



(45) 授权公告日 2014.03.12

权利要求书2页 说明书11页 附图4页

A cross-sectional view of a device 200. The device has a substrate 202 and a top layer 210. Two wells, 204 and 206, are formed in the substrate. Well 204 is deeper than well 206. A vertical line 204 indicates the depth of the deeper well. A horizontal line 800 indicates the width of the device. A horizontal line 802 h3 indicates the width of the deeper well. A horizontal line 804 d3 indicates the width of the shallower well. A horizontal line 208 indicates the width of the top layer.

1. 操作具有接收气体的空间、电极部分和 RF 驱动器的处理系统的方法,所述 RF 驱动器可操作地提供驱动信号到所述电极部分,所述方法包括:

提供气体进入所述空间;

提供所述驱动信号到所述电极部分,所述驱动信号以第一信号部分和第二信号部分为基础;和

在所述空间从所述气体产生等离子体,

其中所述等离子体有等离子体鞘,

其中所述等离子体鞘有等离子体鞘电势,

其中所述等离子体鞘电势以所述驱动信号为基础,

其中作为时间的函数的等离子体鞘电势以第一等离子体鞘电势函数部分和第二等离子体鞘电势函数部分为基础,

其中所述第一等离子体鞘电势函数部分包括具有第一幅度和第一频率的连续正弦部分,

其中所述第二等离子体鞘电势函数部分包括具有最大幅度间隔、最小幅度间隔和占空比的正弦部分,

其中所述最大幅度间隔有第二频率、第一持续时间和第一间隔幅度,

其中所述最小幅度间隔有第二持续时间和第二间隔幅度,

其中所述第一间隔幅度大于所述第二间隔幅度,

其中所述占空比是所述第一持续时间同所述第一持续时间和所述第二持续时间总和之比,

其中所述第二等离子体鞘电势函数部分以等于所述第一频率谐波的频率调整幅度,且

其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述第一幅度大于所述第二等离子体鞘电势函数部分的幅度。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述第一持续时间小于或等于所述第二持续时间。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述最大幅度间隔与最大等离子体鞘电势同步。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述最大幅度间隔与最大等离子体鞘电势同步。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述第一持续时间小于或等于所述第二持续时间。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述最大幅度间隔与最大等离子体鞘电势同步。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述提供所述驱动信号到所述电极包括提供所述驱动信号到所述电极使得所述最大幅度间隔与最大等离子体鞘电势同步。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述谐波为 1。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述谐波大于 1。

10. 操作具有其中设有接收气体的空间和和在所述空间中可操作地产生电磁场的电磁场产生部分的处理系统的方法,所述方法包括:

提供气体进入所述空间 ;和

用驱动电势操作所述电磁场产生部分以在所述空间产生电磁场从而将所述气体的至少一部分转变为等离子体,

其中作为时间的函数的所述驱动电势以第一电势函数部分和第二电势函数部分为基础,

其中所述第一电势函数部分包括具有第一幅度和第一频率的第一连续正弦部分,

其中所述第二电势函数部分包括具有最大幅度间隔、最小幅度间隔和占空比的第二正弦部分,

其中所述第二正弦部分在所述最大幅度间隔中比在所述最小幅度间隔中有更高的幅度,

其中所述占空比是所述最大幅度间隔同所述最大幅度间隔和所述最小幅度间隔的总和之比,

其中所述第二正弦部分还有第二频率,

其中所述第二正弦部分以等于所述第一频率的谐波的频率调整幅度。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述第一幅度大于所述第二电势函数部分的幅度。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中最大幅度间隔与最大电势同步。

13. 根据权利要求 10 所述的方法,其中最大幅度间隔与最大电势同步。

14. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述谐波为 1。

15. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述谐波大于 1。

多频调整的处理方法

技术领域

[0001] 本申请要求申请号为 61/166,987, 申请日为 2009 年 4 月 6 日的美国临时专利申请的优先权, 合并该申请的全部公开内容于此作为参考。

