(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103155099 B
(45)授权公告日 2016.03.16

(21)申请号 201180047420.X

(22)申请日 2011.09.23

(30)优先权数据
12/896,036 2010.10.01 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.03.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2011/052981 2011.09.23

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/044536 EN 2012.04.05

(73)专利权人 瓦里安半导体设备公司
地址 美国麻萨诸塞州格洛斯特郡都利路35号

(72)发明人 卢多维克·葛特 派崔克·M·马汀

(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 21/027(2006.01)
G03F 7/40(2006.01)
H01J 37/32(2006.01)

(56)对比文件
EP 0132015 B1,1989.08.09,
US 2005/0051517 A1,2005.03.10,
US 2006/0236931 A1,2006.10.26,
US 2008/0182419 A1,2008.07.31,
CN 101177781 A,2008.05.14,

审查员 周忠饶

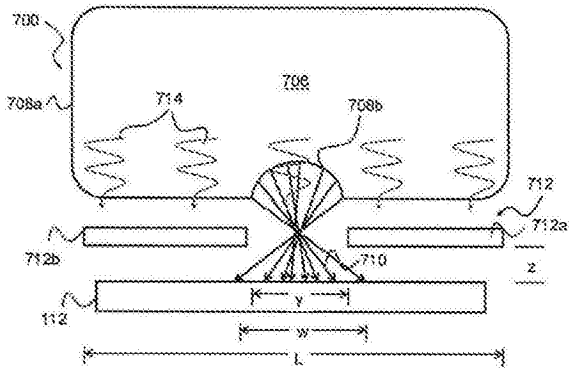
权利要求书2页 说明书13页 附图11页

(54)发明名称

使用电磁辐射及离子植入进行光阻改质的方法与系统

(57)摘要

减少配置于基板上的光阻特征的表面粗糙度的方法包含产生有等离子体鞘和该等离子体鞘内的离子的等离子体。而在等离子体鞘和等离子体之间的边界外形可通过等离子体鞘调节器调整，使得面向于基板的部份边界不平行于基板所定义的平面。于第一次曝光期间，光阻特征曝露于拥有所欲波长的电磁辐射，而且离子穿越已调整过的边界外形在一角度范围内朝向光阻特征加速。



CN 103155099 B

1. 一种减少配置在基板上的光阻特征的表面粗糙度的方法，包括：

产生含有等离子体鞘和在其中的多个离子的等离子体；

利用等离子体鞘调节器调整定义在该等离子体与该等离子体鞘之间的边界的外形，以致面向于该基板的该边界的一部份不平行于由该基板所定义的平面；

于第一次曝光期间将该光阻特征曝光于具有所欲波长范围的电磁辐射；且

在该第一次曝光期间加速所述离子，使其穿越具有经调整的外形的该边界，在一个角度范围内朝向该光阻特征前进，其中该等离子体鞘调节器用来传递具有所欲波长范围的该电磁辐射，且用以阻挡波长范围在该所欲波长范围以外的电磁辐射，该所欲波长范围包括紫外线波长范围，该角度范围是以垂直于由该基板所定义的该平面的轴为中心的正负 60 度之间。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中调整该边界的该外形的方法包括：

提供拥有一对调节器部分的等离子体鞘调节器，且该等离子体鞘调节器定义了该对调节器部分之间的一间隙，且在该间隙附近的该边界的该外形相对于该平面是凸起的。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该曝光与该加速是发生于同一时间。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该些离子剂量的能量在 1keV 至 10keV 之间。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，还包括在该第一次曝光期间维持该基板的温度在 30℃或更高。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该等离子体鞘调节器包含一或多个半导体膜层。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该等离子体鞘调节器实质上对 UV 辐射是可穿透的。

8. 一种调整基板上的图案化光阻特征的粗糙度的方法，该光阻特征具有第一粗糙度，该方法包括：

产生含有等离子体鞘和在其中的多个离子的等离子体；

提供定义一个开口的等离子体鞘调节器 (PSM)，用来调整该等离子体与该等离子体鞘之间的边界外形；

于第一次曝光期间加速该些离子穿越已调整过外形的该边界朝向该图案化光阻前进；以及

在至少该第一次曝光的一部份期间，将图案化光阻曝光于具有第一波长范围的电磁辐射，该电磁辐射是由该等离子体发射而出，其中曝光于该些离子及该具有该第一波长范围的该电磁辐射的该图案化光阻展现出比该第一粗糙度还少的第二粗糙度，其中该等离子体鞘调节器包含阻挡具有第二波长范围的电磁辐射的材料，该第二波长范围在该第一波长范围之外。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中该第一波长范围是 UV 波长范围。

10. 根据权利要求 8 所述的方法，其中该第一波长范围是指红外线 (IR) 波长范围。

11. 根据权利要求 8 所述的方法，其中该等离子体包含第一物种及第二物种，该第一物种产生的离子用来藉由撞击该光阻特征以减少该第一粗糙度，而该第二物种用来发射出在 UV 波长范围内的该电磁辐射。

12. 根据权利要求 8 所述的方法，还包含在该第一次曝光期间提高该基板的温度于 30℃至 300℃。

13. 根据权利要求 8 所述的方法，其中该等离子体鞘调节器包含石英。

14. 根据权利要求 8 所述的方法，其中该等离子体鞘调节器包含一或多个硅薄膜。

15. 根据权利要求 8 所述的方法，其中于该第一次曝光期间该些离子以一个角度范围冲击该图案化光阻特征，该角度范围是以垂直于由该基板所定义的平面的轴为中心的正负 60 度之间。

16. 一种减少光阻特征粗糙度的方法，包含 ：

产生拥有等离子体鞘的等离子体 ；

利用等离子体鞘调节器调整由该等离子体和该等离子体鞘所定义的边界的外形，使得该边界的该外形的一部份不平行于由面向该等离子体的基板所定义的平面 ；

于第一次曝光期间维持该基板温度在 30℃至 300℃ ；及

于该第一次曝光期间使自该等离子体而来的离子以一角度范围冲击该光阻特征，以减少该光阻特征的粗糙度，其中该角度范围是以垂直于由该基板所定义的该平面的轴为中心的正负 60 度之间 ；

在至少部分的第一次曝光期间，将该光阻特征曝露于具有第一波长范围的电磁辐射，该电磁辐射是由该等离子体所发射，其中该等离子体鞘调节器包含阻挡具有第二波长范围的电磁辐射的材料，该第二波长范围在该第一波长范围之外。

使用电磁辐射及离子植入进行光阻改质的方法与系统

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及元件制造的领域。更具体地说，本发明涉及用来使基板图案化及对基板进行以制造元件的方法，系统和结构。

背景技术

[0002] 光学微影技术时常被使用于电子元件的制造。它是一个使基板图案化的过程，使得电路可在基板上根据该图案而形成。参照图 1a-1e，该图简述说明光学微影的过程。一般来说，基板 112 涂布有可光致硬化、可聚合化的光阻 114（图 1a）。之后，于基板 114 和光源之间（未显示）放置具有所欲的开口图案的光罩 142。从光源发出的光线 10 经由光罩 142 的开口照射着基板 112，而且经由光罩开口的光线（或是图案的影像）投影在光阻 114 上。光阻的一部份 114a 曝光在光线 10 之下且硬化，而光阻的其他部份 114b 仍保持未硬化状态（图 1b）。所以，由光阻 114a 的已硬化部分形成光罩开口的图像。

[0003] 如图 1c 所述，光阻上未硬化的部份 114b 被剥除而且对应于光罩开口图案的 3D 光阻特征或凸纹 114a 仍可维持在基板 112 上。之后，经过蚀刻的基板，对应于光罩开口图案的负型图案的凹槽 116 可在基板上形成（图 1d）。在剩余的光阻 114b 被移除后，图形化的基板 112 便可形成（图 1e）。若将金属层沉积在凹槽上，基板 112 上便可形成具有所欲图案的电路。

[0004] 参照图 2，显示一个把光罩开口图案投影于基板的传统式光学微影系统 200。该光学微影系统 200 包含了光源 222，光学积分器 232 及聚光（焦）透镜 234。除此之外，此光学微影系统 200 还包含了拥有所欲开口图案的光罩 142 和投影镜片 252。如图所述，具有所欲波长光线从光源 222 发射至光学积分器 232 和聚光（焦）透镜 234，光学积分器 232 和聚光（焦）透镜 234 整体称作照明器 230。在照明器 230 中，光线 10 被扩张， 等均匀化，聚焦或经其他处理。光线 10 照射在具有所欲的开口图案的光罩 142 以致被投影于基板 112。经过光罩 142 的开口的光线 10 可携有光罩开口图案的信息。接着，投影镜片 252 搜集光线 10，并将光线 10 或光罩开口图案的影像投影到沉积在基板 112 的光阻上。于投影影像过程中，投影镜片 10 可将影像缩小 4 倍或 5 倍。

[0005] 为了使用较小的特征尺寸（例如，凹槽的宽度）产生电路图案，不少改良的方式已经应用在制程中。如现有技术所知，投影出微小特征的清晰影像的能力可能有赖于制程中所使用光线的波长。依目前而言，波长 365nm，248nm，193nm 的紫外光在使用中。

[0006] 虽然光学微影是有高生产量的有效制程，但并非没有缺点。缺点之一是线宽粗糙度 (LWR) 或线边缘粗糙度 (LER)，如现有技术所知，线宽粗糙度 (LWR) 是未硬化的光阻 114b 的部分从基板被剥离后，光阻特征宽度上的过量偏差。由 LWR 或 LER 所产生的粗糙度或偏差可能是不利的，因为此偏差可能在蚀刻期间转移至凹槽，最终转移至电路。随着光阻凸纹或凹槽的特征尺寸逐渐递减，偏差变得越来越大。已在 32nm 的元件上观察到 4nm 或更大的偏差。因为包含线粗糙效应（例如 LWR 或 LER）的图案化光阻特征的几何形状，在对下层进行图案化期间，会从光阻层转换到下方的永久层，在尺寸低于 100nm 时，LWR 和 LER 会限制

形成可接受品质的元件的能力。如此的偏差会造成非均匀的电路，最终造成元件的衰退或故障。除此之外，依赖于设计的准则，元件效能还会被短程、中程或长程范围粗糙度其中之一所冲击影响。

[0007] 已提出好几个方法，尝试去处理 LWR 和 LER 的效应。其中一个例子，干式化学蚀刻制程具有移除光阻的能力，但一般都会遭受到图案依赖性负载效应的影响，当相对于隔离特征时，在密集图案化的区域有着不同的移除方式。如此的干式化学蚀刻制程也可能会在在光阻图案里带来不想要的缺陷，而且可能造成良率的损失。除此之外，为了维持对下层将被图案化的特征的关键尺寸 (CD) 的控制，重要的是，任何用来处理光阻的 LWR/LER 效应的制程需留下原有的光阻特征，如光阻的高度，宽度和外观，完整度。

