。

[0042] 一旦系统处于空闲模式,那么在516中其将保持该状态,直到其接收到信号来唤醒为止。唤醒信号可以是任何适当的信号,包括实际的唤醒按钮或“射束开启”指示(以硬件或软件执行的)或者实际上任何类型的操作员输入(例如,移动鼠标或者敲击键盘上的按钮)。一旦在518中检测到唤醒信号,就将在520中对系统参数进行修改,从而恢复正常的射束操作(如下文更详细描述)。一旦对参数已经被修改,在502中FIB系统可以继续正常操作。一旦已经完成了样本处理,操作员可以输入停止或关闭命令。一旦在524中接收到了停止命令,在522中完全关闭系统。

[0043] 可以通过图2的LMIS系统中的FIB系统控制器272或者图4的LMIS系统中的类似控制器(未示出)来执行方法500。

[0044] 如上文讨论的,被修改以将FIB系统置入到空闲模式的确切系统参数将取决于所使用的FIB系统的类型。对于ICP系统而言,已经通过熄灭等离子体来常规地停止沿所述柱向下的离子流量。虽然这在防止对柱孔径损耗方面的确有效,但是其以较高的代价得到。一旦要对等离子体重新点火所需要的建立时间可能多达一个小时。然而,申请人已经发现,使等离子体保持被点火,但是使提取器电压坡降,消除或者至少极大地降低沿所述柱向下的离子流量,而在恢复提取器电压时几乎不需要建立时间。因而,在本发明的优选实施例中,ICP FIB系统可以通过使提取器电极上的电压坡降而进入空闲模式。典型地,在现代FIB系统中,施加到提取器电极的电压“浮置”在加速电压上,这意味着提取器电压是相对于加速电压来设置的。在这样的系统中,将使提取器的电压从提取电压(例如,18kV)坡升至加速电压(例如,30kV)。由于提取电极上的电压将然后匹配等离子体源的电压,因而在两者之间将不存在将离子朝向提取器电极吸引的电势。

[0045] 在一些优选实施例中,也可以使加速电压坡降,使得样本和所述源之间没有电势。在提取电压浮置在加速电压上的系统中,可以在使提取器电压坡降之外或者对其替代而在加速电压上发生改变。然而,如果所述两个电压完全分离,那么如果关闭加速电压或者使其极大地降低以便避免电弧,则将很可能需要对提取器电极电压做出一些调整。优选对两个电压上的降低进行协调,使得两者之间的相对电压不超过预定差。

[0046] 对于具有LMIS的FIB系统而言,情况将略有不同。对于LMIS而言,存在与关闭从锥形提取离子并且然后重新开启发射相关联的一些显著的建立时间。典型地,这一建立时间约为5-10分钟,这是期望高吞吐量的情况下的并非微不足道的时间量。而且,在将LMIS本身关闭的情况下,其将变冷并且在可以使用所述源之前需要完成启动例行程序。启动例行程

序的完成也需要大约5-10分钟。然而,申请人已经发现,存在很少或没有与改变加速电压相关联的建立时间。通过降低或者消除LMIS尖端上的电压,同时保持提取电压(相对于加速电压)不改变,仍然将离子从所述源一直提取到提取面。由于不存在将离子下拉通过所述柱的其余部分的电势,因而离子根本不经过所述提取面,或者如果它们经过,它们也不以非常强的力撞击所述柱中的其他电极或孔径。在供LMIS系统使用的本发明的优选实施例中,降低或者消除加速电压,以便将系统置入到空闲模式中,同时保持引起来自LMIS锥形的离子发射的提取电压。

[0047] 根据本发明的一些实施例,带电粒子射束系统包括:聚焦离子束源,所述聚焦离子束源具有离子源、用于将所述源电偏置到高压的源电极、以及用于从所述源提取离子的提取器电极;离子柱,其包括用于将来自聚焦离子束源的带电粒子聚焦到样本上的一个或多个聚焦透镜;以及系统控制器,用于检测带电粒子射束系统的空闲状态以及在已经检测到空闲状态时修改施加到源电极和/或提取器电极的电压以防止离子沿所述柱向下通过。