背景技术

[0002] 在半导体制造产业中, 等离子体刻蚀被广泛用于晶片处理。等离子体刻蚀往往用于在材料中创造诸如接触孔或槽以形成电接触。假定间隔在制造中需要重点考虑, 通常期望制造尽可能窄和尽可能深的接触孔。由于在等离子体刻蚀工艺中出现的各种复杂问题和困难, 所以对刻蚀这样窄和深的特征提出了许多挑战。

[0003] 图 1 示出了惯用晶片处理系统在惯用等离子体刻蚀工艺中的左侧剖面图。晶片处理系统 100 包括处理腔 102、上电极 104、静电吸盘 (ESC) 106 和 RF 驱动器 110。处理腔 102、上电极 104 和 ESC106 被设置为提供等离子体形成空间 108。RF 驱动器 110 电连接到 ESC106, 而上电极 104 电接地。

[0004] 操作中, 晶片 114 通过静电力被支撑在 ESC106 上。气体源 (未示出) 供应刻蚀气体到等离子体形成空间 108。RF 驱动器 110 提供驱动信号到 ESC106, 因此在 ESC106 和上电极 104 之间提供了电压差。该电压差在等离子体形成空间 108 中产生了电磁场, 其中等离子体形成空间 108 中的气体被电离形成等离子体 112。等离子体 112 刻蚀晶片 114 的表面。

[0005] 下面将参考图 2A 和图 2B 对刻蚀晶片惯用方法的示例进行说明。

[0006] 图 2A 示出了在等离子体 112 形成之前并因此在刻蚀晶片 114 上的任何材料之前如图 1 所示晶片 114 的剖面。图 2A 中, 晶片 114 包括衬底 200 和掩膜 202。掩膜 202 用于确定衬底 200 将要被等离子体 112 刻蚀的区域。没有被掩膜 202 覆盖的衬底 200 的部分 (未掩盖区 204) 被暴露于等离子体 112 并因此在刻蚀工艺期间将被刻蚀掉。相反, 被掩膜 202 覆盖的衬底 200 的部分 (掩盖区 206) 将不受等离子体 112 的影响, 并因此在刻蚀工艺期间将不会被刻蚀掉。本身暴露于等离子体 112 的掩膜 202 也多少会被刻蚀; 然而, 往往会选择等离子体 112 的性质使得掩膜 202 的刻蚀速率远远慢于衬底 200 的刻蚀速率 (给予其高选择比), 从而留下几乎原封不动的掩膜 202。

[0007] 图 2B 示出了等离子体 112 形成之后且刻蚀工艺已经开始的晶片 114 的剖面图。在刻蚀工艺中, 来自等离子体 112 的入射等离子 208 轰击晶片 114 的表面。在未掩盖区 204, 入射等离子 208 刻蚀掉衬底 200 的部分, 形成刻蚀孔 212。在刻蚀工艺中, 从等离子体连同入射等离子 208 一起聚合中性粒子的入射通量导致聚合物层 210 被淀积在暴露的晶片表面 (大部分在掩膜 202 的顶面)。形成的聚合物层 210 通常用于阻止掩膜 202 不期望的刻蚀, 因此使刻蚀工艺更有选择地朝向衬底 200 的材料。替代地, 入射中子和离子能降低掩膜 202 的蚀速率, 从而使得对衬底 200 的材料的蚀刻工艺具有较强的选择性。

[0008] 如图 2B 所示, 刻蚀接触孔 212 有孔高度 214 (记为 h_1) 和孔直径 216 (记为 d_1)。深宽比定义为该高度除以该直径。假若这样的话, 刻蚀孔 212 的深宽比被确定为 h_1/d_1 。通

常,像刻蚀孔 212 这样的有相对低深宽比的接触孔能被相对容易地刻蚀而刻蚀孔的扭曲最小,这将在后面更详细说明。然而,在若干半导体应用中有提供高深宽比刻蚀的高要求,诸如形成高深宽比接触 (HARC),其涉及有小直径的非常深的孔的刻蚀。对于提供 HARC 的刻蚀工艺惯用方法中存在若干挑战,现将参考图 3A-5B 说明。

[0009] 图 3A 和图 3B 是表示 RF 驱动器 110 提供的信号与时间的函数关系图。图 3C 和图 3D 是分别表示图 3A 和图 3B 所示信号离子通量和离子能的函数关系图。

