



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101978476 B

(45) 授权公告日 2012.06.13

(21) 申请号 200980109802.3

(22) 申请日 2009.02.12

(30) 优先权数据

12/029,710 2008.02.12 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.09.19

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/033928 2009.02.12

(87) PCT申请的公布数据

W02009/102871 EN 2009.08.20

(73) 专利权人 瓦里安半导体设备公司

地址 美国麻萨诸塞州

(72) 发明人 戴文·M·洛吉 卢多维克·葛特

伯纳德·G·琳赛 提摩太·J·米勒

乔治·D·帕帕守尔艾迪斯

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 臧建明

(51) Int. Cl.

H01L 21/265 (2006.01)

审查员 刘乐

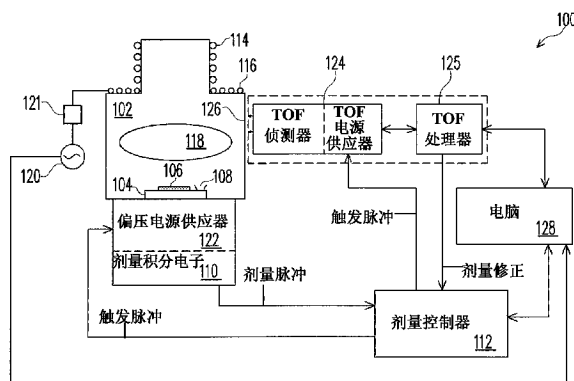
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 3 页

(54) 发明名称

利用飞行时间离子侦测器控制离子掺杂的方法及其装置

(57) 摘要

一种利用一飞行时间离子侦测器来控制一等离子体掺杂制程的方法包括于一等离子体腔中产生一包含多个掺杂离子的等离子体,等离子体接近一平台,平台承载一基板。利用一偏压波形偏压该平台,偏压波形具有一负电位,负电位将等离子体中的离子吸引至基板,以进行等离子体掺杂。利用一飞行时间离子侦测器来量测等离子体中出现的离子的谱,其中该谱为离子重量的函数。以法拉第量测系统来测定撞击该基板的离子总数。由所量测的离子的谱来判定一布植曲线。由所测定的离子总数和所算出的布植曲线来判定一积分剂量。依据所算出的该积分剂量来修改至少一等离子体掺杂参数。



1. 一种利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,包括:
 - a. 于一等离子体腔中产生一等离子体,该等离子体接近一平台,该平台承载一基板,该等离子体包括多个掺杂离子;
 - b. 利用一偏压波形偏压该平台,该偏压波形具有一负电压,该负电压将该等离子体中的离子吸引至该基板,以进行等离子体掺杂;
 - c. 利用一飞行时间离子侦测器量测该等离子体中的离子的一谱,其中该谱为离子重量的函数,量测离子的该谱的方法包括量测该等离子体中的离子飞越过一已知距离所需的时间,然后以离子的飞行时间比对出离子的种类;
 - d. 分析离子的该谱,该谱为离子重量的函数,以测定该等离子体中的至少一离子的一相对数量;以及
 - e. 依据该谱的分析结果修改至少一等离子体掺杂参数。
2. 根据权利要求1所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中分析离子的该谱的方法包括比较离子的该谱以及离子的一模型谱。
3. 根据权利要求1所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括终止该等离子体掺杂制程。
4. 根据权利要求1所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括修改偏压该平台的该偏压波形。
5. 根据权利要求1所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括提供该基板一剂量修正。
6. 一种利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,包括:
 - a. 于一等离子体腔中产生一等离子体,该等离子体接近一平台,该平台承载一基板,该等离子体包括多个掺杂离子;
 - b. 利用一偏压波形偏压该平台,该偏压波形具有一负电压,该负电压将该等离子体中的离子吸引至该基板,以进行等离子体掺杂;
 - c. 利用一飞行时间离子侦测器量测该等离子体中的离子的一谱,其中该谱为离子重量的函数,量测离子的该谱的方法包括量测该等离子体中的离子飞越过一已知距离所需的时间,然后以离子的飞行时间比对出离子的种类;
 - d. 从离子的该谱判定一布植曲线,该谱为离子重量的函数;以及
 - e. 依据该布植曲线修改至少一等离子体掺杂参数。
7. 根据权利要求6所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中从离子的该谱判定一布植曲线的方法包括比较离子的该谱以及离子的一模型谱。
8. 根据权利要求6所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中从离子的该谱判定一布植曲线的方法包括在该谱中判定离子的相对数量的比例。
9. 根据权利要求6所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括终止该等离子体掺杂制程。
10. 根据权利要求6所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括修改偏压该平台的该偏压波形。
11. 根据权利要求6所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括提供该基板一剂量修正。

12. 一种利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,包括:

a. 于一等离子体腔中产生一等离子体,该等离子体接近一平台,该平台承载一基板,该等离子体包括多个掺杂离子;

b. 利用一偏压波形偏压该平台,该偏压波形具有一负电压,该负电压将该等离子体中的离子吸引至该基板,以进行等离子体掺杂;

c. 利用一飞行时间离子侦测器量测该等离子体中的离子的一谱,其中该谱为离子重量的函数,量测离子的该谱的方法包括量测该等离子体中的离子飞越过一已知距离所需的时间,然后以离子的飞行时间比对出离子的种类;

d. 利用一法拉第量测系统量测撞击该基板的离子总数;

e. 从离子的该谱判定一布植曲线;

f. 从离子总数与该布植曲线判定一积分剂量;以及

g. 依据该积分剂量修改至少一等离子体掺杂参数。

13. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中从离子的该谱判定一布植曲线的方法包括比较离子的该谱以及离子的一模型谱。

14. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中从离子的该谱判定一布植曲线的方法包括在该谱中判定离子的相对数量的比例。

15. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中判定该积分剂量的方法包括将该布植曲线以及离子总数来与一模型相比较。

16. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括终止该等离子体掺杂制程。

17. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括修改偏压该平台的该偏压波形。

18. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括提供该基板一剂量修正。

19. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括修改一腔体压力以及一制程气体流速至少其中之一。

20. 根据权利要求 12 所述的利用一飞行时间离子侦测器来控制等离子体掺杂制程的方法,其中修改至少一等离子体掺杂参数包括修改用来产生该等离子体的一射频电源与一射频电压至少其中之一。