[0048] 在本发明的一些实施例中,所述聚焦离子束源包括电感耦合等离子体源。在一些实施例中,所述聚焦离子束源还包括聚焦离子束液态金属离子源。在一些实施例中,修改电压包括保持提取器电极上的足以从所述源提取离子的电压以及在已经检测到空闲状态时降低施加到源电极的电压,以防止离子沿所述离子柱向下通过。

[0049] 在本发明的一些实施例中,保持提取器电极上的电压包括保持提取器电极和源电极之间的相对电势,同时降低施加至源电极的电压,使得离子不被加速经过所述离子柱。

[0050] 在一些实施例中,所述带电粒子射束系统还包括射束消隐器,其用于在带电粒子射束处于操作中的同时使离子束消隐,使得离子不到达样本。在一些实施例中,检测带电粒子射束系统的空闲状态包括确定射束是否被消隐;如果是,那么确定射束是否已经消隐了比预选时间更长的时间;并且如果射束已经消隐了比预选时间更长的时间,那么确定所述带电粒子射束系统空闲。

[0051] 在一些实施例中,所述带电粒子射束系统还包括一个或多个操作员输入装置,并且其中,检测带电粒子射束系统的空闲状态包括确定在预选时间段内是否检测到任何操作员输入;如果没有,那么确定带电粒子射束系统是否正在运行自动方案;并且如果在预选时间段内尚未检测到操作员输入,并且如果未正运行自动方案,那么确定带电粒子射束系统空闲。在一些实施例中,所述聚焦离子束源包括电感耦合等离子体源。在一些实施例中,所述聚焦离子束源还包括聚焦离子束液态金属离子源。

[0052] 根据本发明的一些实施例,一种控制带电粒子射束系统的方法,所述带电粒子射束系统具有聚焦离子束源、源电极、提取器电极和离子聚焦柱,所述方法包括:自动检测聚焦离子束源的空闲状态;以及在检测到空闲状态时,自动修改供应给源电极的电压和/或供应给提取器电极的电压,以防止离子穿过所述离子聚焦柱。

[0053] 在一些实施例中,所述带电粒子射束系统包括射束消隐器,并且所述自动检测聚焦离子束源的空闲状态包括自动确定射束是否被消隐;如果是,那么确定射束是否已经消隐了比预选时间更长的时间;如果射束已经消隐了比预选时间更成的时间,那么确定所述带电粒子射束系统空闲。

[0054] 在一些实施例中,所述带电粒子射束系统包括一个或多个操作员输入装置,并且所述自动检测聚焦离子束源的空闲状态包括自动确定在预选时间段内是否检测到任何操

作员输入;如果没有,那么确定所述带电粒子射束系统是否正在运行自动方案;并且如果在预选时间段内尚未检测到操作员输入,并且如果未正运行自动方案,那么确定所述带电粒子射束系统空闲。

[0055] 在一些实施例中,所述带电粒子射束系统包括具有感应耦合等离子体源的聚焦离子束系统。在一些实施例中,所述带电粒子射束系统包括具有液态金属离子源的聚焦离子束系统。在一些实施例中,修改电压包括保持提取器电极上的足以从所述源提取离子的电压以及在已经检测到空闲状态时降低施加到源电极的电压以防止离子沿所述离子柱向下通过。

[0056] 在一些实施例中,一种控制带电粒子射束系统的方法,所述带电粒子射束系统具有聚焦离子束源、源电极、提取器电极和离子聚焦柱,所述方法还包括:确定是否已经接收到唤醒信号,并且如果是,则自动修改供应给源电极的电压和/或供应给提取器的电压,以使离子从离子源中被提取,并使离子加速经过所述离子聚焦柱。在一些实施例中,所述带电粒子射束系统包括电感耦合等离子体源。

[0057] 本发明具有广泛的适用性,并且能够提供如上述例子中所描述和所示出的许多益处。所述实施例将根据具体应用而发生很大变化,并且不是每个实施例都将提供所有的益处,并满足由本发明可实现的所有目标。从这一意义上讲,在本说明书中没有任何专门定义的术语,意在的是,对所述术语给予其明白的且普通的含义。附图意在辅助理解本发明,并且除非另行指出,否则附图不是按比例绘制的。