[0008] 另一方式是藉由曝光粗糙图案于紫外线灯，使用深紫外光 (DUV) 硬 化，其中，透过辐射曝光的加热来平坦化粗糙线段。这方式在线段转角处会出现造成图案后退的不想要的负效应，使得线段变形，造成元件无用。

[0009] 为了处理光阻的 UV 微影制程的绕射极限，即线段或其他图案的 CD 特征尺寸低于照明辐射的绕射极限，于是发展出双倍图案化微影技术 (DPL)。已经发展出很多种方式，尝试去保证 DPL 的成功率，包括了自我对准双倍图案化微影技术及化学式冷冻微影技术。然而，从成本和 / 或良率的观点，这些制程中每一个各有其优缺点。

[0010] 如上所述，对于需要很小的特征尺寸的技术（如次 100nm CD 的元件）来说，有一个改善光阻微影制程的需求。

发明内容

[0011] 本发明的实施例是针对改善基板的图案化的方法与系统，特别的是，藉由改善被用来图案化下层基板的光阻特征的粗糙度，来改善基板的图案化。在一示范实施例中，减少配置在基板上光阻特征的表面粗糙度的方法，包括了产生有等离子体鞘和在该等离子体鞘内的离子的等离子体。利用等离子体鞘调整器调整位于等离子体和等离子体鞘之间的边界形状，使得面向基板的边界的一部份不平行于基板所定义的平面。于第一次曝光期间，光阻特征暴露于拥有所欲波长的电磁辐射，且离子穿越已调整过外形的边界，在一角度范围内朝向光阻特征加速。

[0012] 在另一实施例中，提供一种方法以调整基板上的图案化光阻特征的粗糙度，该图案化光阻特征具有第一粗糙度。此方法包含了产生有等离子体鞘和位于该等离子体鞘内离子的等离子体；提供等离子体鞘调节器，其定义开口，且可调整在等离子体鞘和等离子体之间的边界的外形；以及在第一次的曝光期间加速着离子，使其穿越已调整外形过的边界，朝图案化光阻特征前进。此方法还包含在至少第一次的曝光的部分期间，用等离子体发射而出于第一波长范围内的电磁辐射来曝光图案化光阻特征，其中图案化光阻特征曝光于离子及拥有第一波长范围内的电磁辐射后，表现出比第一粗糙度还少的第二粗糙度。

[0013] 在另一实施例中，用来处理安置在基板上的光阻特征的系统包含等 离子体源，用来产生等离子体，该等离子体有等离子体鞘；和放置在等离子体和基板间的等离子体鞘调节器。等离子体鞘调节器用来控制定义在等离子体和等离子体鞘之间的边界的外形，以致边界外形的一部份不平行于由在等离子体前方的基板定义的平面，且用来传送所欲特定波长范围的电磁辐射，该电磁辐射是从等离子体发射而出。

[0014] 再更进一步的实施例中，减少光阻特征的粗糙度的方法包括产生含有等离子体鞘的等离子体；利用等离子体鞘调节器调节定义在等离子体和等离子体鞘之间的边界的外形，使得边界的外形的一部份不平行于由面向等离子体的基板定义的平面；且于第一次曝光期间维持基板温度大约从 30℃至 300℃，及于第一次曝光期间在一个角度范围内，使自等离子体而来的离子冲撞光阻特征，以降低光阻特征的粗糙度。

附图说明

[0015] 图 1a-1e 是一种基板剖面图，用来说明传统光学微影制程的步骤。

[0016] 图 2 是一种传统光学微影系统的图像说明，该光学微影系统用来投影光罩开口图案的影像于基板上。

[0017] 图 3a 是基板处理系统的图像说明，其根据本发明的其中一个实施例。

[0018] 图 3b 是本发明的一实施例中基板上入射粒子的角度分布的图例说明。

[0019] 图 4 是说明本发明示范性特征的等离子体鞘调节器和光阻特征的剖面图。

[0020] 图 5 图示光阻线受离子曝光前后的示范性 LER 资料，根据本发明，该离子是从使用等离子体鞘调节器的等离子体系统所抽取出来。

[0021] 图 6 图示光阻线受离子曝光前后粗糙度的频率差异的示范性资料，根据本发明，该离子是从使用等离子体鞘调节器的等离子体系统所抽取出来。

[0022] 图 7 是说明根据本发明组态其中之一而安置的等离子体系统。

[0023] 图 7a 是说明一示范性的系统组态，其中 PSM 用来传送由等离子体发射出来的紫外线光子。

[0024] 图 7b 是说明一示范性的系统组态，其中 PSM 用来阻挡由等离子体发射出来的紫外线光子。

[0025] 图 7c 是说明一示范性的系统组态，其中 PSM 用来选择性传送由等离子体发射出来的紫外线光子。

[0026] 图 8 是说明根据本发明的组态，在不同基板温度下的 LWR 和 CD 的资料

[0027] 图 9 图示出本发明的方法涉及的示范性步骤的摘要。

[0028] 图 10a 和图 10b 是各自从剖面和平面的观点，图示说明根据本发明的另一实施例，其用来处理 3D 结构的技术。

具体实施方式

[0029] 本发明将参照已完成的图示作更完整的描述，其中呈现本发明较佳的实施例。然本发明能在许多不同形式中实施且不受限于后面所述的有限实施例。而这些实施例用来使本揭示能彻底及完全，且完全地向本领域技术人员传达本发明的范围。在图中的各处，相同的编号数字参照至相同的元件。

[0030] 为解决上述方法中的缺陷，提出了用来图案化基板的新颖且具进步性的技术和系统。尤其，本揭示集中在用来改善光阻特征品质的离子植入制程技术，如改良光阻特征的 LWR 和 LER。在此揭示的制程能与形成窄特征的制程相结合，包含了集合成为间距很小的阵列的特征，例如，小于大约 250nm 的间距。这样的制程包括传统 DUV 光学微影、双倍图案化光学微影、自我对准双倍图案化光学微影，而且还有其它光学微影制程。然而，本领域技术

人员将认知到在此揭示的技术并不受限于与任何特别的光学微影或光阻特征尺寸相结合的使用。

[0031] 有些发明的实施例中使用等离子体浸润 (plasma immersion) 植入制程来处理尺寸非常小的光阻特征。揭示了包含处理三维结构制程技术的多个实施例。为达清楚与简化的目的，实施例中描述了处理面向多个角度的光阻的制程。然而，本领域技术人员将认知到本揭示并不受限。该结构能是平面朝向任何不同角度的结构。

[0032] 实施例亦描述了使用等离子体类基板处理系统的技术。然而，本领 域技术人员将认知到其他种类的基板处理系统（次原子类、原子类或分子粒子类），包含了等离子体溅射和射束线离子植入系统，都在本发明揭示的范围内。

[0033] 参照图 3a，图示出根据本发明其中一实施例用来处理 3D 结构的基板处理系统 300。图 3b 则说明使用粒子处理光阻的角度分布。图式并未按照比例绘示。

[0034] 如图 3a 所示，系统 300 包括制程反应室 302，该反应室放置着基板 112 和支称基板 112 的平台 304。在本揭示中，该基板 112 可为金属、半导体、绝缘体材料类基板。在本揭示中，图案化光阻可以配置在基板上。图案化光阻可以是未硬化光阻部分剥除后，保留在基板上的光阻的硬化部份。

[0035] 系统 300 亦包括用来产生等离子体 306 的等离子体源（未显示出来），该等离子体 306 包含于制程反应室 302。而等离子体源可为原生 (in situ) 或远端感应式耦合等离子体源、电容式耦合等离子体源、螺旋波源、微波波源，或其他任何型态的等离子体源。本领域的技术人员将认知到在某些例子中，平台 304 亦可作为等离子体源。

[0036] 一或多个等离子体鞘调节器 312 放置在等离子体 306 和基板 112 之间。在本实施例中，等离子体鞘 312 包含了彼此间隔距离”y”的一对调节器部分 312a，312b。在另一实施例中，调节器 312 可含有单一调节器部分。而在其他实施例中，调节器 312 包含有三或更多个调节器，彼此见隔开，而定义一间隙。

[0037] 等离子体鞘调节器 312 能调节等离子体鞘的电场。在某些实施例中，等离子体鞘 312 能够正向或负向的充电。等离子体鞘调节器 312 可由电性绝缘（例如，石英）材料，导电（例如，金属）材料或综合两者所制造。另一方面，等离子体鞘调节器 312 亦可使用半导体材料（例如，硅）来制造。若系统 300 含有超过一个的调节器部分，该部分可由相同或不同的材料所制作。例如，系统 300 可包括了含有两个调节器部份 312a 和 312b 的等离子体鞘调节器 312。而调节器部份 312a 和 312b 可由相同的材料或不同的材料制作。

[0038] 若等离子体鞘调节器 312 包括了二个或更多个部份，该部分会放置在相同或不同的水平面。例如，处理系统 300 内的等离子体鞘调节器 312 可包括了 2 个调节器部分 312a 和 312b，且该些部份放置在相同的平面使得位于基板 112 和每一个调节器部分 312a 的垂直间隔”z”都是一样的。在另一实施例中，调节器 312 可包括了 2 个调节器部分 312a 和 312b，且每一个部份 312a 及 312b 离基板 112 有不同的垂直间隔“z”。对使用等离子体鞘调节器的制程系统的额外描述可在以下共同审查案中找到：美国专利申请号 12/417,929，申请日 2009 年 4 月 3 号，已获准美国专利（专利号 7,767,967）；美国专利申请号 12/644,103，申请日 2009 年 12 月 22 号；及美国专利申请号 12/848,354，申请日 2010 年 8 月 2 号，在此提及的每一案均以引用的方式并入本说明书。

[0039] 在操作过程中，原生或远端产生的等离子体包含于制程反应室 302。而等离子体

306 可含有多个片段，包含电子、质子、原子或分子离子、中子以及所要物种的自由基。在本揭示中，等离子体片段可用来在基板 112 上掺杂、蚀刻或沉积材料。在等离子体 306 里的物种并不受限于 1 或多个特定的物种。该物种可包含 1 或多个元素表里族 I 和 3A 到 8A 的元素。包含于等离子体 306 里的物种例子可包括氢 (H)、氦 (He)、和其他稀有气体，以及碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、砷 (As)、硼 (B)、磷 (P)、锑、镓 (Ga)、铟 (In)、碳硼烷 ($C_2B_{10}H_{12}$) 或其他分子化合物。如图 3a 所述，等离子体 306 亦包含在周围的等离子体鞘 308。在本实施例中，等离子体鞘 308 可包含正电荷离子 310。

[0040] 如图所描述，等离子体鞘 308 为等离子体 306 的边界所表现出来。然而，应理解，鞘 308 可从等离子体 306 的边缘延伸一段距离，至等离子体 306 周围的物体表面，例如，等离子体鞘 308 可延伸至基板 112 的表面。