21. 一种等离子体掺杂装置,包括:

a. 一腔体,容纳一制程气体;

b. 一等离子体源,从该制程气体产生一等离子体;

c. 一平台,承载一基板,该基板接近该等离子体源,以进行等离子体掺杂;

d. 一飞行时间离子侦测器,产生电子讯号以代表量测的该等离子体中的离子的一谱,且该谱为离子重量的函数,其中通过量测该等离子体中的离子飞越过一已知距离所需的时间,然后以离子的飞行时间比对出离子的种类,借此量测出离子的该谱;

e. 一偏压电源供应器,具有电性连接至该平台的一输出端,该偏压电源供应器产生一偏压波形,该偏压波形具有一负电压,该负电压将该等离子体中的离子吸引至该基板,以进行等离子体掺杂;以及

f. 一处理器,具有电性连接至该飞行时间离子侦测器的一输入端以及电性连接至该偏压电源供应器的一输出端,该处理器依据该飞行时间离子侦测器所产生的讯号而在该输出端产生一讯号,以提供该基板一剂量修正。

22. 根据权利要求 21 所述的等离子体掺杂装置,还包括量测撞击该基板的离子总数的一法拉第量测系统。

利用飞行时间离子侦测器控制离子掺杂的方法及其装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种半导体制程,且特别涉及一种等离子体掺杂制程。

[0002] 使用于此处的段落标头只用于结构上的目的而不应视为用来限制本发明中所描述的标的。

[0003] 背景技术

[0004] 等离子体制程已经被广泛使用于半导体及其他工业达数十年之久。等离子体制程用于例如清洗、蚀刻 (etching)、研磨 (milling) 以及沉积 (deposition) 之作业。最近,等离子体制程已经被用于掺杂。等离子体掺杂 (plasma doping) 有时候称为 PLAD 或等离子体沉浸式离子布植 (plasma immersion ionimplantation,PIII)。等离子体掺杂系统已经被开发来满足一些现代的电子及光学装置的掺杂需求。

[0005] 等离子体掺杂系统基本上不同于利用电场加速离子然后根据其质荷比 (mass-to-charge ratio) 过滤离子以选择想要的布植离子的现有光束线离子布植系统 (beam-line ion implantation systems)。相对地,等离子体掺杂系统将标的物沉浸于包含掺杂剂离子的等离子体中,并且利用一系列的负电压脉冲加偏压于标的物。在此,“标的物”是指被布植的工件,例如被离子布植的一基板或一晶圆。施加于标的物上的负偏压可排除标的物的表面上的电子而形成一正离子鞘 (sheath of positive ions)。等离子体鞘 (plasma sheath) 内的电场加速朝向标的物的离子,藉以将离子植入标的物的表面。

[0006] 广泛使用于半导体工业中的光束线离子布植系统 (beam-line ion implantation system) 具有优良的制程控制以及优良的批次间均匀度 (run-to-run uniformity)。现有光束线离子布植系统提供高均匀度的掺杂于先进半导体基板的全部表面。半导体工业的等离子体掺杂系统通常需要非常高度的制程控制。然而,一般而言,等离子体掺杂系统的制程控制不如现有光束线离子布植系统。

发明内容

[0007] 本发明提出一种利用一飞行时间离子侦测器来控制一等离子体掺杂制程的方法如下所述。首先,于一等离子体腔中产生一等离子体,等离子体接近一平台,平台承载一基板,等离子体包括多个掺杂离子。接着,利用一偏压波形偏压平台,偏压波形具有一负电压,负电压将等离子体中的离子吸引至基板,以进行等离子体掺杂。然后,利用一飞行时间离子侦测器量测等离子体中的离子的一谱,其中谱为离子重量的函数。之后,分析离子的谱,谱为离子重量的函数,以测定等离子体中的至少一离子的一相对数量。之后,依据谱的分析结果修改至少一等离子体掺杂参数。

[0008] 本发明提出一种利用一飞行时间离子侦测器来控制一等离子体掺杂制程的方法如下所述。首先,于一等离子体腔中产生一等离子体,等离子体接近一平台,平台承载一基板,等离子体包括多个掺杂离子。接着,利用一偏压波形偏压平台,偏压波形具有一负电压,负电压将等离子体中的离子吸引至基板,以进行等离子体掺杂。然后,利用一飞行时间离子侦测器量测等离子体中的离子的一谱,其中谱为离子重量的函数。之后,从离子的谱判定一

布植曲线,谱为离子重量的函数。然后,依据布植曲线修改至少一等离子体掺杂参数。

[0009] 本发明提出一种利用一飞行时间离子侦测器来控制一等离子体掺杂制程的方法如下所述。首先,于一等离子体腔中产生一等离子体,等离子体接近一平台,平台承载一基板,等离子体包括多个掺杂离子。接着,利用一偏压波形偏压平台,偏压波形具有一负电压,负电压将等离子体中的离子吸引至一基板,以进行等离子体掺杂。然后,利用一飞行时间离子侦测器量测等离子体中的离子的一谱,其中谱为离子重量的函数。之后,利用一法拉第量测系统量测撞击基板的离子总数。之后,从离子的谱判定一布植曲线。接着,从离子总数与布植曲线判定一积分剂量。然后,依据积分剂量修改至少一等离子体掺杂参数。

[0010] 本发明提出一种等离子体掺杂装置包括一腔体、一等离子体源、一平台、一飞行时间离子侦测器、一偏压电源供应器以及一处理器。腔体容纳一制程气体。等离子体源从制程气体产生一等离子体。平台承载一基板,基板接近等离子体源,以进行等离子体掺杂。飞行时间离子侦测器产生电子讯号以代表等离子体中的离子的一谱,且谱为离子重量的函数。偏压电源供应器具有电性连接至平台的一输出端,偏压电源供应器产生一偏压波形,偏压波形具有一负电压,负电压吸引等离子体中的离子至基板,以进行等离子体掺杂。处理器具有电性连接至飞行时间离子侦测器的一输入端以及电性连接至偏压电源供应器的一输出端,处理器依据飞行时间离子侦测器所产生的讯号在输出端产生一讯号,以提供基板一剂量修正。

附图说明

[0011] 依据较佳的例示性实施例与另外所具有的优点,本发明将结合附图而更特殊地详述于下。各图未必按比例绘出,将强调本发明的原理以取代一般的描述。

[0012] 图 1 示出本发明的采用闭环制程控制及最佳化的等离子体掺杂系统的方块图。

[0013] 图 2 示出一种飞行时间离子侦测器,其可应用在本发明的闭环制程控制及最佳化的等离子体掺杂系统中。

[0014] 图 3 示出本发明一实施例的布植剂量修正的演算法的流程图。

具体实施方式

[0015] 在本说明书中提到“一个实施例”或“一实施例”时是指结合所述实施例而描述的特定特征、结构或特性包括在本发明的至少一个实施例中。在本说明书中各处出现的短语“在一个实施例中”未必全部指代同一实施例。