[0058] 在本文的讨论中以及在权利要求中,将词语“包括”和“包含”以开放式的方式进行使用,并且因而应当将其解释为表示“包括但不限于”的意思。此外,无论何时文中使用术语“自动”、“自动化”或类似术语,那些术语都将被理解为包括自动或自动化过程或步骤的人工启动。文中使用的术语“FIB”或“聚焦离子束”是指任何准直离子束,其包括由离子光学部件聚焦的射束和成形的离子束。

[0059] 此外,应当认识到,能够通过计算机硬件或软件或二者的组合来实施本发明的实施例。能够根据本说明书中描述的方法和附图,在使用标准编程技术的计算机程序中实现所述方法,标准编程技术包括利用计算机程序配置的计算机可读存储介质,其中,该存储介质被如此配置,使计算机按照具体且预定的方式进行操作。可以按照高级过程编程语言或者面向对象的编程语言来实现每个程序以与计算机系统通信。然而,如果期望的话,可以按照汇编或机器语言来实现程序。在任何情况下,所述语言都可以是编译的语言或解译的语言。此外,所述程序能够在出于该目的而被编程的专用集成电路上运行。

[0060] 此外,方法可以在任何类型的计算平台中实现,包括但不限于个人计算机、迷你计算机、主机、工作站、联网或分布式计算机环境、与带电粒子工具或其他成像装置分离、成一体或者通信的计算机平台,等等。可以在存储在存储介质或装置上的机器可读代码中实现本发明的各个方面,所述存储介质或装置是可移除的或者是与计算平台成一体的,诸如硬盘、光读取和/或写入存储介质、RAM、ROM,等等,使得其可被可编程计算机读取,以便在由计算机读取所述存储介质或装置时,对计算机进行配置和操作,以执行本文中所描述的过程。此外,可以通过有线或无线网络传输机器可读代码或其部分。当这样的介质含有用于连同微处理器或其他数据处理器来实现上文描述的步骤的指令或程序时,本文中描述的本发明包括这些和其他各种类型的计算机可读存储介质。当根据本文中描述的方法和技术进行编

程时,本发明还包括计算机本身。

[0061] 可以对输入数据应用计算机程序,以执行本文中描述的功能,并由此转换输入数据,以生成输出数据。将输出信息应用至诸如显示监视器的一个或多个输出装置。在本发明的优选实施例中,转换的数据表示物理和有形对象,包括在显示器上产生物理和有形对象的特定视觉描绘。在其他实施例中可以使用在一个实施例中描述的或者作为现有技术的一部分描述的材料和结构。尽管已经详细描述了本发明及其优点,但是应当理解,能够在不背离如由所附权利要求所限定的本发明的精神和范围的情况下,对文中描述的实施例做出各种改变、替换和更改。此外,并非意在使本申请的范围局限于说明书中描述的过程、机器、制造、物质构成、手段、方法和步骤的特定实施例。本领域普通技术人员根据本发明的公开将容易地认识到,根据本发明可以利用执行与本文中描述的对应实施例基本相同的功能或者实现与其基本相同的结果的当前存在的或者以后将开发的过程、机器、制造、物质构成、手段、方法或步骤。因此,所附权利要求意在将这样的过程、机器、制造、物质构成、手段、方法或步骤包含在其范围内。