[0041] 当基板 112 被直流电压 (DC) 或射频电源 (RF supply)（未显示于图上）所偏压，等离子体鞘 308 内或等离子体 306 内的离子 310 会直接朝向基板 112 移动。不论直流电压 (DC) 或是射频电源 (RF supply) 的偏压，施加于基板 112 的偏压讯号可以是连续的或是脉波 (pulse)。

[0042] 等离子体鞘调节器 312 可调整等离子体鞘 308 的外形，以控制离子 310 的入射角分布。例如，等离子体鞘调节器 312 可调整等离子体鞘 242 内的电场及调整等离子体鞘 308 的外形。在本实施例中，等离子体鞘调节器 312 至少可以将鞘 308 的一部分调整为相对于等离子体 306 的主体为凹形的鞘 308b（已调整的鞘 308b），或相对于等离子体 306 的主体为圆顶形（凸形）。与基板 112 比较起来，已调整过的鞘 308b 外形并不平行于基板 112 所定义的平面。当基板 112 受到偏压，被基板 112 吸引过去的离子 310，以大范围的入射角穿越过调节器 312a 和 312b 之间的间隙“y”。在传统的等离子体类处理系统中，最接近基板的等离子体鞘平行于基板。当基板受偏压后，离子在实质上垂直于等离子体鞘的路径上移动着，于是垂直于基板。因此，离子在传统等离子体处理系统的入射角分布范围为 -5° 至 +5°，且基本上会接近于 0 度。然而，在本实施例中，离子 310 的入射角可用已调节过的鞘 308b 来调整。如图 3a 所述，相较于基板而言，已调节过的鞘 308b 是多个角度的。基此，垂直于已调节过的鞘 308b 移动的离子 310 可在多重角度下移动。自已调节过的鞘 308b 的不同部分朝向基板 112 移动的离子 310 可具有不同的入射角，所以离子 310 有大范围的入射角。如图 3b 所述，离子 310 的入射角范围大约在于 +60° 至 -60° 之间，以 0 度为中心。在一些实施例中，离子 310 的入射角额外地被等离子体鞘调节器 312 产生的电场所调整。

[0043] 有赖于一些因素（但不受限于此），包括等离子体鞘调节器 312 的组态和特质，离子 310 的入射角可额外地被调整。这些因素的例子包括调节器部分 312a 和 312b 之间的水平间隔 (Y)，调节器 312 和基板 112 之间垂直间隔 (Z)，基板 112 和每一个调节器部分 312b 和 312b（未显示）的垂直间隔 (z)，和调节器 312 的电气特质。亦可调整其它等离子体制程参数来调整离子 310 的入射角且 / 或入射角分布。其它额外的描述可以在共同待审的美国专利申请案（申请号 12/418,120，12/417929，12/644103，和 12/848,354）中找到，在此提及的每一个申请案皆以引用方式并入本文。

[0044] 藉由调节等离子体鞘 312，表面朝向不同角度的 3 维结构可被共形地或等向地处理。如下所载，已调节过的等离子体鞘 312 能同时等向地处理 3D 结构（例如，3D 光阻）的多重表面。

[0045] 参照图 4，说明了根据本发明的一实施例处理 3D 结构的技术。在本 实施例中，使用该技术来减少在 3D 光阻凸纹 114a 内的 LER 和 LWR。如上所述，在光阻的未硬化部分被移除后，LER 和 LWR 发生于在光学微影期间产生的光阻凸纹内。在本实施例中，光阻凸纹 114a 内的 LER 和 LWR 可藉由使用上表面的等离子体鞘调节器 312，对光阻凸纹 114a 的不同表面执行等离子体掺杂 (plasma doping，PLAD) 或等离子体浸润离子植入 (plasma immersion ion implantation，PIII) 处理来降低。本领域的技术人员将认知到图式并不一定按比例绘示。

[0046] 如图 4 所示，有着侧表面 114a-1 和上表面 114a-2 的 3D 光阻凸纹 114a 能沉积在基板 112 上。基板 112 和光阻凸纹 114a 放置在包含等离子体鞘调节器 312 的等离子体处理系统中，等离子体放置在靠近基板 112 的附近。之后，在等离子体内的离子 310 可直接穿越等离子体鞘调节器部份 312a 和 312b 之间的间隙，朝向光阻凸纹 114a 的表面前进。如图所述，离子 310 得以多个入射角度前进。

[0047] 在本实施例中，离子 310 可植入进光阻凸纹 114a 的上表面 114a-1 和侧表面 114a-2。虽然现在各式各样的离子物种得植入，但在本发明中可植入氦或氩。即使光阻曝露于离子的期间能有很大的范围，但其曝光时间可以在 1 秒至好几分钟内变动着。

[0048] 执行一个实验，研究根据本发明而放置的等离子体处理系统 (PSM) 对 LER 的效应。如下所使用方式，所谓“PSM 系统”或“PSM 等离子体系统”是指一种等离子体处理系统，利用等离子体鞘调节器去达成朝向邻近于一部份等离子体的基板的宽范围离子角度分布。与离子入射角度结合使用的用词，“宽”、“宽范围”、“宽角度范围”，是指总范围达到 5 度或更大的角度组合。如图 3b 所示，等离子体鞘调节器用来提供离子剂量的角度范围很宽的曝光。再次参照图 4，一些标称约 40nm CD 的光阻线曝光于 3KeV He 等离子体。藉由以 3-4kV 的能量植入 He 离子 310 进入光阻凸纹 114a 的上表面 114a-2 和侧表面 114a-1，LER 从 5.6nm 改善至 3.2nm，且可观察到 LER 和 LWR 有 40％的改善。藉由等离子体鞘调节器 312 植入 He 离子，光阻凸纹 114a 的多个表面 114a-2 和 114a-1 会等向地且同时地改善。

[0049] 除此之外，只观察到光阻凸纹 114a 发生轻微的关键尺寸收缩。特别 地是，已量测过的 CD 从制程开始前的 39.1nm 减少到制程结束后的 37.6nm，显示出用氦离子 310 以不同入射角度植入光阻凸纹 114a 后只会产生 4％的收缩。而且亦观察到轻微的皱化或溅射。因为 PLAD 或称 PIII 是低能量制程，离子 310 植入的深度会很低。因此，光阻凸纹 114a 由离子植入形成的任何改变，例如光阻收缩且 / 或溅射都是轻微的。

[0050] 进一步言，亦观测到光阻凸纹 114a 的多个表面同时等向地硬化。若利用额外的光学微影制程来达到双倍图案化微影 (DPL) 或自我对准双倍图案化微影 (SADPL) 制程，光阻凸纹 114a 的同时等向硬化会是一个优点。在 DPL 或 SADPL 下，执行第二次微影制程，在 2 个第一次光学微影产生的原始光阻凸纹之间产生额外的光阻凸纹。形成额外的光阻凸纹会降低光阻凸纹之间的距离且会造成具有更小宽度的凹槽的基板 112。第二次微影制程期间可能会执行化学处理。执行时，于第一次微影制程中形成的光阻凸纹可能会受到不利的影响。在本实施例中，等向硬化的光阻凸纹能抵挡得住第二次微影制程中的化学式处理过程。基此，利用额外的光学微影制程来达成 DPL 或 SADPL 是有可能的。

[0051] 如图 4 所示，根据本发明的其他实施例，选择离子的能量和形态来最佳化遭遇多角度离子轰击的图案化光阻特征的 LER 或 LWR。图 5 和图 6 描述离子能量和型态在光阻特

征粗糙度上的效应。图5描述光阻受到离子曝光前后的LER，该离子是由使用传统式等离子体配置的等离子体系统所取出。而且根据本发明使用等离子体鞘调节器。于曝光之前，观察到的LER约4.4nm。针对一系列的等离子体，包括硅、氩和氦等离子体，呈现曝露于等离子体对所得的LER的效果。图5亦描述了利用同样物种（氩或硅）但改变离子能量对LER的效应。在图5所示的所有等离子体条件都观察到LER显著的减少。按所谓“显著的”，是相对于粗糙的参数（如LER和LWR）而言，且一般指的是所给予的数值有约5％的降低。对2keV和8keV的硅离子而言，利用传统等离子体组态，LER在等离子体曝光后会分别地降低到3.9nm和4.0nm，而对2keV和8keV的氩离子，LER会分别地降低到3.8nm和3.7nm。然而，利用本发明的PSM系统，在4keV的氩等离子体和3keV的氦等离子体曝光下LER能有更大的降低，LER分别地降低到2.5nm和2.3nm，相当于各自有43％和

[0052] 如图6所示，除了能改善LER和LWR，本发明亦能改善低频和中频的粗糙度。对于改善元件效能，低频和中频的改善可说是特别有用，因为两者都会影响到场效电晶体的通道长度L_{eff}。众所周知地，图案化后基板的实体闸极尺寸的变化，直接地相关于用来图案化下层闸极结构的光阻特征的LWR。对于闸极和主动区域内之间的重叠相对较小的元件，中频粗糙度的成份能主控元件的效能，而对于闸极和主动区之间的重叠相对较大的元件，低频和中频粗糙度成份两者皆会影响到元件的效能。

[0053] 自上揭所述以观，图案化光阻特征的最佳化线粗糙度可能取决于用图案化光阻形成的下层基板中待制作的元件的本质。因此，在本发明的实施例中，一群参数需要经调整以在所欲粗糙度特征上达到最佳化减少。这些参数可能包括离子型态、离子能量、光阻型态、光阻的特征尺寸和与等离子体鞘调节器有关的几何特征。再一次参照图3a，前述的特征包含了水平间隙Y，垂直间隙Z和其他因素，这些更细节的信息都在共同待审的美国专利案（申请号12/418120，12/417929和12/644103）中揭示。

[0054] 根据本发明中进一步的实施例，图案化光阻特征除了得到由等离子体鞘调节器312产生的宽角度范围的离子剂量以外，还经历电磁辐射的曝光。按此所谓”电磁辐射”，除非另有说明，否则是指紫外线至可见红外线（IR）频谱范围。发明人认知到离子撞击与电磁辐射的结合，可以附加的或协同的方式移除光阻特征的粗糙度。