[0016] 应了解,只要本发明仍可操作,可以任何次序执行本发明方法的各个步骤及/或同时执行本发明方法的各个步骤。此外,应了解,只要本发明仍可操作,本发明的设备以及方法可包括任何数目或全部所描述的实施例。

[0017] 现在将参照随附图中所示的本发明的例示性实施例来更详细地描述本发明的教导。虽然结合各种实施例以及实例来描述本发明的教导,但并不希望本发明的教导限于此等实施例。反之,本领域的技术人员应了解,本发明的教导涵盖各种替代、修改以及等效物。本领域的技术人员在阅读本文中的教导后应认识到额外实施方案、修改及实施例以及其他使用领域,所述各者在如本文中所描述的本揭示案的范畴内。举例而言,虽然结合等离子体掺杂系统来描述本发明,但亦可将观察腔体中的情况的方法与设备应用在其他种类的制程

系统中。

[0018] 现在人们正在开发三维元件结构,以便增加超大型积体电路(Ultra-Large Semiconductor Integration, ULSI)的可用表面积,且将元件规模扩展至 65 奈米以下的技术节点。举例而言,人们正在实验室中开发动态随机存取记忆体所使用的三维沟槽电容器(three dimensional trench capacitor)以及使用垂直通道电晶体(vertical channel transistor)的许多类型元件(诸如,FinFET(双闸式或三闸式))以及凹入通道阵列电晶体(recessed channel array transistor, RCAT)。这些三维元件中的许多元件需要非常精准的等离子体掺杂制程控制。另外,许多其他类型的现代电子及光学元件以及奈米技术微结构需要非常精准的等离子体掺杂制程控制。

[0019] 难以精准地控制等离子体掺杂制程的原因有很多。举例来说,随离子布植而发生的沉积与蚀刻,其包括一些物理溅镀与化学蚀刻。再者,有许多因素会产生显著的离子布植能量分布,例如不同种类的离子、离子之间的碰撞、不均匀的等离子体鞘、二次电子发射、由寄生阻抗所产生的移位电流以及施加不理想的偏压脉冲。此外,在离子布植时,施加于晶圆上的高电压会妨碍一些仪器设备以及量测方法。

[0020] 本发明关于在等离子体掺杂时监测等离子体制程状态的方法与设备,且特别是有关于在等离子体制程中,可现场监测(in-situ monitoring)以及使等离子体状态最佳化的方法与设备。“现场监测”是代表在进行等离子体制程的同时进行监测。

[0021] 在已知的等离子体掺杂制程中,监测布植剂量的方式经常是使用一法拉第杯量测系统,以量测接近处理过的基板的总电荷。在许多等离子体处理系统中,大部分的等离子体离子都是单个的电荷离子。因此,积聚在法拉第杯量测系统中的电荷可以离子撞击法拉第杯的总数为指标。然而,法拉第杯量测系统所产生的讯号对于等离子体掺杂系统的制程控制无用。举例来说,法拉第杯量测系统所产生的讯号不能指出哪些离子是被植入基板中的。另外,法拉第杯量测系统所产生的讯号不能指出每一种被植入的离子所占的百分比。此外,法拉第杯量测系统所产生的讯号不能指出被植入的特定离子相对于其他被植入的离子的比例。

[0022] 本发明的方法与设备是利用一飞行时间(time-of-flight, TOF)离子侦测器来量测等离子体中的特定离子。飞行时间离子侦测器使离子加速跨越一近乎固定的电压,并量测从源头至侦测器的离子飞行时间。由于每个离子的电荷动能大致上相等,因此,相较于质量较轻的离子,质量较重的离子的移动速度较慢且较晚抵达侦测器。可藉由量测已知荷质比(mass-to-charge ratio value)的离子的飞行时间来校正飞行时间离子侦测器。因此,可量测一未知离子的飞行时间,并以此量测结果来计算荷质比。

[0023] 因此,可藉由飞行时间离子侦测器的数据来区别等离子体中的离子。得知等离子体中的离子的差异可最佳化等离子体制程,其包括最佳化布植总剂量以及最佳化布植界面深度(implant junction depth)。此外,得知等离子体中的离子的差异可测定制程腔体状态,并可作为错误侦测(fault detection)。

[0024] 本发明的方法与设备可利用一飞行时间离子侦测器来量测数据,并利用飞行时间数据来监视并控制等离子体掺杂制程。在一些实施例中,同时使用飞行时间离子侦测器的数据与一法拉第杯量测系统的数据来监测并控制等离子体掺杂制程。具体而言,本发明的方法与设备是利用由飞行时间离子侦测器所获得的数据进行闭环制程控制(closed-loop

process control)。在一些实施例中,可利用由一法拉第杯量测系统所获得的数据来进行闭环制程控制。在其他实施例中,由飞行时间离子侦测器所获得的数据可用来判定由飞行时间讯号所获得的离子比例以及从其他制程表现所获得的离子比例之间的相互关系。制程工程师可利用这些相互关系来最佳化制程的多个制程参数,例如布植剂量与布植深度。

[0025] 图 1 示出本发明的采用闭环制程控制及最佳化的等离子体掺杂系统 100 的方块图。本发明的闭环制程控制及最佳化的方法与设备可使用任何一种等离子体掺杂系统。举例来说,于 2004 年 12 月 20 号申请的美国专利申请案第 10/905172 号的一等离子体掺杂系统名为“具有导电性顶端区域之射频等离子体源”,其已让渡给本案的受让人。美国专利申请案第 10/905172 号的整体内容可以参照的方式纳入本文中。

[0026] 等离子体掺杂系统 100 包括一等离子体腔 102。等离子体腔 102 包括一平台 104,平台 104 托住一基板 106 或一工件,以使基板 106(或工件)可在等离子体掺杂系统 100 中被掺杂。基板 106 电性连接至平台 104。等离子体掺杂系统 100 包括一法拉第量测系统(Faraday dosimetry system),其可藉由计算撞击基板 106 的离子数来量测出总电荷数。