[0010] 图 3A 包括函数 300,函数 300 是低频驱动信号。图 3B 包括函数 302,函数 302 是由低频部分和高频部分组成的驱动信号。图 3C 包括函数 304,函数 304 是作为离子能的函数的所测得的离子通量,该离子能来自于使用图 3A 的作为 RF 驱动器 110 提供的驱动信号的函数 300。图 3D 包括函数 308,函数 308 示出了实施图 3B 的作为由 RF 驱动器 110 提供的驱动信号的函数 302 所形成的预计离子能分布。

[0011] 如图 3C 所示,函数 304 显示了较低离子能的第一峰值 306 和较高离子能的第二峰值 308。如图所示的那样,第一峰值 306 远远大于第二峰值 308。相应地,较大的第一峰值 306 代表的较低离子能将对工艺结果有作用。对于某些工艺要求,提供低能量离子的较高通量被认为是有益的。换句话说,峰值 306 尽可能大并尽可能有最低能量是有益的。低能量离子被认为有益的原因有两个。第一,它们在刻蚀工艺通过放电 (discharging) 的侧壁可以减少特征充电 (charging)。特别地,因为正离子有低能量,它们吸引特征表面上带负电的区域,因此减小了特征充电。第二,低能量离子在刻蚀工艺中可有助于聚合物淀积以保护掩膜。

[0012] 函数 304 以虚线图示在如图 3D 中供参考。如图 3D 所示,函数 310 包括第一峰值 312,峰值 312 从函数 304 的峰值 306 转变为更高的离子能。进一步地,函数 310 包括第二峰值 314,峰值 314 从函数 304 的峰值 308 转变为更低的离子能。相似地,如参考图 3C 所讨论的,如第一峰值 312 所表示的较低离子能在工艺结果中将有重要作用。

[0013] 如图 3B 所示增加驱动信号中的高频部分就使等离子体密度增加。照此而论,对应图 3D 中第一峰值 312 的离子能的离子通量的数量要大于对应图 3C 中第一峰值 306 的离子能的离子通量的数量。因此,显然在驱动信号中引进高频部分 (从函数 300 转变为函数 302) 改变了离子能分布并总体增加了等离子体密度和离子通量。

[0014] 图 4 示出了用于提供 HARC 刻蚀的惯用方法中在晶片 114 的等离子体鞘电势,其中实施了图 3B 的作为 RF 驱动器 110 的驱动信号的函数 302。在图中,x 轴代表时间,单位是秒,而 y 轴代表晶片的等离子体鞘的电势,单位是伏特。作为时间的函数的等离子体鞘电势 (函数 400) 涉及 RF 驱动器 110 提供的信号。在该示例中,RF 驱动器 110 提供的信号包括连续低频部分和连续高频部分的叠加,如图 3B 所示。因此,如图 4 所示,合成 (resulting) 等离子体鞘电势 (函数 400) 也包括连续低频部分和连续高频部分的叠加,其中带有 RF 等离子体鞘中通常能看到的一些扭曲。

[0015] 惯用 HARC 刻蚀工艺可以用 RF 驱动器施加的连续高频信号和连续低频信号的结合。连续高频信号用于产生高等离子体密度并因此产生高离子通量。连续的低频信号用于产生高等离子体鞘电势并因此依照离子能宽分布的一部分产生高离子轰击能量。

[0016] 在惯用 HARC 刻蚀工艺中,RF 驱动器 110 可以提供给 ESC 110 的驱动信号包括第一功率的连续高频部分和第二功率的连续低频部分的叠加 (例如图 3B 中函数 302)。通过调

节连续高频部分与连续低频部分的功率比,就能调节等离子体的性质并因此调节等离子体的刻蚀特性。例如,如果驱动信号的连续高频部分功率相对大而驱动信号的连续低频部分功率相对小的话,生成的等离子体将有更高等离子体密度和离子通量、并结合有更低最大离子能的特征。另外,增加驱动信号的连续高频部分的功率可以增加聚合过程,因而导致更高的接触到掩膜(contact-to-mask)刻蚀的选择比,但也能导致刻蚀停止。此外,驱动信号的连续高频部分的功率相对大的话往往将增加刻蚀孔的扭曲,这将在下面参考图 5A 讨论。