[0055] 在一实施例中，用来对一组图案化光阻特征提供离子剂量的等离子体也被用来作为UV辐射源，提供辐射给相同的光阻特征。除了发射出可见光辐射，在等离子体内游离化的气体基本上会发射出在紫外线频谱范围内的高能辐射。已经知道的是，从等离子体（如本发明的实施例所提供者）发射而出的辐射，是当激发物种从激发态返回低阶能量区而释放能量过程的特征。基本上在等离子体里有许多这种释放能量过程，包括惰性气体等离子体，例如氩或氦等离子体。这些产生红外线（IR），可见光或UV辐射线的过程可使得适当能量的光子去冲撞光阻特征且会造 成光阻的改变。使用已知的微影技术制程的UV辐射来曝光，造成之前未曝光过的正光阻经历化学变化，可使已曝光部份在显影液中易于溶解。在本发明中，在使用IR、可见光或紫外线辐射曝光的图案化光阻特征（意即原始光阻在被用来形成图案化光阻特征期间的微影制程期间未曝光的部份，其在显影过后仍存在于基板上），会产生化性或物性上的改变。虽然图案化光阻特征在微影制程后可能经过烘烤，然而曝露于电磁波辐射可能已足以软化图案化光阻，或以其他方式使图案化光阻更易受来自于等离子体的离子冲击的影响。在这种方式下，离子碰撞可被用来结合电磁辐射来改善图案化光

阻特征的粗糙度。

[0056] 在以下的讨论，为达说明的目的，所描述的本发明的实施例集中于使用来自等离子体的紫外线辐射来改良图案化光阻特征。在曝露于来自 PSM 等离子体的宽角度离子流的期间，图案化光阻受 UV 光子的原生曝光，可提高曝露于宽角度离子流所造成的光阻粗糙度效应。依此方式，LER 和 LWR 的降低会比不使用 UV 辐射剂量有效率。然而本发明亦涵盖了使用宽角度离子流结合其他波长的电磁辐射的方法与系统，例如波长在可见光 -IR 频谱范围内的光线。因此，本发明涵盖了对图案化光阻使用 UV- 可见光 -IR 此光谱波长范围内的辐射方法与系统。

[0057] 在本发明的实施例中，等离子体特质和 / 或等离子体系统的组态能调整以同时提供宽角度范围的离子剂量和 UV 辐射剂量两者，皆能有效加强由离子对光阻曝光过程所造成的粗糙度降低。

[0058] 在一示范实施例过程中，光阻系统、等离子体气体组成及运作条件经设定在 PSM 等离子体系统内使用，以致形成于其中的等离子体以一系列频率提供 UV 辐射，使所选的光阻系统产生变化。而等离子体气体组成可以基于单一气体，如氩、氦，或可以包含一些气体的混合，如惰性气体的混合（氩 / 氦，氩 / 氖，诸如此类），氟碳化合物 / 惰性气体混合物，含氧的气体组成，或其他气体组成。

[0059] 光阻系统可以是习知光阻，例如以 193nm 或 248nm 光学微影系统使用的光阻。在一示范性实施例方法中，气体组成及等离子体运作条件可被选定来产生 100nm 至 300nm 范围的 UV 辐射。该 UV 波长的范围于改变光阻系统内的化学键是有效的，特别是在光阻的表面区域。例如， 氩 / 氟碳化合物等离子体在放电过程中会产生 UV 辐射。在一示范性实施例中，UV 光阻系统，如所知的甲基丙烯酸酯类系统可用来形成图案化光阻系统。这些高分子化合物的型态可以建构为含有氧的悬挂群，其在曝露于适当波长的U V辐射之后易移除。因此，这会造成断链或影响高分子化合物结构及 / 或合成物的其他反应。

[0060] 借着利用自 PSM 等离子体产生的 UV 辐射来改变图案化光阻的高分子化合物结构及 / 或合成物，从 PSM 等离子体抽取而出的宽角度的离子流可更有效地减少光阻特征的粗糙度。例如，至少光阻特征的一部份可藉由 UV 辐射的曝光造成化学性 / 物理性的改变来软化。该软化有助于由离子撞击光阻特征所引起的平滑制程。

[0061] 然而，过量的 UV 辐射会造成不想要的光阻特征分解或光阻的过量移除，导致 CD 的过度损失或改善表面粗糙度的失败。因此，本发明的实施例是针对适当剂量的 UV 辐射，其可以附加式或协同式与自等离子体抽取而来离子一起作用，改善图案化光阻特征上的 LWR 及 LER。

[0062] 图 7 描述了根据发明的其中一组态而安置的 PSM 等离子体系统 700 的细节。系统 700 包括等离子体 706，离子 710 及 UV 光子 714 从等离子体 706 射到基板 112。系统 700 可包括了反应室墙及基板支撑装置（皆未显示于图中）。含有部分 712a 及部分 712b 的 PSM712 产生了等离子体鞘边界 708a，以在部分 712b 和部分 712a 之间的开口区域上形成凹形区域。如图 3a-6 的探讨，离子 710 在所示宽角度范围下撞击基板 112，能够改善光阻特征的 LER 及 LWR。此外，由等离子体 706 发射而出 UV 光子 714 的一部份能用在基板 710。例如，当等离子体 706 被激发时，包括 IR、可见光和 UV 光子的电磁辐射在一宽角度范围发射出来。为了简便，只有显示出一些垂直朝向基板 112 的光子。

[0063] 根据本发明及如下的详细描述，等离子体 706 和等离子体鞘调节器 712 作为基板 112 的 UV 辐射源。藉由选择等离子体气体组成、PSM 材料和 PSM712 的几何结构，UV 辐射对基板 112 的曝光是能够调整的。

[0064] 图 7a 描述了 PSM716 传递 UV 光子 714 的系统组态 702，自等离子体 706 发射而出的光子冲撞基板 112 的整个表面。PSM716 可包含了在所欲的频率范围内对 UV 辐射具有高度透射性的物种。如上所述，例如基板 112 上图案化光阻特征可包含对波长在 180nm 至 250nm 范围内的 UV 辐射敏感的光阻。换言之，当受到波长在 180nm 至 250nm 范围的辐射，光阻可易于进行化学性 / 物理性变化。因此，如图 7a 所示，为传递 UV 光子 714 到整个基板 112 平面，PSM716 可含有对波长在 180nm 至 250nm 范围内的辐射有高度透射性的物种。例如，PSM716 可含有在约 180nm 以下有截止频率 (cutoff frequency) 的熔融石英 (fused silica) 材料。另一方面，为了与对波长 130nm 至 150nm 范围内的辐射敏感的光阻一起使用，PSM716 可含有对波长低至 130nm 的辐射具高度透射性的氟化钙 (CaF_2) 物种。PSM716 可含有多于一种的材料，包括含不同的绝缘体的堆迭层，其中 PSM716 的主体部分的一侧或多侧上涂布有薄膜。如铝氧化物、硅氧化物，宽能带隙半导体的材料和其他材料，能用来形成 PSM716 的一部份。

[0065] 利用能传递 UV 辐射的 PSM716，当等离子体 706 存在时，这实施例促使基板 112 同时曝露于 UV 辐射和离子冲撞。例如，PSM716 可设置一个机构（未显示出来），在 PSM716 和基板 112 之间提供相对横向平移运动。此机构于由 L 所定义的 +/- 方向的整个基板上可启动来移动 PSM716 的开口，基于此机构，于扫描期间能使全部基板 112 曝露于离子 710。显然地，在一个扫描或一系列扫描期间的任一个时间点，基板 112 只有其由横向尺寸 w 定义的一部分曝露于离子 710，而整个基板 112 可以在整个扫描期间曝露于 UV 辐射 714。因此，图 7a 的组态对于特定光阻系统来说（亦即，相对于产生所欲的化性或物性变化以降低 LWR 或 LER 的离子流，需要更大量的 UV 流的光阻系统）是有用的。

[0066] 图 7b 描述 PSM718 阻挡 UV 光子 714 的示范性系统组态 704，自等离子体 706 发射出来的 UV 光子被阻挡下来以免冲击到基板 112，只有在部分 718a 和 718b 之间所形成的开口的下方区域除外。PSM718 含有任何可阻挡住 UV 光子 714 的材料。若在此组态的任何时间点应用了扫描机构，接收到离子流的基板 112 的区域（如区域 w 所示）会相当或有点大于接收 UV 光子的区域（见区域 y）。因此，图 7a 的组态对于特定光阻系统来说（亦即，相对于产生所欲的化性或物性变化的离子流，需要少量的 UV 流（与大角度范围的离子流一起作用以降低 LWR 或 LER) 的 光阻系统）是有用的。

[0067] 图 7c 描述 PSM720 部分地阻挡 UV 光子 714 的系统组态 705，自等离子体 706 发射出来的 UV 光子能被 PSM720 选择性（根据光子波长）透射。例如，PSM720 能选择性透射在第一 UV 范围内的辐射，而在第二 UV 范围内能阻挡辐射。这种选择性可藉由习知的用于制作 PSM720 的材料来达成。众所周知，添加掺质至氧化物，如基于二氧化硅的物种，能改变二氧化硅在 UV 范围内的透射率 (transmissivity)。然而，PSM720 可包含了只能透射 UV 光谱的一部分的 UV 辐射的主体物种。另一方面，PSM720 可包含层结构，其作为滤材，仅使具有特定波长范围或 UV 波长范围的辐射能通过。例如，PSM720 能够使得两个不同波长范围的辐射通过，且这两个不同波长范围的辐射由阻挡波长范围（亦即此波长范围内的辐射不会通过 PSM720) 所分离。这样的滤材可包括多重氧化层，半导体和氧化层及其他组合。例如，

多层结构可含有多个厚度相当的层或含有一个主体层，且在主体层的一个或多个表面上涂布薄膜。因此，在图 7c 的组态中，于任一时间点，就区域”y”来看，从等离子体 706 发出的所有 UV 光子（由光子 714a、714b 表示）都可以到达基板 112，而就较大的区域 L 来看，只有波长未被过滤的光子 714b 可以穿过 PSM720 到达基板 112。

[0068] 因此，图 7c 的 PSM 组态对于特定光阻系统而言是有用的，即在该光阻系统中，特定的波长范围 (714b) 对离子 710 降低 LWR 的效应有所帮助，但其他波长范围 (714a) 对于降低 LWR 并无帮助且 / 或对 LWR 或其他光阻性质（例如承受进一步微影制程的能力（光阻”硬度”））有不利效果。

[0069] 在本发明更进一步的实施例里，当图案化光阻结构曝光于使用 PSM 产生的宽角度离子流，基板温度可被调整，如图 3a，及图 7 － 7c 所述的结构。图 8 提供了光阻特征在不同的基板温度下遭受到 4kV 氩离子的撞击实验量测结果，利用根据本发明的结构使用 PSM 的等离子体系统。从室温增加基板温度到 75℃，可降低由氩离子处理所产生的 CD 损失数量，而且实质上会增加 LWR 的改善。并可察知基板温度的大量上升会对 LWR/LER 产生更进一步的改善。然而，基板温度可以上升的程度受限 于升高温度时分解、软化、融解过程的开始点。

[0070] 一般来说，上述所提及的示范性系统、方法、合成物，可以任何组合形式使用，来改善粗糙度结果，如在 LWR/LER 的减少，在高频、低频、中频粗糙度变异的减少，及类似的图案化光阻特征。