[0027] 法拉第量测系统包括一法拉第杯 108,法拉第杯 108 相当靠近基板 106,如此一来,撞击到法拉第杯 108 的离子数实质上相当于撞击到基板 106 的离子数。在一些实施例中,法拉第杯 108 是埋在平台 104 中,以使从等离子体源至基板 106 的距离等于从等离子体源至法拉第杯 108 的距离。法拉第量测系统还包括剂量积分电子 110,其接收法拉第杯 108 产生的一电流讯号以及产生一连串的数位脉冲,数位脉冲代表撞击法拉第杯 108 的离子数。法拉第量测系统亦可从法拉第杯 108 取得电荷,以提升仪器的准确度。剂量积分电子 110 的一输出端电性连接至一剂量控制器 112 的一输入端。

[0028] 等离子体腔 102 包括一第一线圈 114 与一第二线圈 116,且当施加电能于第一线圈 114 与第二线圈 116 时,可产生一等离子体 118。第一线圈 114 与第二线圈 116 至少其中之一为一主动的天线线圈(active antenna coil),其透过一阻抗匹配网路(impedance matching network)121 连接至一电源 120。在一些实施例中,第一线圈 114 与第二线圈 116 其中之一为一寄生线圈或一寄生天线。此处的“寄生天线”是代表利用一主动天线来作为电磁通信的一天线,且其未直接连接至一电源供应器。换言之,寄生天线并非直接受电源供应器的激发,而是利用与寄生天线作电磁通讯的一主动天线来激发。在本发明的一些实施例中,使寄生天线的一端接地,以供天线调谐(tuning)之用。在本实施例中,寄生天线包括一线圈调节器,线圈调节器可用来调节寄生天线线圈的有效圈数。可使用许多不同种类的线圈调节器,例如金属短路器(metal short)。

[0029] 利用一偏压电源供应器 122 对基板 106 施加偏压以进行掺杂。偏压电源供应器 122 的一输出端电性连接至平台 104。偏压电源供应器 122 在一输出端上产生一偏压,以偏压平台 104 与基板 106,并藉此使等离子体中的掺杂离子撞击基板 106。在其他实施例中,偏压电源供应器 122 可为一直流电源供应器、一脉冲电源供应器或一射频电源供应器。偏压电源供应器 122 包括一控制输入端,其从剂量控制器 112 接收触发脉冲(trigger pulses)。触发脉冲可命令偏压电源供应器 120 提供平台 104 一高压脉冲。在一些实施例中,剂量控制器 112 可命令偏压电源供应器 122 产生具有特定的电压、工作周期、与脉冲重复率的一偏压波形。

[0030] 等离子体掺杂系统 100 包括本发明的一飞行时间离子侦测器 124。飞行时间离子

侦测器 124 包括连接至等离子体腔 102 的一输入口 126。输入口 126 暴露于等离子体 118 中以接收等离子体腔 102 中的离子。飞行时间离子侦测器 124 还包括电性连接至剂量控制器 112 的一控制输入端。将剂量控制器 112 所产生的触发讯号传递至飞行时间离子侦测器 124 的控制输入端。触发讯号命令飞行时间离子侦测器 124 去侦测位于输入口 126 的离子，飞行时间离子侦测器 124 侦测离子的方式是提供位于输入口 126 的离子一短加速脉冲，以使这些离子皆获得相同的能量。接着，飞行时间离子侦测器 124 产生电子讯号，电子讯号是以离子穿越一已知距离所费的时间的函数来代表离子侦测结果。

[0031] 飞行时间离子侦测器 124 的体积可以非常的小，因此，其可置于制程中任何适当的位置。许多种的飞行时间离子侦测器都可被用在本发明的闭环制程控制与最佳化的方法与装置中。在图 2 中，将会详述本发明的一飞行时间离子侦测器。

[0032] 一飞行时间离子侦测处理器 125 接收飞行时间离子侦测器 124 所产生的电讯号，前述电讯号是以离子穿越一已知距离所费的时间的函数来代表离子侦测结果。然后，处理器 125 使用现有的飞行时间质谱仪的分析方法来比对这些离子的飞行时间，以得到这些离子的种类。离子侦测器产生的数据为等离子体离子群的相对振幅的一谱 (spectrum)，且前述谱是离子重量的一函数。此外，处理器 125 包括一输出端，其电性连接至剂量控制器 112 的一控制输入端。处理器 125 可在输出端产生一剂量修正讯号，其可命令剂量控制器 112 提供数量适当的触发脉冲至偏压电源供应器 122 的控制输入端。

[0033] 等离子体掺杂系统 100 包括一制程控制电脑 128，其可控制等离子体掺杂系统 100。制程控制电脑 128 包括一连接飞行时间离子侦测处理器 125 的双向介面。电脑 128 从处理器 125 接收数据。电脑 128 可利用处理器 125 的数据来控制飞行时间离子侦测器 124。举例来说，电脑 128 可利用处理器 125 的数据来判断飞行时间离子侦测器 124 的操作参数（例如离子抽出脉冲及侦测电压）是否需要改变。然后，电脑 128 产生讯号，以命令处理器 125 改变飞行时间离子侦测器 124 的操作参数，从而达到某些制程目标。

[0034] 此外，制程控制电脑 128 包括一连接剂量控制器 112 的双向介面。电脑 128 直接连接剂量控制器 112 以提供接收资讯与控制资讯至剂量控制器 112。举例来说，电脑 112 产生讯号以命令剂量控制器 112 开始等离子体掺杂。电脑 128 亦产生讯号以命令剂量控制器 112 开始产生一些触发脉冲。触发脉冲命令偏压电源供应器 122 提供高电压脉冲至平台 104，以使一特定剂量布植至基板 106。制程控制电脑 128 亦产生讯号以指示剂量控制器 112 已布植足够的剂量或是因制程错误而终止制程。

[0035] 剂量控制器 112 亦直接连接制程控制电脑 128，以提供法拉第量测系统、飞行时间离子侦测器 124 与其他感测器的制程状态资讯至电脑 128。举例来说，在制程中，剂量控制系统 112 可不断地更新电脑 128 的数据（例如法拉第量测系统可测得撞击基板的表面的总离子数以及等离子体 118 中特定离子的种类与比例）。

[0036] 在一些实施例中，制程控制电脑 128 包括一连接射频电源 120 的介面。在这些实施例中，电脑 128 连接射频电源 120 以指示射频电源 120 要启动或终止等离子体 118。此外，电脑 128 直接连接射频电源 120 以指示射频电源 120 要设定或改变等离子体电力位准 (power level)。

[0037] 在一些实施例中，制程控制电脑 128 包括一介面，其连接一制程气体控制器与一腔体压力控制器至少其中之一。在这些实施例中，电脑 128 连接制程气体控制器及 / 或腔