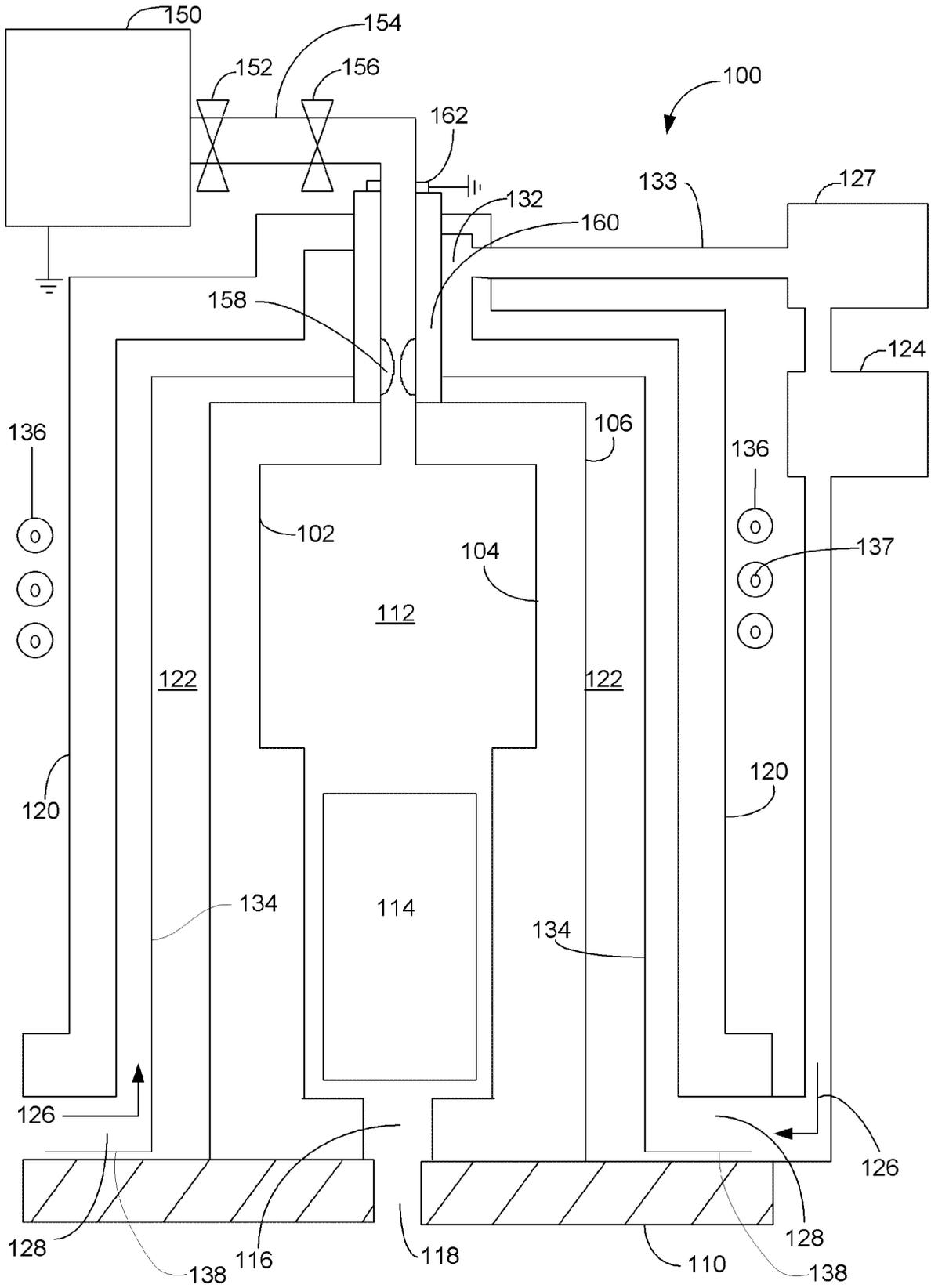


图 1