[0071] 根据本发明的实施例，图 9 提供了步骤摘要，其说明涉及减少图案化光阻特征的粗糙度的方法的示范性步骤。对有些步骤而言，提供了标题式选择准则，此可能包含了该方法的示范性子步骤。在步骤 902 中，决定光阻制程的条件。例如，制程条件可能涉及被用来形成图案化光阻特征的光阻型态。例如，这是标准工业用光阻或是发展来特定应用的光阻。此光阻制程条件亦涉及用来产生图案化光阻特征的微影制程的型态。例如，制程为标准微影制程或涉及双倍图案化制程，此需要更坚固的光阻以在本发明使用的等离子体处理之后承受附加的微影制程步骤。

[0072] 在步骤 904 提供适当的等离子体离子的条件。按此所谓”等离子体离子条件”，是指用来处理图案化光阻的等离子体的参数，包含用在基板的离子能量和形态。如图 5、图 6 所示，这些参数对 LWR/LER 的降低及在短和中等长度的粗糙度有强烈的影响。等离子体离子条件可提供给控制系统，在等离子体浸润植入系统里操作 PSM 等离子体，以在具有图案化光阻层的基板放入系统中时启动等离子体。

[0073] 适当的等离子体离子条件亦包含关于适当离子剂量的信息。此剂量信息可取决于设计准则（例如，标的 LWR）和制程参数（例如，更一步的对图案化光阻执行的制程步骤）。例如，标的元件设计可能需要拥有标的 LWR 及 / 或低频粗糙度的光阻特征，因此对用来制作光阻特征的第一次微影制程有所要求。第一次微影制程可以是待执行第二次微影制程的双倍图案化制程流程的一部份。对于给定的离子能量和角度分布而言，可以知道，或可以透过实验决定的是，在第一微影制程之后，第一离子剂量可以有效导致最大的 LWR 下降量，而再更高的剂量已不会显着影响粗糙度。更一步的可得知或从经验中获知，对于硬化图案化光阻而言，比第一次剂量还多的第二次剂量会比第一次剂量来得更有效果。因此，将图案化光阻曝露于第二离子剂量，可以使光阻在经历第二次微影制程以后，有较少的 CD 损失或减少

其他有害效果。所以，适当的离 子剂量会是以下这种第二离子剂量，该剂量可达到所需要的 LWR 和所需的光阻硬化，以形成为第二次微影制程作准备的光阻。

[0074] 在另一例子中，若第一离子剂量可使 LWR 达到最低值，但比第一剂量还多的离子剂量会增加 LWR，此时就比较不会想要使用较高剂量。因此，要在第一剂量和第二剂量间取得最佳的剂量，表示在最佳化 LWR 和改善硬度抵抗因第二次微影制程间产生的有害效应之间以取得平衡。

[0075] 在步骤 906，提供适当的等离子体辐射条件给处理系统，例如有着本发明的等离子体鞘调节器的等离子体离子植入系统。按此所谓”等离子体辐射条件”，是指来自等离子体的电磁辐射特征，其受下列因素影响，包括气体物种的选择，如前文所述。此等离子体辐射条件能被挑选来提升来自同一等离子体所产生的离子造成的光阻平滑效应。因此，提供适当的等离子体辐射条件可能包含挑选气体物种及等离子体操作条件，以在等离子体启动时，产生具有所欲波长范围的辐射。在一例子中，提供离子物种的步骤 904 及提供等离子体辐射条件的步骤 906 可能涉及选择既能有益于离子冲击的平滑效应又能有益于以 UV 辐射提高前述效应的气体物种。例如，低能量的氩制程被视为可以对图案化光阻特征提供平滑效应，且平滑效应可归因于暴露在从等离子体提取出来的高能氩离子。低能量的氩制程亦可发射出某一频率的 UV 光子，在所给予的光阻系统下可提升平滑效应。

[0076] 在另一例子中，步骤 904 的离子物种及步骤 906 的等离子体辐射条件的选择涉及选择一些气体种类，其中一种气体物种提供平滑效应（至少部分归因于离子轰击），而第二种气体物种提升平滑效应（至少部分归因于 UV 辐射）。例如，基于氩离子的制程被视为能达到图案化光阻特征的平滑效应，该平滑效应可归因于暴露在从等离子体提取出来的高能氩离子。除此之外，可得知或从实验中获知，氟碳化合物 (fluorocarbon) 物种能发射辐射（如 UV 光子），其能量可以有效提升平滑效应。因此，可设计出一种等离子体气体组成，包含氩 / 氟碳化合物的混合物，可达到有效的离子撞击和对图案化光阻特征的电磁辐射，且亦可提高平滑效应。

[0077] 在步骤 908，提供了适当的 PSM 结构，这可包含提供适当的 PSM 几何结构，及适当的制作 PSM 的材料的特质。这些适当的特质可包含对目标波长范围的电磁辐射的透射率（透射条件）。在一例子中，有 UV 透射条件的 PSM 使得波长范围能有效调整光阻的 UV 辐射穿过。

[0078] 如前所述，本发明的等离子体鞘调节器可以提供大角度范围的离子流（以垂直于基板的方向为中心，约 +/-60 度范围）。然而，此分布根据特定光阻系统与几何可以作适当调整，以达到更少或更多的入射离子范围，例如，在如前所述的垂直 (z) 及水平 (y) 间隙作相对的调整。除此之外，如上详述，用于 PSM 的材料的选择可以改变，以调整到达图案化光阻的 UV 辐射的波长及量。

[0079] 例如，在步骤 910，于受 PSM 等离子体曝光过程中对支撑图案化光阻的基板提供适当的温度，这可能涉及提高基板温度于室温之上进而导致 LWR 或 LER 更大幅度的降低。

[0080] 在此所述的方法，如图 9 所述的步骤，可以自动化，例如，依据可执行指令的机器读取储存于电脑里的可读储存媒体内的清楚的程式指令来自动执行。而一般用途的电脑可为此所述的机器的例子之一。就现有技术所知的适当储存媒体的非限制性示范例，包含可读写的 CD，快闪记忆体晶片（例如姆指碟），各式各样不同的磁性储存媒体，诸如此类。

[0081] 即使先前所述中本发明的实施例是针对于利用离子冲击来减少表面特征的粗糙度及减少于发生在平滑制程中关键尺寸的耗损的系统与制程，其他的实施例提供了利用离子冲击来增加表面图案化特征中的物种的机制。参照图 10a 及 10b，简述了根据本揭示中的另一实施例，用来处理 3D 结构的技术。在此实施例中显示了减少洞口区域的技术。而在此实施例中，基板 500 可为金属基板、半导体基板、或是介电质基板。基板 500 包含了洞 512。虽然本实施例将以处理具有第一半径 R_1 的洞的基板的制程来作说明，然其并非用以限定本揭示。类似先前实施例的光阻，本实施例中的基板 500 可以是含有一或多个垂直延伸表面的简单结构。

[0082] 在本实施例中，离子 310 是以多重入射角度指向洞 512 的侧壁。虽然离子是较佳的，然本发明并未排除其他粒子，包括自由基或中性粒子。指向洞 512 的离子 310 可能沉积在洞 512 的表面，形成有第二半径 R_2 的边界层 522。藉由等离子体鞘调节器 522，离子 310 以多重入射角度指向洞 512 的表面。因此，会发生共形 (conformal) 且等向地 (isotropic) 的沉积，且会形成均匀厚度的边界层 522。再者，基板 500 的原始洞口的半径会共形地且均匀地的从 R_1 减少至 R_2。

[0083] 纵上所述，本发明提供了具新颖性且具创造性的用来降低图案化特征（例如，光阻）的粗糙度的方法与系统。本发明可运用在使用相对低的离子能量（例如，等离子体浸润式系统）的系统里，由此系统提供的离子和其他物种对图案化特征的穿透深度很小。这有助于在不实质地冲击光阻图案（例如，轮廓及 CD）的前提下即有表面平滑的能力。藉由在远离垂直方向的方向提供大量的离子流，本发明的 PSM 架构对于攻击受表面粗糙度影响最大的光阻特征区域（意即，侧壁）特别有效。在本发明的实施例中，例如使用惰性气体等离子体，较不易受到图案控制效应的影响（这种影响在干式化学制程中是常见的）。再者，借着利用等离子体鞘调节器和等离子体处理系统的结合（例如，浸润式植入系统），本发明对调节光阻处理制程提供更大的弹性。这是由于各种实验参数可被方便地且独立地调整，例如气体组成，离子能量，离子入射角度范围，等离子体辐射条件，PSM 透射条件，及基板温度。

[0084] 本发明并不受限于在此已揭示的特定实施例的范围。事实上，根据前述说明和附图，除了本文说明的以外，本揭示的其他变化实施例与修改，对本技术领域的技术人员是显而易见的。虽然本发明运用在使用低能量离子的等离子体浸润式离子植入系统，除了离子植入以外的离子冲击效应，也可能有助于光阻平滑，且本发明可运用于能提供低能量离子的其他等离子体系统。再者，本发明涵盖了从 PSM 等离子体发射出的红外线 / 可见光辐射能有效降低表面粗糙度的系统和方法。在此实施例中，可至少部分基于红外线 / 可见光发射特性，选择相关的等离子体辐射条件，而且根据 PSM 对红外线 / 可见光光谱的一或多个范围的阻挡或透射特性，可选择 PSM 的组态。

[0085] 再者，除了植入或沉积，本揭示所揭示的技术能在光阻结构或除光阻结构以外的结构上执行蚀刻。例如，本揭示所揭示的技术能用于执行 光阻修整制程以减少电晶体闸极的关键尺寸。相对于传统修整制程（利用 O_2+HBr 等离子体同时在一个表面上执行，本揭示的技术能用来以多个角度导引蚀刻剂（例如离子），且在同一时间对多个表面等向地执行修整制程。基此，修整制程能更有效率且均匀地执行。因此，这样的其它的实施例和修改都意欲落入本揭示的范围内。再者，虽然在本文中，是以为达特殊目的而在特殊环境下的特殊

执行来描述本揭示，然而本领域的技术人员将理解其用途不仅限于此，且本揭示于任何目的下任何中环境中皆可有益的执行。因此，本揭示的主题应该要根据本文所述的本揭示的完整宽度和精神来加以理解。