体压力控制器,以改变压力状态及 / 或气体流速。

[0038] 剂量控制器 112 为一高速控制器或一处理器,其接收剂量积分电子 110 的控制讯号、飞行时间离子侦测处理器 125 的控制讯号以及制程控制电脑 128 的控制讯号。此外,剂量控制器 112 产生触发脉冲以命令偏压电源供应器 122 提供一高压脉冲至平台 104。剂量控制器 112 亦产生触发脉冲至飞行时间离子侦测器 124 以命令飞行时间离子侦测器 124 侦测位于输入口 126 的离子。本领域的技术人员当可推知剂量控制器 112 可为制程控制电脑 128 的一部分或者是一台独立的专用电脑。

[0039] 图 2 示出一种飞行时间离子侦测器 200,其可应用在本发明的闭环制程控制及最佳化的等离子体掺杂系统 100 中。飞行时间离子侦测器 200 包括一输入口 202,其暴露于位于等离子体腔 102(请参照图 1) 内的等离子体 204 中。输入口 202 包括一通孔 206,通孔 206 可用来取样一部分的离子。举例来说,通孔 206 接近一圆形的孔,其直径约略为 100 微米。在本实施例中,通孔 206 接地。然而,可选择性地对通孔 206 施加多个偏压。

[0040] 飞行时间离子侦测器 200 还包括一第一网格 208。在一些实施例中,可用一静电透镜来取代网格。举例来说,第一网格 208 的中心对中心间隔 (center-to-center spacing) 大小为数毫米。在一实施例中,第一网格 208 的中心对中心间隔约为 2.7 毫米。一第一电压电源供应器 210 包括电性连接至第一网格 208 的一输出端。举例来说,在一实施例中,第一电压电源供应器 210 对第一网格 208 施加一约 100 伏特的正直流偏压。正直流偏压形成一阻挡位能,以将来自于输入口 202 的离子储存在邻近于第一网格 208 的一区域 212。

[0041] 飞行时间离子侦测器 200 还包括一第二网格 214。在一些实施例中,可利用一静电透镜来取代网格。举例来说,第二网格 214 的中心对中心间隔 (center-to-center spacing) 大小为数毫米。在一些实施例中,第二网格 214 的网格图案相同于第一网格 208 的网格图案,在一实施例中,第二网格 214 的中心对中心间隔约为 2.7 毫米。

[0042] 一第二电压电源供应器 216 包括电性连接至第二网格 214 的一输出端。第二电压电源供应器 216 为一高压脉冲电源供应器,其提供一高电压正脉冲至第二网格 214。高压脉冲使在区域 212 中的离子穿越第一网格 208 并进入一飞行时间飞行管 218。高压脉冲为一相当短的脉冲,以减少离子进入飞行时间飞行管的时间分布。举例来说,短脉冲可约为一微秒。在一些操作方法中,短脉冲可与离子布植脉冲同时产生。

[0043] 飞行管 218 为具有一已知距离的一无场漂移区 (field free drift region),其可传输因短脉冲的施加而从区域 212 而来的离子。当这些离子穿越飞行管 218 时,这些离子会因为具有不同的荷质比而分离。飞行管 218 必须具有足够的长度,以使具有不同荷质比的离子彼此之间的飞行时间差距足以被现有的电子仪器准确侦测。举例来说,在一实施例中,飞行管 218 的长度接近 28 公分。

[0044] 一偏压电源供应器 220 电性连接至飞行管 218。举例来说,在一实施例中,偏压电源供应器 220 偏压飞行管 218,以使飞行管 218 维持在约 300 伏特的定漂移负电压 (constant floating negative potential)。在一些实施例中,一网格 222 配置在飞行管 218 的输入端。而且,在一些实施例中,飞行管 218 的输出端存在有一通孔 224,因此,离开通孔 224 的离子的飞行路径相似。一出口网格 224' 可配置于通孔 224 中 (如图 2 所示)。

[0045] 一偏向板 226 是邻近于飞行管 218 的通孔 224。一偏压电源供应器 228 偏压偏向板 226 一高正电压。在一实施例中,偏向板 226 是偏压正 250 伏特。偏向板 226 使从飞行

管 218 出来的离子偏向进入一离子侦测器 230。

[0046] 多种离子侦测器都可应用在飞行时间离子侦测器 200 中。举例来说,离子侦测器 230 可为一隧道电子放大器(Channel Electron Multiplier, CEM)。隧道电子放大器包括一发光层,发光层可产生二次电子以加强离子侦测。高电压电源供应器 232 电性连接至离子侦测器 230。高电压电源供应器 232 以一高负电压来偏压隧道电子放大器。举例来说,高电压电源供应器 232 以负 2500 伏特来偏压隧道电子放大器。离子侦测器 230 可包括一可放大离子侦测讯号的前置放大器(pre-amplifier)234,故可使用一般的电子装置。再者,离子侦测器 230 可包括一鉴别器 236,鉴别器 236 可从隧道电子放大器侦测短脉冲并可排除杂讯。

[0047] 在一些实施例中,一离子反射器(未示出)配置于飞行管 218 的端部。离子反射器可较准确的量测具有不同荷质比的离子的相对时间。离子反射器包括一无场漂移区,无场漂移区是利用修饰离子的飞行路径来补偿初始动能分布效应。一第一侦测器利用离子反射器惰化(de-energized)来侦测离子。一第二侦测器利用离子反射器激发来侦测离子。离子反射器包括多个连续的环,且这些环被偏压多个电压,且这些电压略大于离子加速电压。

[0048] 当离子穿过离子反射器,离子将会减速直至在场的方向上速度为 0 为止。在速度为 0 的地方,离子会反向并加速穿过反射器。离子的离开反射器的能量相同于离子的进入反射器的能量,但速度方向相反。能量愈大的离子穿过反射器的深度愈深,因此,离子在离子反射器中停留的时间较长。连续的环的位能可选择性地修改离子的飞行路径,以使具有相似的质量与电荷的离子可同时抵达第二侦测器。

[0049] 一飞行时间离子侦测处理器 238 包括一讯号输入端,讯号输入端电性连接至鉴别器 236 的输出端。再者,飞行时间离子侦测处理器 238 电性连接至第一电压电源供应器 210。飞行时间离子侦测处理器 238 执行飞行时间离子侦测器 200 的控制与量测功能。举例来说,处理器 238 触发第一电压电源供应器 210 以产生与提供一短脉冲至第一网格 208,以从区域 212 获得离子。在一种操作方法中,短脉冲的大小约为 1 微秒。短脉冲与布植脉冲同时产生。再者,处理器 238 从离子侦测器 230 获得数据,同时,第一电压电源供应器 210 产生短脉冲。此外,处理器 238 储存数据并产生等离子体离子群的相对振幅的一谱,且谱为离子重量的函数。