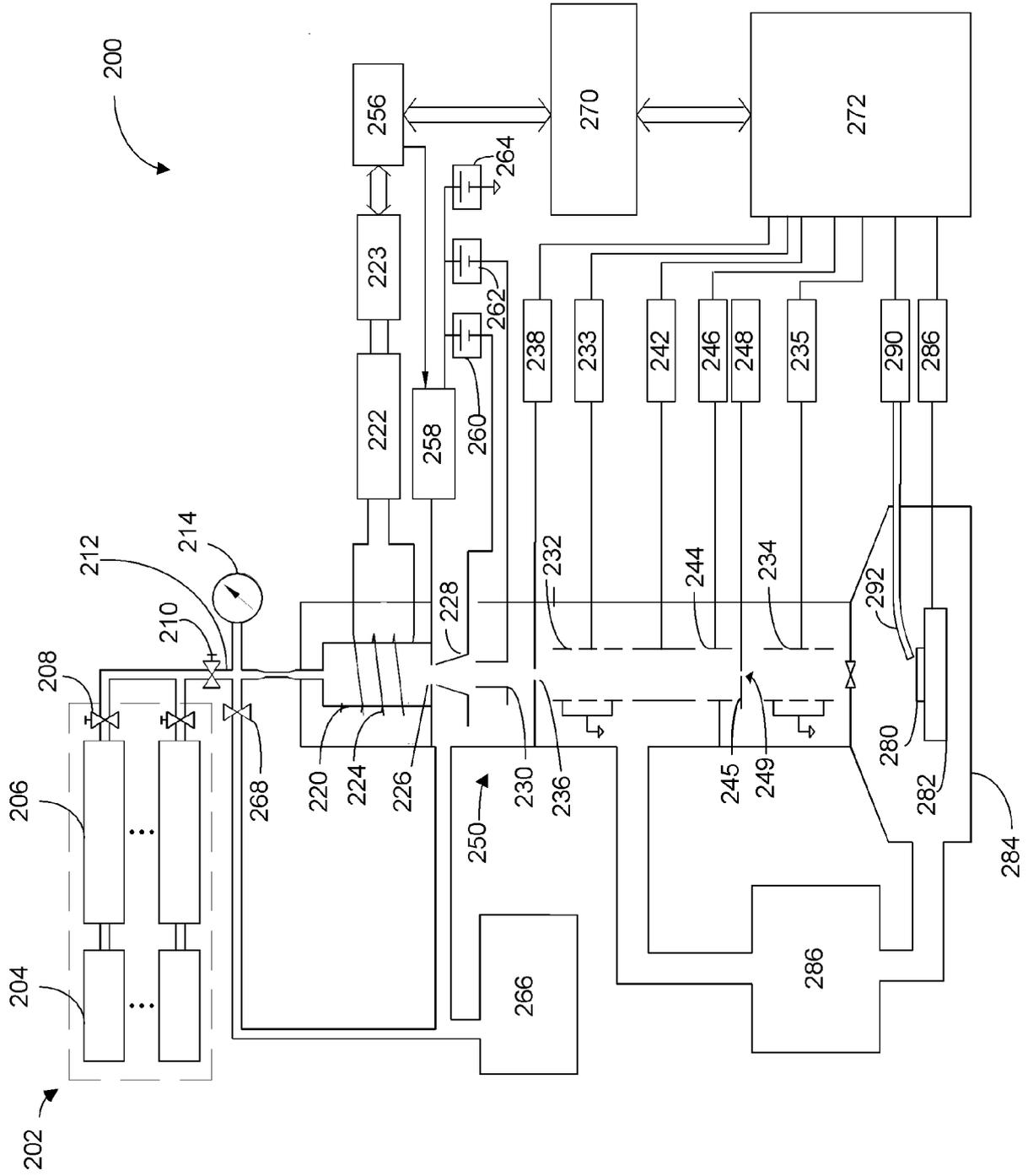


图 2

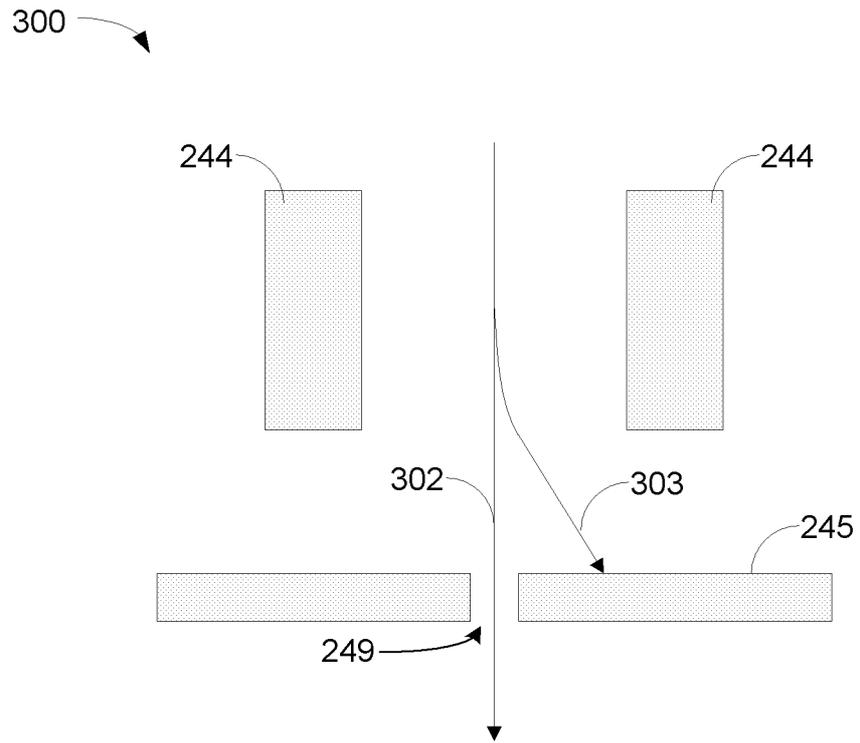