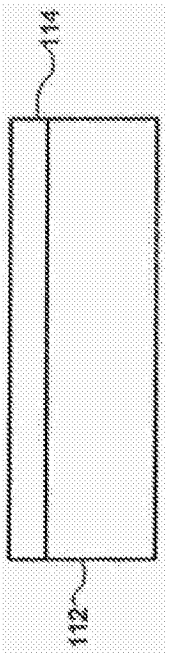


图 1a

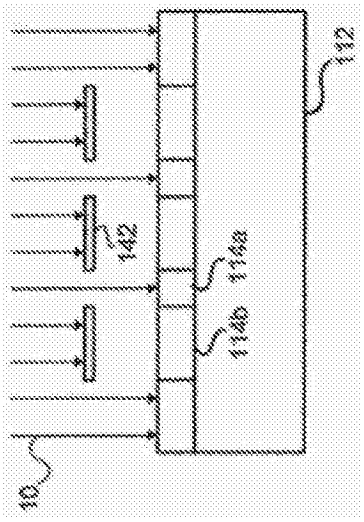


图 1b

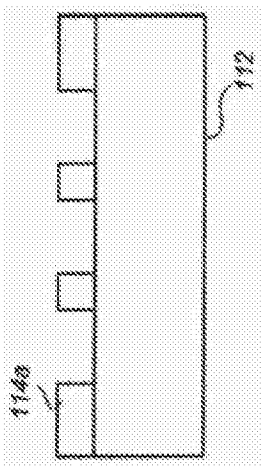


图 1c

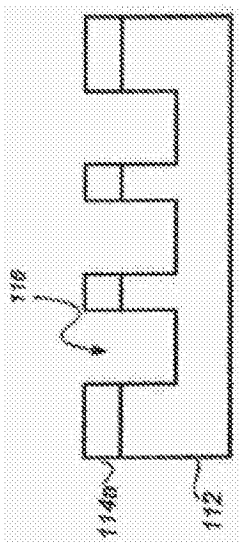


图 1d

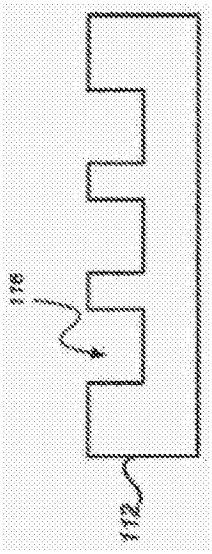


图 1e

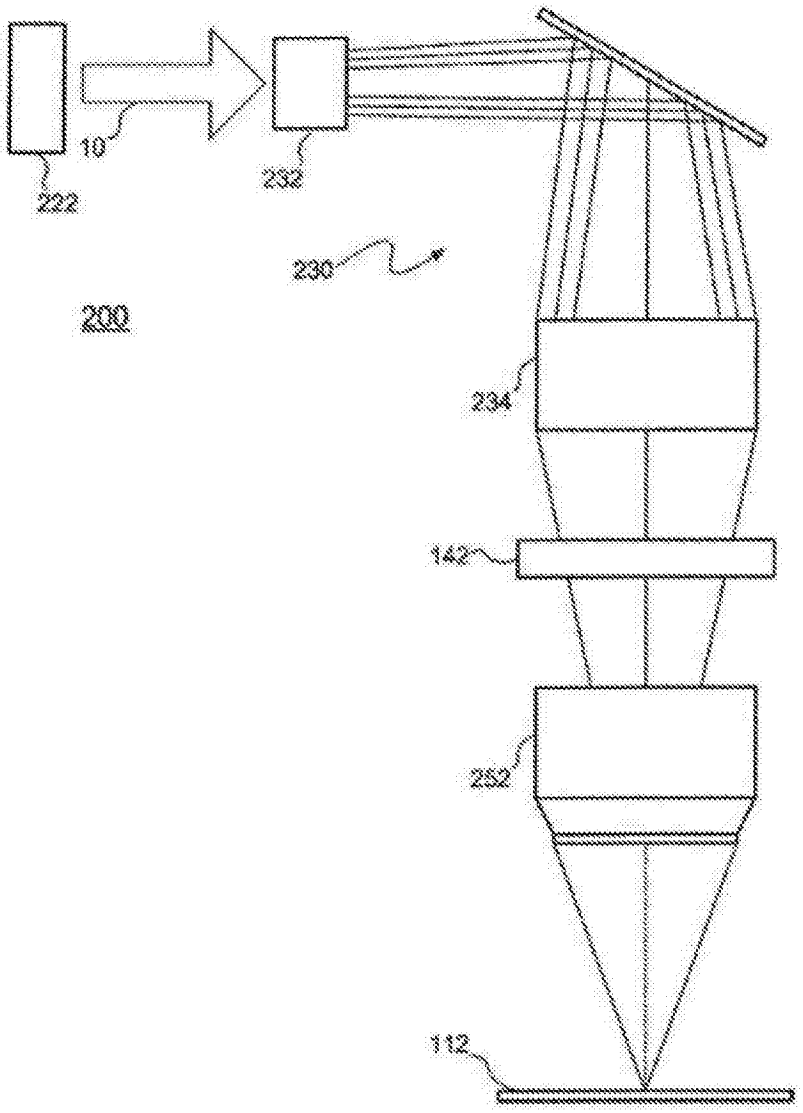


图 2

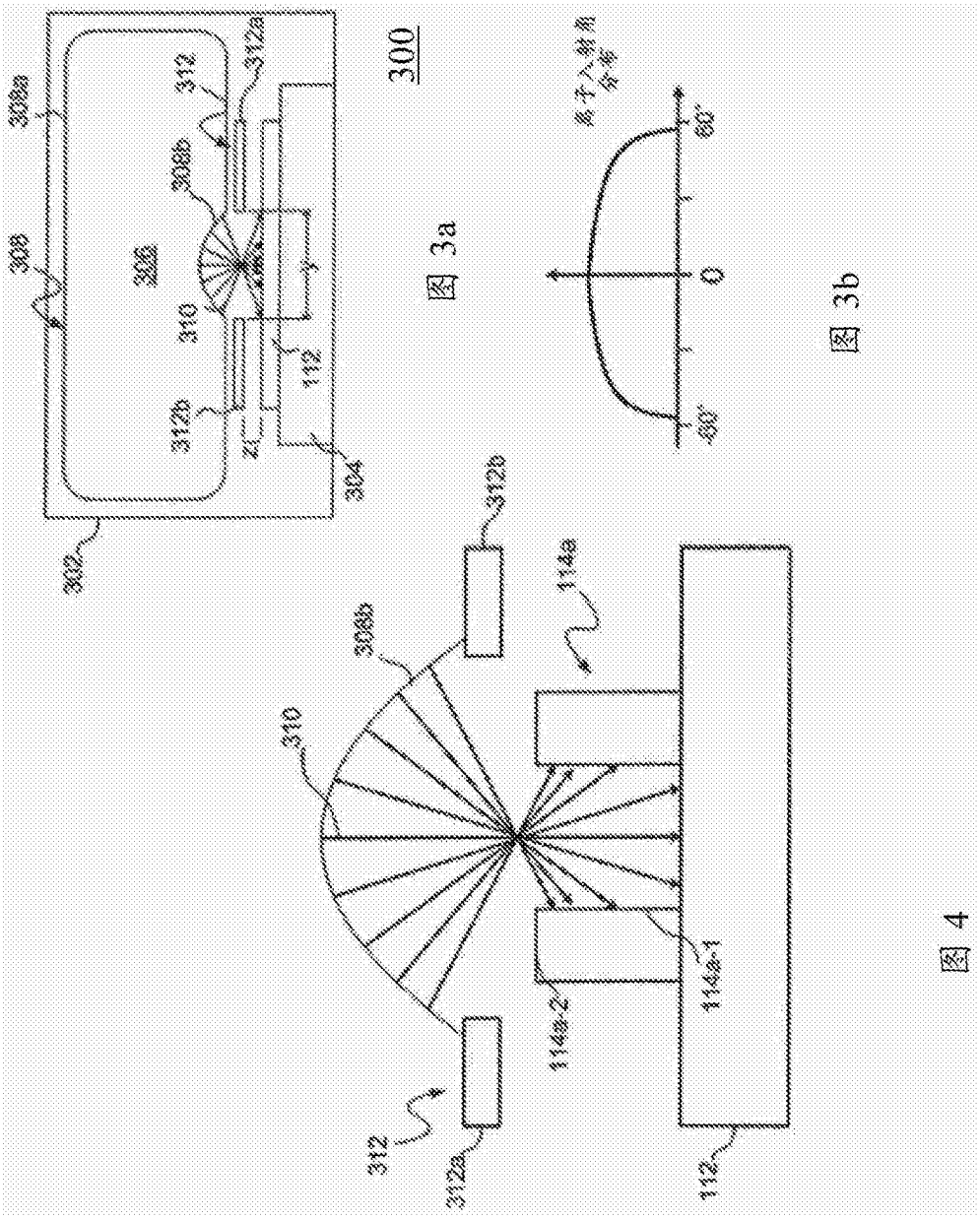

300
302
304
306
308
308a
308b
310
312
312a
312b
112
114a
114a-1
114a-2
0
60°
-60°

图 3a

图 3b

图 4

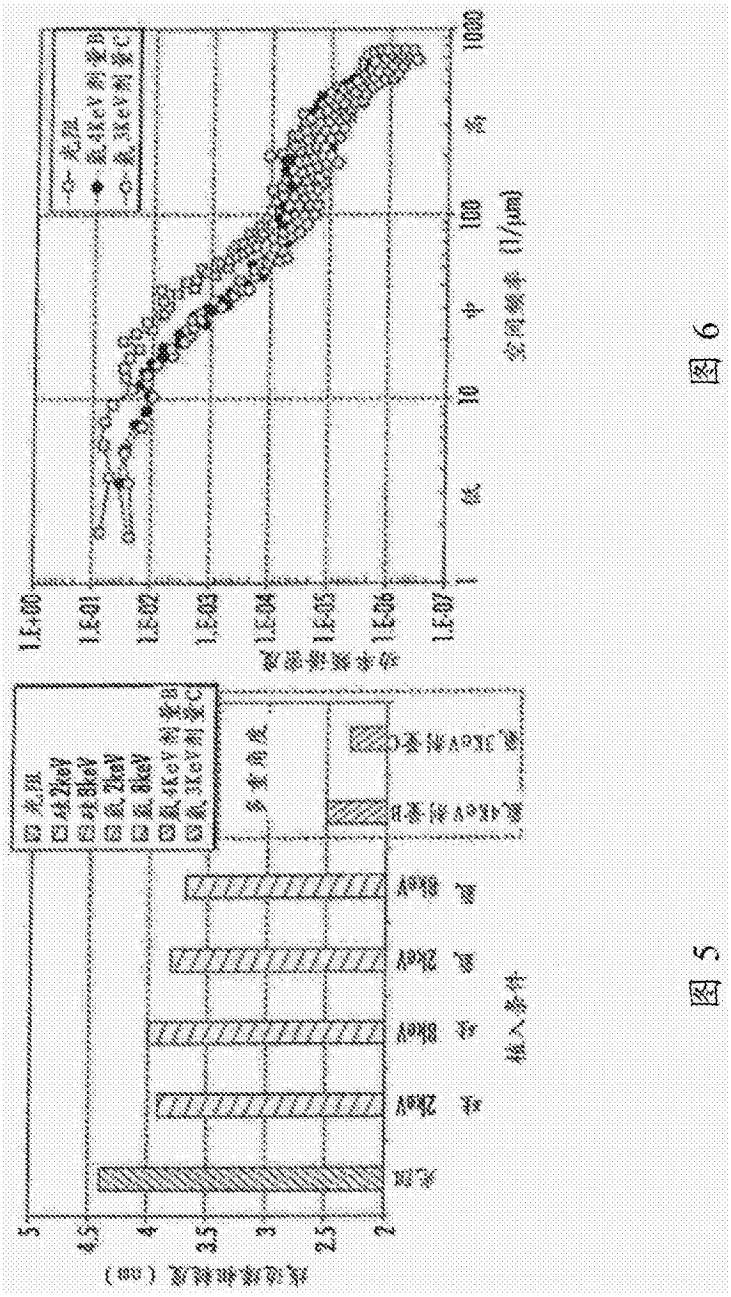

1.E+00
1.E-01
1.E-02
1.E-03
1.E-04
1.E-05
1.E-06
1.E-07
1
10
100
1000
空间频率 (1/μm)
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2