[0017] 图 5A 示出了惯用 HARC 刻蚀工艺可能导致的晶片 114 的剖面。在该示例中,来自 RF 驱动器 110 的驱动信号包括连续高频部分和连续低频部分,其中驱动信号的连续高频部分的功率相对大而驱动信号的连续低频部分的功率相对小。在该示例中,驱动信号产生了具有由函数关系 300 描述的等离子体鞘电势的等离子体。

[0018] 在该示例中,在刻蚀过程中,在离子体 112 的中性物质流的入射通量中出现的等离子体离子 208 轰击晶片 114 的表面。这导致聚合物层 210 将被淀积在某些暴露的晶片表面上。同时,入射等离子体 208 的轰击导致未掩盖区 204 的部分衬底 202 被刻蚀掉,形成刻蚀接触孔 500。刻蚀孔 500 有孔高度 502(表示为 h_2) 和孔直径 504(表示为 d_2)。因此刻蚀孔 500 的深宽比为 h_2/d_2 。这里, $h_2 \gg h_1$ 。因此,刻蚀孔 500 的深宽比要比图 2B 刻蚀孔 212 的深宽比显著地更高。

[0019] 然而,如图 5A 所示,刻蚀孔 500 的壁不完全垂直而且其底部扭曲到一边。虽然不完全理解其精确机理,但该扭曲作用可以由刻蚀孔 500 壁上积累的电荷来解释。图 5B 示出了刻蚀孔 500 底部区域的放大图,示出了聚合物层 210 的这种积累电荷。正差分电荷(differential)506 与负差分电荷 508 的存在引起了用于使定向朝下的(downward-directed)入射等离子体 208 向一边转向。因为离子轨道 510 现在被弯曲朝向右边,所以刻蚀优先在右表面而不在刻蚀孔 500 的底部表面发生。该作用因此导致刻蚀孔 500 扭曲或弯曲。

[0020] 在惯用 HARC 刻蚀工艺中,减小 RF 驱动器 110 提供的驱动信号的连续高频部分的功率能够使刻蚀接触孔的扭曲最小化。然而,该方法降低了工艺的聚合性能并因此降低了接触到掩膜刻蚀的选择比。此外,该方法降低了等离子体密度和离子通量,因此降低了刻蚀速率。

[0021] 所需要的是提供最佳 HARC 刻蚀工艺的系统和方法,其不会导致扭曲,同时维持了高的接触到掩膜选择度和高的刻蚀速率从而使产量更高。

发明内容

[0022] 本发明的目的是提供一种产生更好 HARC 刻蚀工艺的系统和方法,其不会导致扭曲,同时维持了高的接触到掩膜选择度和高的刻蚀速率而使产量更高。

[0023] 根据本发明的一个方面,提供一种操作具有接收气体的空间、电极部分和 RF 驱动器的处理系统的方法。所述 RF 驱动器能提供驱动信号给所述电极部分。本方法包括提供气体进入所述空间,提供所述驱动信号到所述电极部分,其中所述驱动信号以第一信号部分和第二信号部分为基础,以及在所述空间中从所述气体产生等离子体。所述等离子体有等离子体鞘,该等离子体鞘有基于所述驱动信号的等离子体鞘电势。作为时间的函数的所述等离子体鞘电势是第一等离子体鞘电势函数部分和第二等离子体鞘电势函数部分的叠

加。所述第一等离子体鞘电势函数部分包括含有第一幅度 (amplitude) 和第一频率的连续部分。所述第二等离子体鞘电势函数部分包括含有第一部分的周期性部分, 以及第二部分和占空比。所述第一部分有第二频率、第一持续时间和第一部分幅度。所述第二部分有第二持续时间和第二部分幅度。所述第一部分幅度大于所述第二部分幅度。所述占空比是所述第一持续时间同所述第一持续时间和所述第二持续时间总和之比。以等于所述第一等离子体鞘电势函数部分谐波 (harmonic) 的频率调整所述第二等离子体鞘电势函数部分的幅度。