图 3

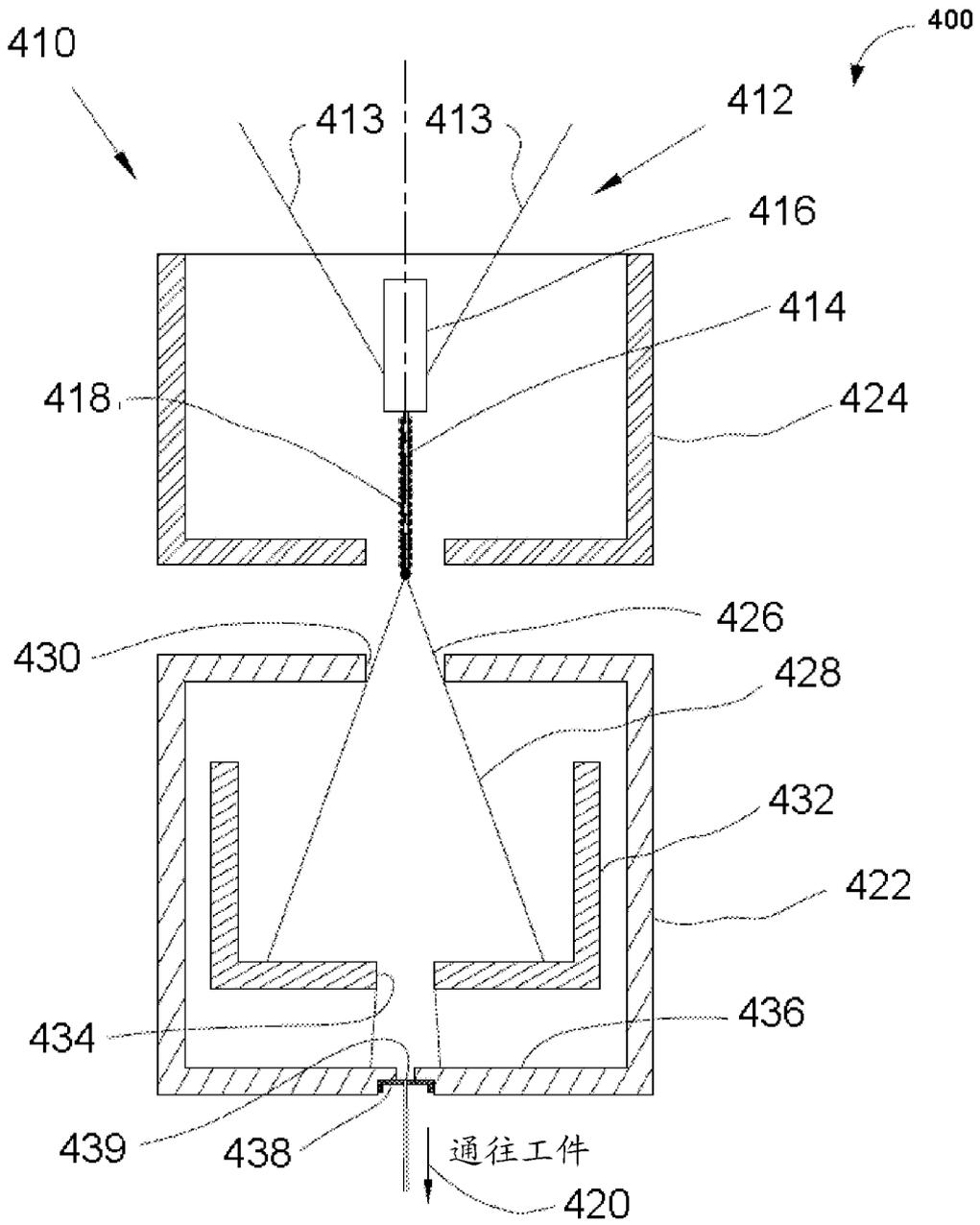