[0050] 等离子体参数(例如离子的种类、特定离子相对于其他特定离子的比例以及离子密度)容易因多种因素而改变。举例来说,这些参数极受等离子体 118 直接接触的等离子体腔壁的状态的影响。等离子体腔壁的状态容易随时间而改变,因为等离子体腔壁不断地受到离子以及于等离子体 118 中产生的中性粒子的撞击。此外,等离子体 118 中的部分离子与离子密度或离子通量也容易因多种因素而随时间改变。离子密度或离子通量的改变导致离子布植的剂量随时间改变,以致于等离子体掺杂制程的再现性低。

[0051] 因此,可采用主动量测,其可及时现场量测(real time in-situ measurement)离子布植剂量与离子谱,从而修改布植剂量。量测结果可用来触发一修正动作以使制程回复到之前预设的控制范围或者是触发一维持动作。举例来说,修正动作可改变制程参数、终止等离子体掺杂制程或是维持不变。期望及时现场量测等离子体腔的状态是因为量测结果可提升制程良率并可显著地降低系统例行性的维护量。

[0052] 图 3 示出本发明一实施例的布植剂量修正的演算法 300 的流程图。请参照图 1、

图 2 与图 3, 在一第一步骤 302 中, 将被掺杂的基板 106 配置于等离子体腔 102 中, 接着, 开始掺杂制程。在一第二步骤 304 中, 获得飞行时间侦测讯号。飞行时间侦测器 124 可同步于偏压电源供应器 122 偏压平台 104 与基板 106 以吸引离子至基板 106。飞行时间侦测器 124 可获得一讯号, 前述讯号包括各偏压脉冲中的多个时间。

[0053] 在一第三步骤 306 中, 制程控制电脑 128 计算等离子体离子的相对振幅的一谱, 且谱为离子重量的函数。在一第四步骤 308 中, 制程控制电脑 128 比较等离子体离子的相对振幅的一谱 (谱为离子重量的函数) 以及一模型, 以定义等离子体掺杂制程是否在要求的制程条件下进行。若制程控制电脑 128 判定等离子体离子的相对振幅的一谱 (其为离子重量的函数) 未符合要求的制程条件, 则进行一第五步骤 310, 一个错误产生且制程不是终止就是启动一修正动作。

[0054] 与第二步骤 304 同时, 在一第六步骤 312 中, 由法拉第杯 108 获得法拉第量测讯号。法拉第杯 108 的讯号可利用剂量积分单元 110 来处理。剂量积分单元 110 产生讯号, 其可指出法拉第杯 108 上的总电荷数, 其为离子撞击基板 106 的总数的一很好的指标。

[0055] 在一第七步骤 314 中, 制程控制电脑 128 比较获得的法拉第量测讯号以及一模型, 以判断离子撞击基板 106 的总数是否符合需要的制程条件。若电脑 128 判定离子撞击基板 106 的总数不符合需要的制程条件, 则进行一第八步骤 316, 一个错误产生且制程不是终止就是启动一修正动作。

[0056] 在一第九步骤 318 中, 当第四步骤 308 中的电脑 128 判定等离子体离子的相对振幅的一谱 (其为离子重量的函数) 符合要求的制程条件, 且当第七步骤 314 中的电脑 128 判定离子撞击基板 106 的总数符合需要的制程条件, 则制程控制电脑 128 可计算出布植曲线。电脑 128 可由等离子体离子的相对振幅的谱 (其为离子重量的函数) 以及由离子撞击基板 106 的表面的总数的数据计算出布植曲线。离子撞击基板 106 的表面的总数的数据可透过飞行时间离子侦测器 124 及 / 或法拉第杯 108 来获得。

[0057] 在一第十步骤 320 中, 制程控制电脑 128 比较第九步骤 318 所计算出的布植曲线以及一模型, 并判断计算出的布植曲线是否符合制程条件。若是电脑 128 判断第十步骤 320 所计算出的布植曲线不符合制程条件, 则进行第五步骤, 一个错误产生且制程不是终止就是启动一修正动作。

[0058] 假若制程控制电脑 128 判定第十步骤 320 所计算出的布植曲线符合制程条件, 则进行第十一步骤 322, 电脑 128 根据从飞行时间离子侦测器 124 所得到的数据, 利用飞行时间离子侦测处理器 125 计算积分剂量。本发明有多种计算积分剂量的方法。

[0059] 等离子体离子的相对振幅的谱 (其为离子重量的函数) 可以一数字阵列的方式表达。举例来说, 与具有一特定质量的多个等离子体离子对应的讯号可表示成离子数的总和, 且离子数的总和在阵列单元中排成一行。等离子体 118 中的不同的离子种类的比例可表示成阵列单元中每一行的单元的数量比。制程控制电脑 128 利用阵列中的数据来执行一或多个演算法以判断积分剂量。

[0060] 举例来说, 电脑 128 执行演算法以分析飞行时间离子侦测处理器 125 所判定的等离子体离子的相对振幅的谱 (其为离子重量的函数) 的讯号峰值。每个讯号峰值都对应于等离子体 118 中的一特定离子的总数。在其他实施例 中, 电脑 128 执行演算法以分析等离子体离子的相对振幅的谱 (其为离子重量的函数) 的多个峰值。这些峰值分别对应于等离

子体 118 中的多个特定离子的总数。在一些实施例中,电脑 128 执行演算法来分析多个峰值,以判断一特定种类的离子相对于其他特定种类的离子的比例。

[0061] 在其他实施例中,可藉由理论或实验而获得模型。举例来说,可利用离子重量种类的比例来建立一模型以进行制程,前述模型关于离子重量种类以及离子重量种类的比例。可利用模型来预测布植入晶圆的掺杂物的数量以及布植深度。可实验性地判断等离子体中的不同离子会以不同的能量以及不同的深度来布植。

[0062] 在第十二步骤 324 中,制程控制电脑 128 会判断布植入基板 106 的表面中的剂量是否足够。假若电脑 128 判断布植入基板 106 的表面中的剂量不足,则制程从第二步骤 304 开始重复。若是电脑 128 判断布植入基板 106 的表面中的剂量已足够,则终止制程(即第十三步骤 326)。