[0024] 根据本发明的一个方面, 提供操作具有其中设有接收气体的空间和在该空间中可操作地产生电磁场的电磁场产生部分处理系统的方法。该方法包括提供气体进入所述空间, 以及操作带有驱动电势的所述电磁场产生部分以在所述空间中产生电磁场从而将至少部分所述气体转变为等离子体。作为时间的函数的所述驱动电势以第一电势函数部分和第二电势函数部分为基础。所述第一电势函数部分包括有第一幅度和第一频率的第一连续正弦部分。所述第二电势函数部分包括有最大幅度间隔、最小幅度间隔和占空比的第二正弦部分。在所述最大幅度间隔中与所述最小间隔中相比, 所述第二正弦部分有更高的幅度。所述占空比是所述最大幅度间隔持续时间同所述最大幅度间隔持续时间和所述最小幅度间隔持续时间总和之比。所述第二正弦部分还有第二频率。以等于所述第一连续正弦部分的第一频率的频率对所述第二正弦部分进行幅度调整。所述谐波调整和所述第一连续正弦部分之间的相对相位 (relative phase) 是可控的和可变的。

[0025] 下面在具体实施方式中对本发明另外的目的、优点和新颖性特征部分性地说明, 本发明的其他部分对于本领域的技术人员通过对以下内容的审阅将变得明显, 或者可以通过实施本发明而得知。尤其通过附属权利要求中指出的技术方案及其结合的方式可以实现并获得本发明的目的和优点。

附图说明

[0026] 说明书合并了附图并使其形成说明书的一部分, 附图与说明书一起示出了本发明的优选实施方式用于解释本发明的原理。在图中:

[0027] 图 1 示出了惯用等离子体刻蚀工艺中惯用晶片处理系统的左侧剖面图;

[0028] 图 2A 示出了图 1 所示晶片在形成等离子体之前并因此在刻蚀所述晶片上的任何材料之前的剖面;

[0029] 图 2B 示出了在等离子体形成且刻蚀工艺已经开始之后所述晶片的剖面;

[0030] 图 3A 是代表由 RF 驱动器提供的信号与时间的函数关系的曲线图;

[0031] 图 3B 是另一代表由 RF 驱动器提供的信号与时间的函数关系曲线图;

[0032] 图 3C 是代表图 3A 所示信号的离子通量与离子能函数关系的曲线图;

[0033] 图 3D 是代表图 3B 所示信号的离子通量与离子能函数关系的曲线图;

[0034] 图 4 是示出了用于提供 HARC 刻蚀的惯用方法中晶片等离子体鞘电势的曲线图;

[0035] 图 5A 示出了惯用 HARC 刻蚀工艺获得的晶片的剖面;

[0036] 图 5B 示出了图 5A 中刻蚀接触孔底部区域的放大图, 示出了聚合物层中累积的电荷;

[0037] 图 6 是示出了根据本发明的一个方面提供 HARC 刻蚀的示例方法在晶片的等离子

体鞘电势的曲线图；

[0038] 图 7A 是代表由 RF 驱动器提供的信号与时间的函数关系的曲线图；

[0039] 图 7B 是另一代表根据本发明的一个方面由 RF 驱动器提供的信号与时间的函数关系的曲线图；

[0040] 图 7C 是代表图 7A 所示信号的离子通量与离子能的函数关系的曲线图；

[0041] 图 7D 是代表图 7B 所示信号的离子通量与离子能的函数关系的曲线图；和

[0042] 图 8 示出了按照本发明的一个方面在优选的 HARC 刻蚀工艺之后晶片的剖面。

具体实施方式

[0043] 根据本发明的一个方面，提供了没有接触孔扭曲并维持用于高产的高刻蚀速率的最优 HARC 刻蚀的系统和方法。更具体地，根据本发明的一个方面，通过用电磁场作用气体的方式可操作地产生等离子体的处理系统，以控制基于低频正弦部分和高频正弦部分的作为时间的函数的参数的特别方式来操作。将所述高频正弦部分以等于所述低频正弦部分的谐波的频率进行幅度调整。进一步地，所述高频正弦部分包括高幅度间隔和低幅度间隔。所述高频正弦部分占空比的持续时间是所述高幅度间隔的持续时间同所述高幅度间隔的持续时间和所述低幅度间隔的持续时间总和之比。通过调节所述高频正弦部分的所述高幅度间隔的幅度、所述高频正弦部分的所述低幅度间隔的幅度、所述高频正弦部分的所述占空比的持续时间以及所述高频正弦部分和所述低频正弦部分之间的相对相位中的任何一个，可以精确控制所述处理系统的处理特征。