图 4

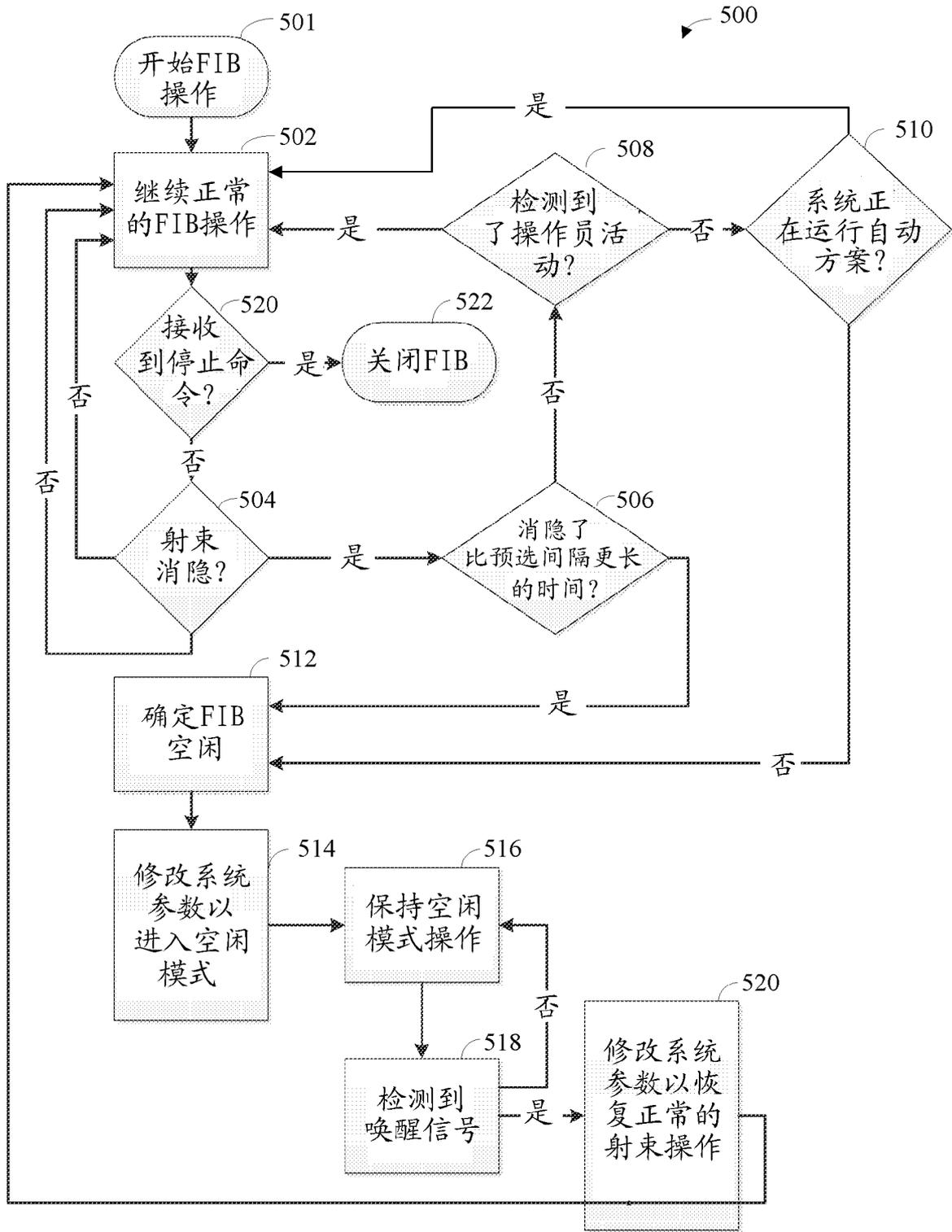


图 5