[0063] 图 3 中的布植剂量修正演算法适于监测等离子体腔的状态以及对于监测结果进行错误侦测。等离子体掺杂制程的稳定性与再现性高度依赖等离子体腔 102 的物理状态。举例来说,直接接触等离子体 118 的等离子体腔壁的状态会影响等离子体参数,等离子体参数例如为离子的种类、特定离子与其他离子的比例以及离子密度。由于等离子体腔壁不断地受到等离子体 118 中的离子与中性粒子的撞击,因此,等离子体腔壁的状态容易随时间改变。因此,在本发明的一些实施例中,制程控制电脑 128 监视飞行时间离子侦测处理器 125 的数据以判断等离子体 118 中的离子种类与密度是否代表需清洁等离子体腔 102,或是在开始或继续等离子体掺杂之前调整等离子体腔 102。

[0064] 图 3 中的布植剂量修正演算法适于监测等离子体的变化以及对于监测结果进行错误侦测。因此,基于许多不同的理由,等离子体 118 中的部分离子、离子密度或是离子通量易随时间而改变。离子布植剂量会随时间而改变,且离子密度或离子通量亦随之改变,而导致等离子体掺杂制程的再现性低。

[0065] 此外,图 3 中的布植剂量修正演算法适于监测进入制程的气体的品质以及对于监测结果进行错误侦测。此外,图 3 中的布植剂量修正演算法适于判断气体供应器中的气体优劣。必须要分辨气体优劣才能准确地分辨布植入晶圆中的剂量。由于气体供应器会老化,因此,气体的组成会改变。为准确地分析布植剂量,需要知道是否发生气体组成改变及/或是否气体已被污染。

[0066] 等效范围

[0067] 虽然本发明已结合多个实施例和范例揭示如上,然而本发明的教示并不限于这些实施例。反之,本发明的教示包括各种替代、修改和等效范围,其就像所属领域中的技术人员所认知的一样可在不脱离本发明的精神和范围内作更动。