[0044] 在示例实施方式中，作为时间的函数的参数是基于低频正弦部分和高频正弦部分的等离子体鞘电势。在这些示例实施方式中，作为时间的函数的所述等离子体鞘电势的所述高频正弦部分有最大幅度间隔、最小幅度间隔和占空比，其中作为时间的函数的所述等离子体电势在最大幅度间隔中有比在最小幅度间隔中更高的幅度，并且其中所述占空比是所述最大幅度间隔同所述最大幅度间隔和所述最小幅度间隔总和之比。进一步地，在某些示例实施方式中，作为时间的函数的所述等离子体鞘的所述高频正弦部分以等于所述低频正弦部分谐波的频率调整幅度，使得所述高频正弦部分的最大幅度间隔发生在所述低频正弦部分循环的最大幅度处或其附近，而且所述高频正弦部分的最小幅度间隔发生在所述低频正弦部分循环的最小幅度处或其附近。

[0045] 在其他示例实施方式中，作为时间的函数的参数是基于低频正弦部分和高频正弦部分的驱动信号。在这些实施方式中，所述驱动信号可以根据低频正弦部分和高频正弦部分进行描述，其中所述高频正弦部分以等于所述低频正弦部分谐波的频率进行幅度调整，使得所述高频正弦部分的最大幅度间隔发生在所述低频正弦部分循环的最小幅度处或其附近，并且使得所述高频正弦部分的最小幅度间隔发生在所述低频正弦部分循环的最大幅度处或其附近。

[0046] 现在将参考图 6-8 说明根据本发明的一个方面的示例实施方式。

[0047] 图 6 是示出根据本发明的一个方面提供 HARC 刻蚀的示例方法中在晶片 114 的等离子体鞘电势的曲线图。在该曲线图中，x 轴代表时间，y 轴代表在晶片表面的等离子体鞘电势（单位是伏特）。作为的时间的函数的等离子体鞘电势（函数 600）与 RF 驱动器 110 提供的驱动信号有关。在该示例中，提供由 RF 驱动器 110 提供的信号使得合成（resulting）

等离子体鞘电势（函数 600）以连续低频部分 602 和高频部分 604 为基础。在示例实施方式中，连续低频部分 602 以等于高频部分 604 的谐波的频率进行幅度调整。

[0048] 连续低频部分 602 有频率和幅度。高频部分 604 包括最小幅度间隔和最大幅度间隔。在该示例中高频部分 604 的最小幅度间隔为 0 幅度，其中高频部分 604 似乎是“关闭”（“OFF”）的。在该示例中，高频部分 604 的最大幅度间隔的幅度小于连续低频部分 602 的幅度。在最大幅度间隔，高频部分 604 似乎是“开启”（“ON”）的。因而，高频部分 604 的占空比是最大幅度间隔同最大幅度间隔与最小幅度间隔总和之比。

[0049] 如图中所示，高频部分 604 在特定时间阶段只是“开启”的。在该示例中，对于低频部分 602 的每个循环都有开启阶段 606 和关闭阶段 608。开启阶段的长度由 t_{ON} 表示而关闭阶段的长度由 t_{OFF} 表示。因此低频部分 602 循环或阶段的总长度可以表示为 $TLF = t_{ON} + t_{OFF}$ 。高频部分 604 在开启状态的时间与总循环长度的时间之比被称为占空比。因此，占空比 D 被定义为 t_{ON}/TLF ，或者 $t_{ON}/(t_{ON} + t_{OFF})$ 。