图 5

图 6

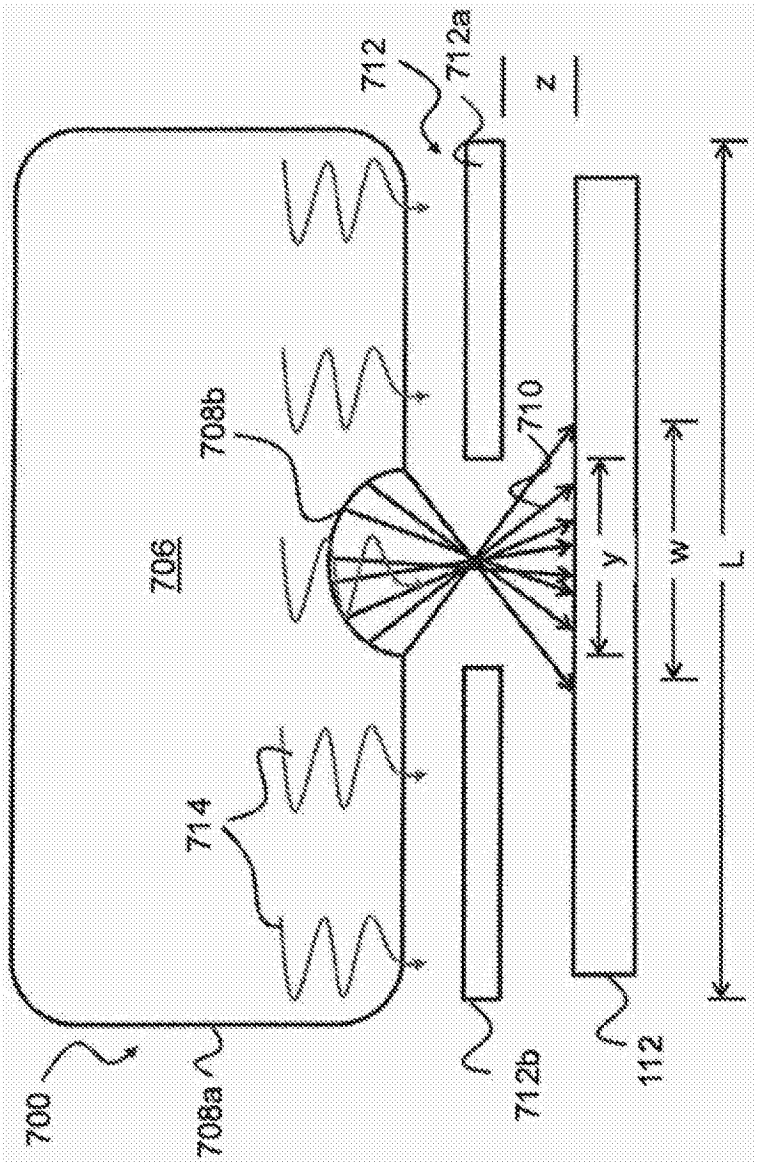


图 7

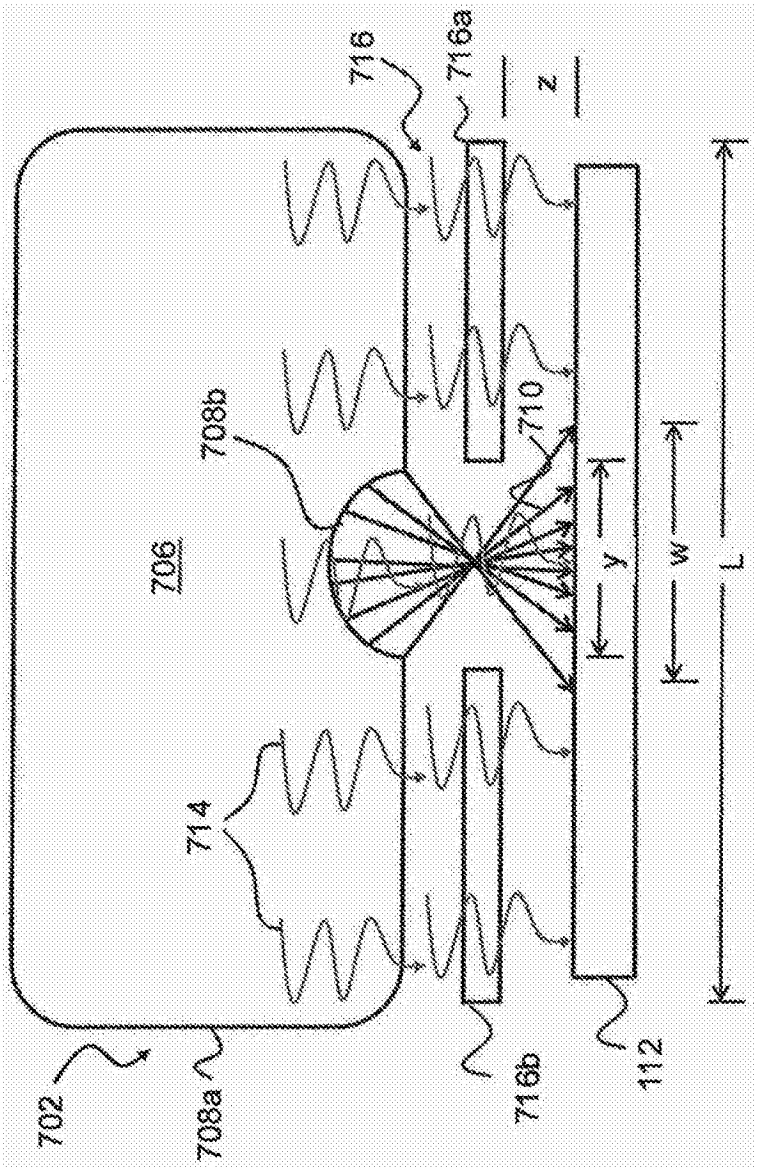


图 7a

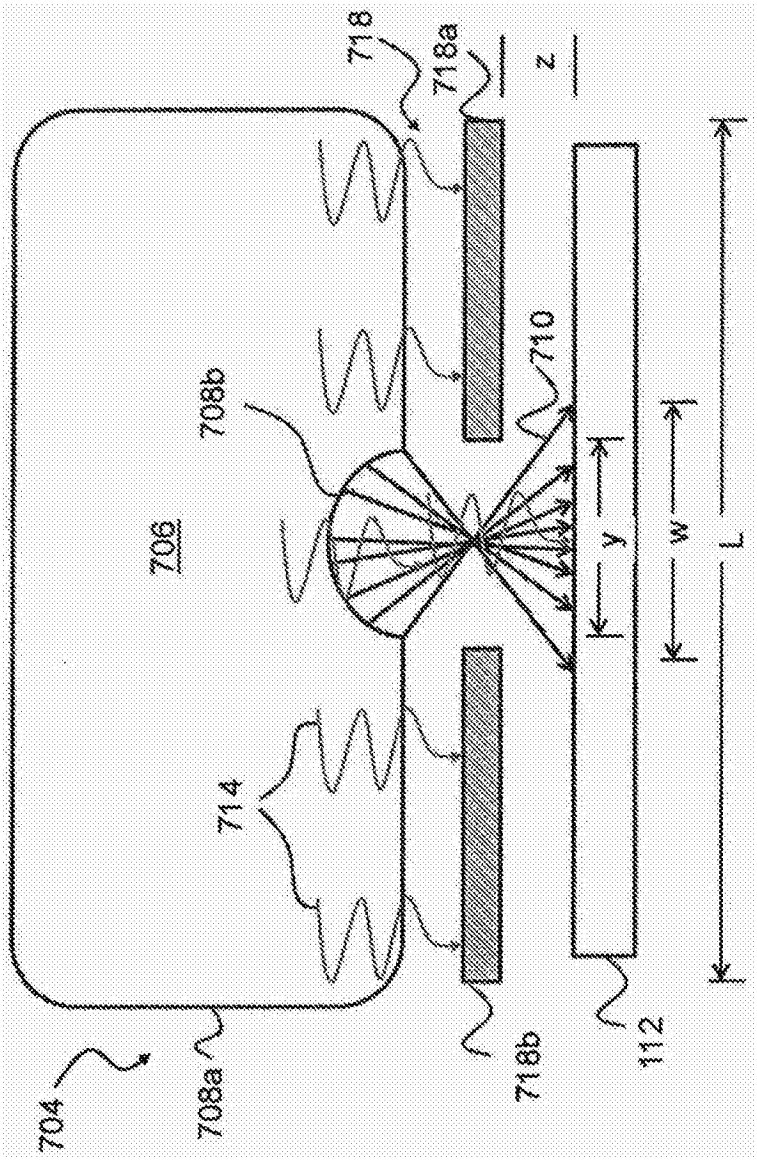


图 7b

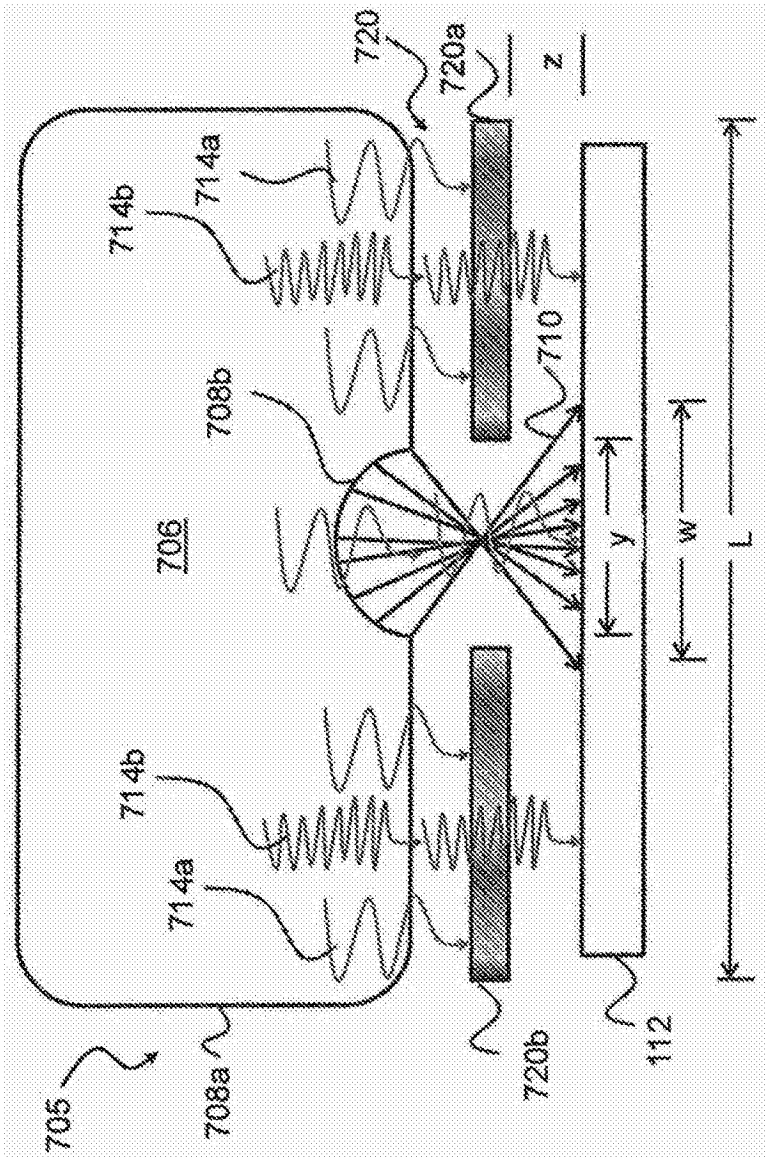

720
720a
z
714b
714a
710
708b
706
y
w
L
714b
714a
705
708a
720b
112

图 7c