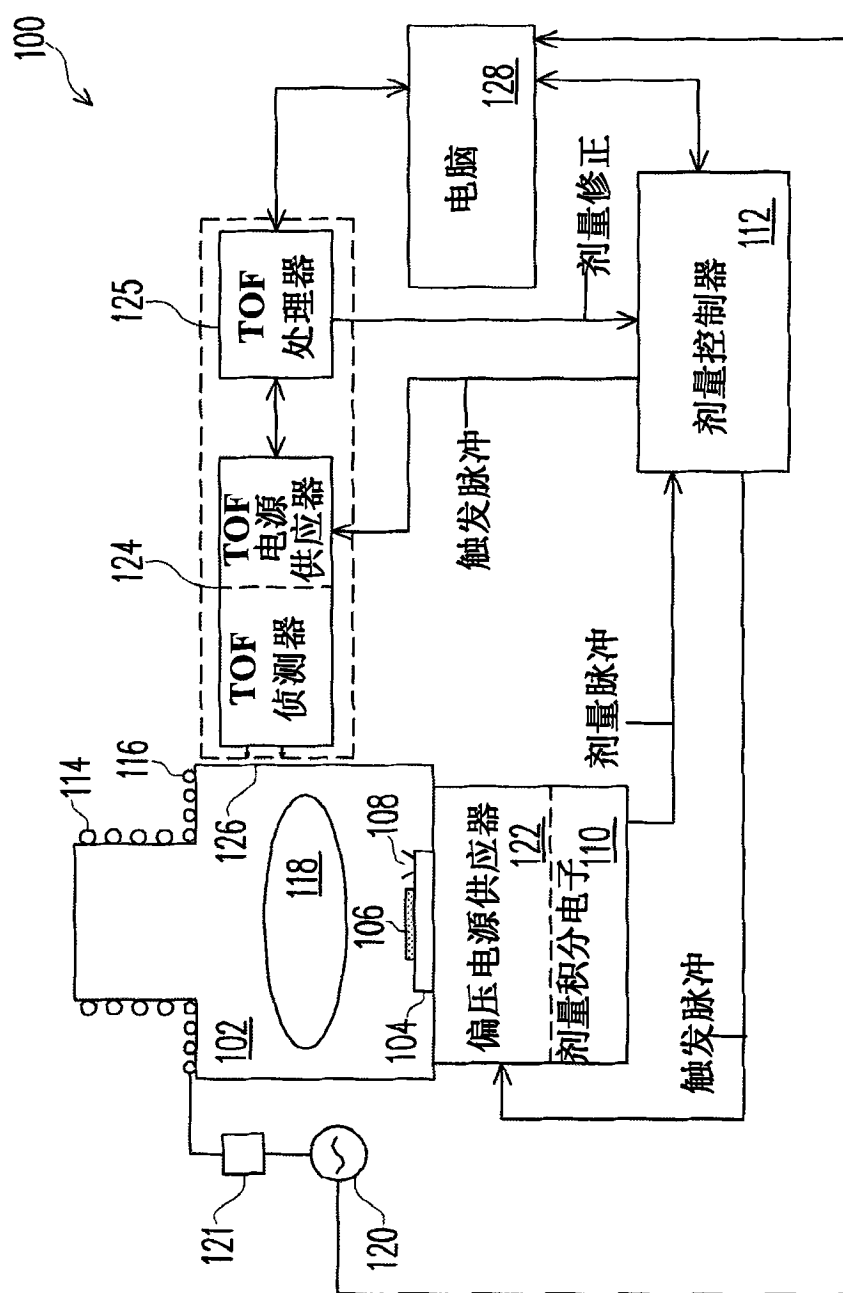


图 1

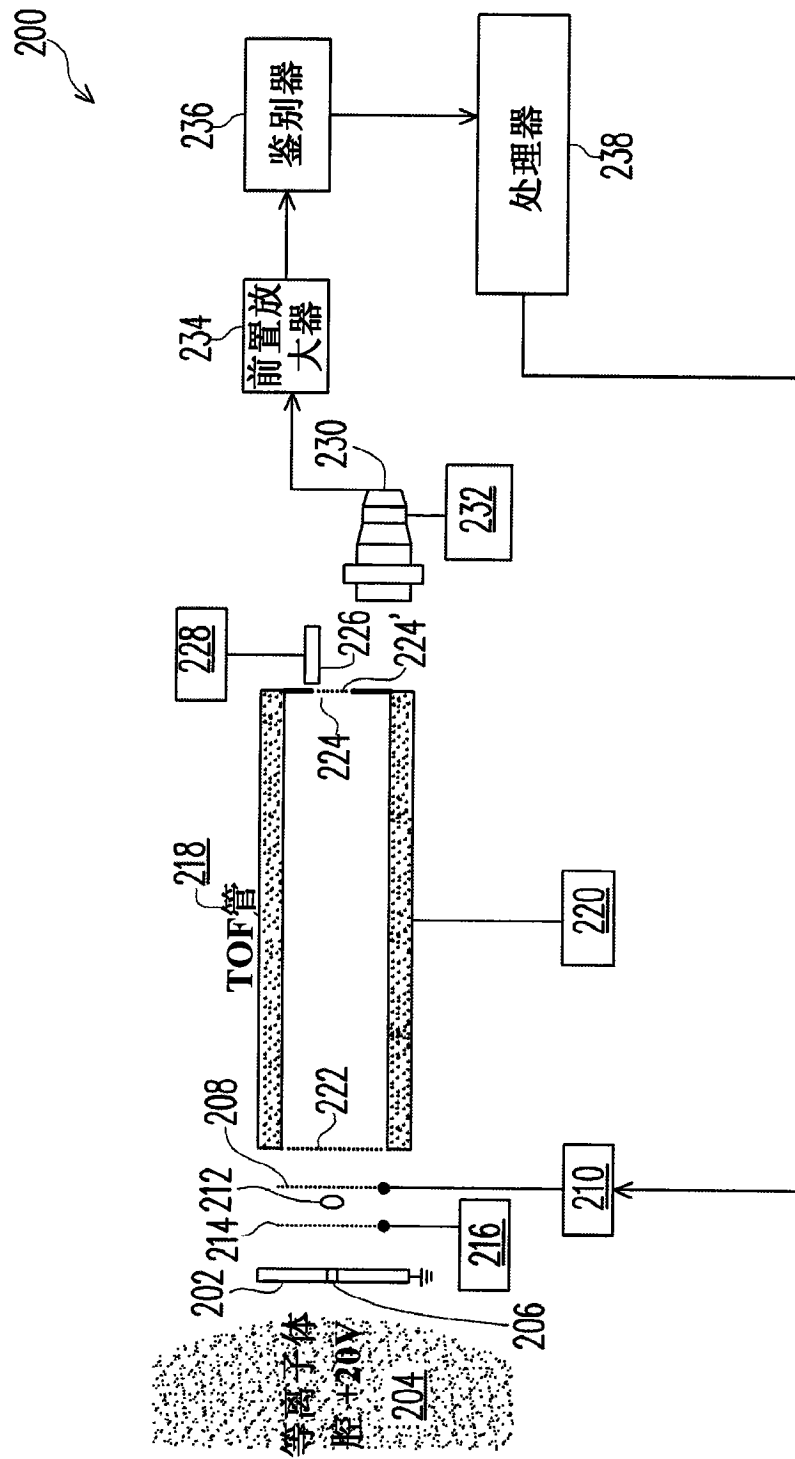


图 2

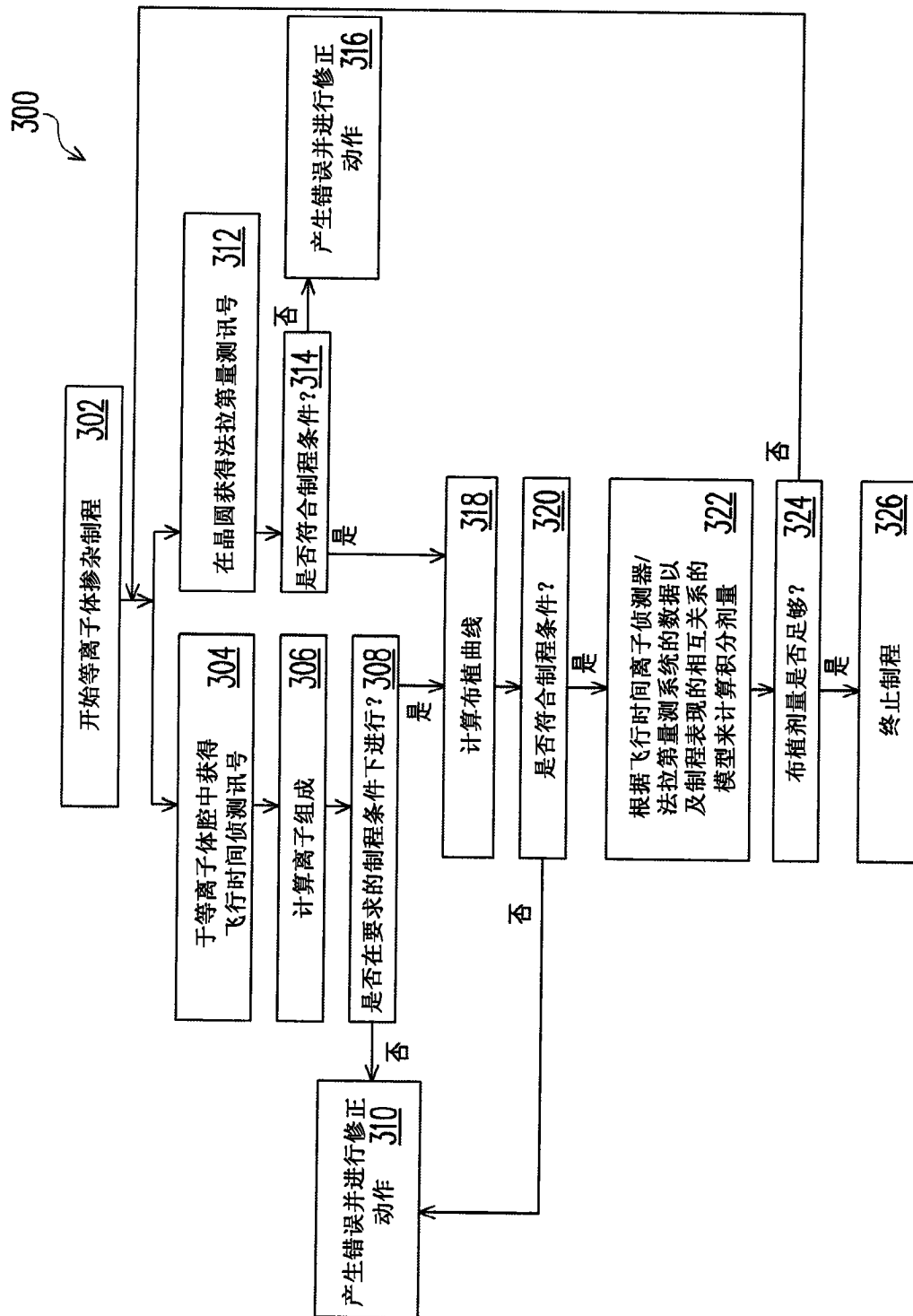


图 3