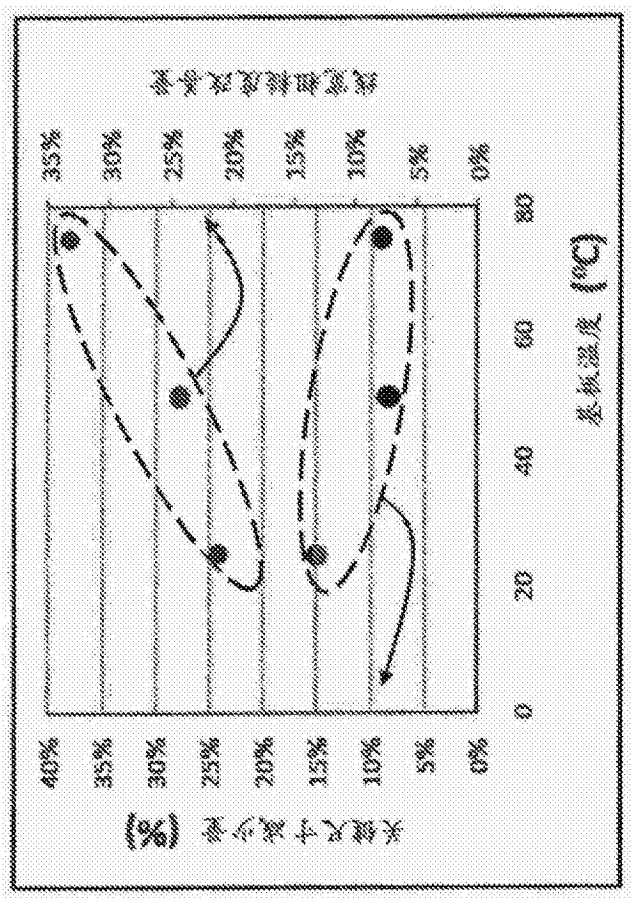

40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
关键尺寸减少量 (%)
0
20
40
60
80
基板温度 (°C)
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
线宽粗糙度减少量

图 8

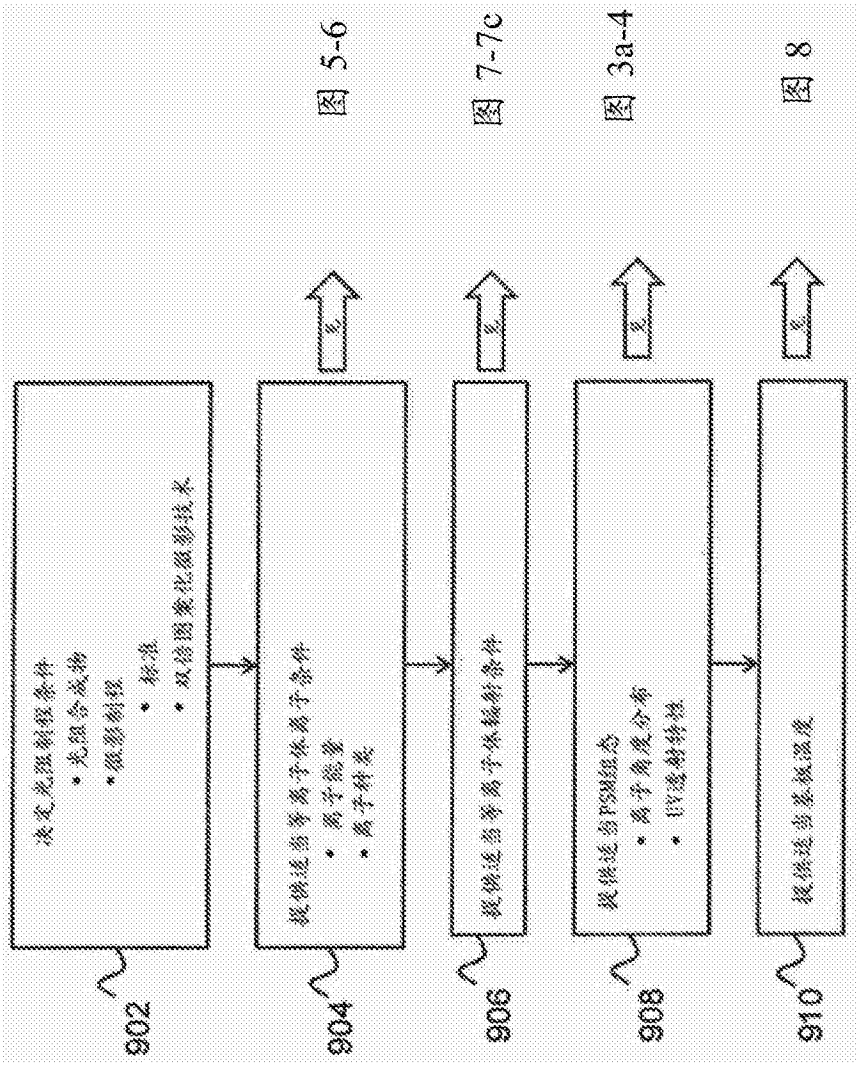


图 9

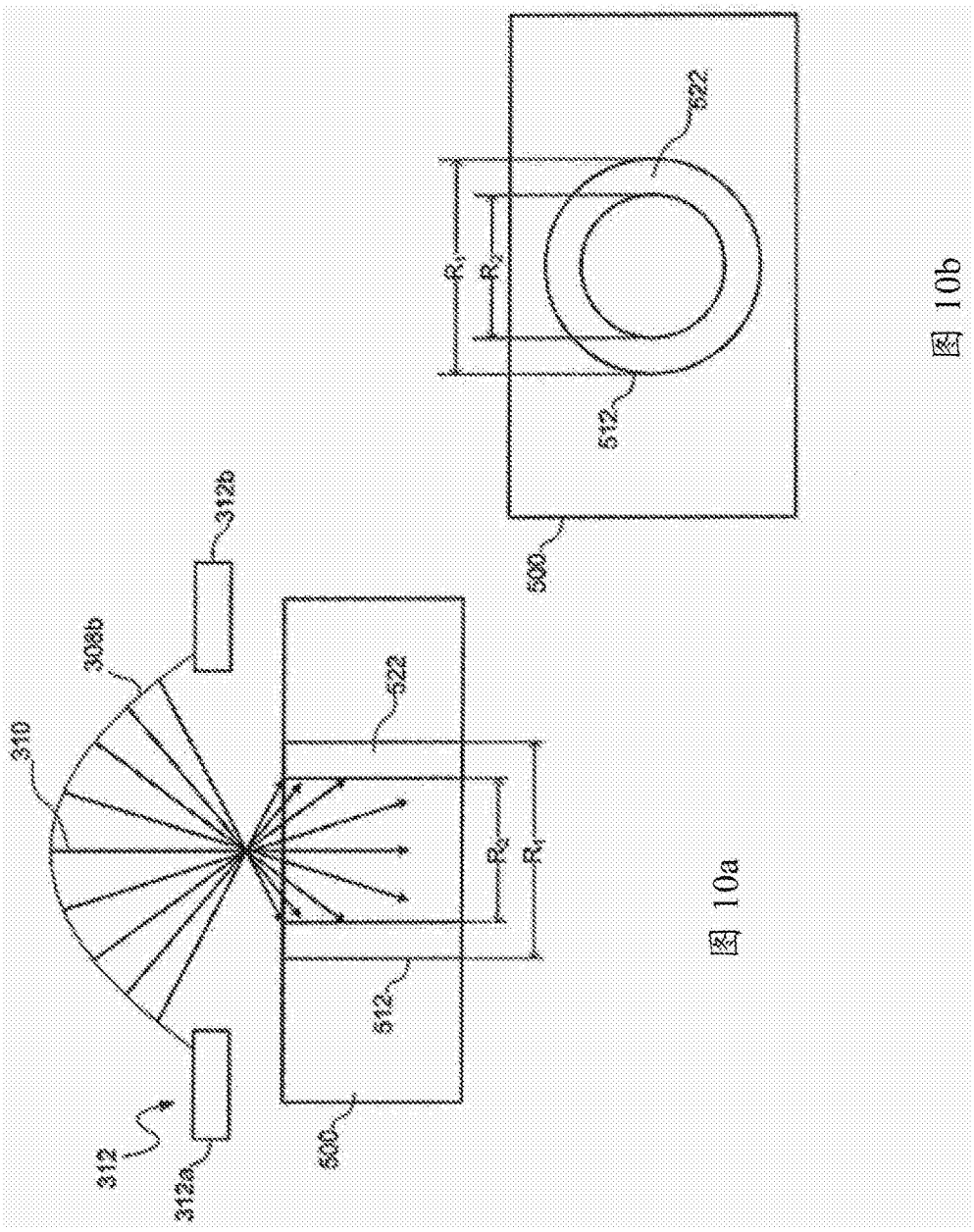


图 10a

图 10b