[0050] 对应于低频部分 602 的等离子体鞘有高的等离子体鞘电势并提供高的轰击能量。因此，如图 6 所示，低频部分 602 有非常大的幅度，远远地大于高频部分 604 的幅度。选择由 RF 驱动器 110 提供的对应于低频部分 602 的所述信号使得对于给定的电极间距，即图 1 中上电极 104 和 ESC106 之间的距离，以及对于给定的气体压强，等离子体通过其他因素中的次电子发射维持。次电子发射是当入射粒子（诸如离子）以足够的能量冲击材料时，额外的电子（被称为次电子）从该材料的表面发射的现象。一旦发射，这些次电子接着被加速回到等离子体并用于将等离子体中的分子离子化。

[0051] 在一个示例实施方式中，在低频鞘电势在其振荡中到达最小且高频为“关闭”期间，等离子体鞘电势非常小且在晶片表面几乎没有位垒。在此情形下，受限等离子体中的电子现在可以逃离到晶片表面。这可以有效中和任何鞘电势大时可能已经建立的正电荷。该电荷的中和由此帮助避免充电效应，充电效应是惯用方法中接触孔扭曲的可能原因之一，例如上面参考图 5A 和 5B 讨论的那样。该中和可以比惯用情况中更有效，惯用情况中高频没有被调整。然而，应当注意的是，根据本发明基于第一信号和第二信号由 RF 驱动器 110 提供的信号，或者基于第一信号和第二信号产生等离子体鞘电势的方式，是可以提供于其他理由的。

[0052] 在惯用情况中，其中低频和高频都未经调整而连续地提供，高频的作用有某些好处。等离子体有更高的密度并提供更高的离子通量和更多的聚合，这是期望的以导致更快的刻蚀速率和更好的接触到掩膜的刻蚀选择度。然而高频鞘组分的连续存在可以阻止等离子体鞘的完全塌陷，并导致离子到达晶片的能量分布函数更低的限制（如图 3D 中项目 310 所示），以致在非常低能量下没有可观的离子通量到达晶片表面。这将阻止非常低能量离子的有益效果，如下所述。可选择地，考虑到惯用情形，其没有使用高频驱动函数且只提供了低频驱动函数，如前面提到的那样，主要维持等离子体的是次电子发射。当晶片的等离子体鞘电势减小到特定临界值以下的点时，等离子体鞘开始“塌陷”。当等离子体鞘电势接近 0 (LF 最小值 610) 时，离子以非常低的能量达到晶片表面，并可以被吸引到接触孔壁表面上形成负电荷的区域。这导致淀积的聚合物层或在先存在的电介质薄膜中的电荷被中和，因此避免了导致刻蚀孔扭曲的充电效应。这构成了低频单一状态的好处。然而低频单一状态往往面临相对低的离子通量和低的聚合，导致相对低的刻蚀速率和低接触到掩膜的选择

度。因此,根据本发明的一些方面,当应用参数的适当组合时,可以结合低频单一状态的电荷中和的优点和高频状态的高刻蚀速率、高接触到掩膜选择度的优点。

[0053] 等离子体在“开启”阶段 606 期间有更高的密度并提供更高的离子通量和更多的聚合,这预期导致更快刻蚀速率和更好的接触到掩膜刻蚀选择度。如图 6 所示,在开启阶段 606 期间,高频部分 604 的幅度远远小于低频部分 602 的幅度。选择由 RF 驱动器 110 提供的对应于高频部分 604 的信号的方式是,致使在开启阶段 606 期间在晶片的等离子体鞘电势有足够的 RF 循环以提供足够的时间在等离子体中将 RF 功率转移给电子并且增加等离子体密度。

[0054] 总之,在开启阶段 606 期间,高频部分 604 是开启的且因此等离子体表现为更高的等离子体密度和更高的离子通量。因此,在该阶段,刻蚀速率更快。另外,由于高的等离子体鞘电势,所以离子轰击能量非常高。然后,当关闭阶段 608 开始时,由 RF 驱动器 110 提供的对应于高频部分 604 的信号关闭。因为现在只有低频部分 602 存在于晶片的等离子体鞘电势中,所以离子通量更低且刻蚀速率更慢。但在开启阶段产生于高频部分的更高聚合在关闭阶段持续到一定程度,导致了更好的接触到掩膜刻蚀选择度。

[0055] 同样地,根据本发明的一个方面,通过使 RF 驱动器 110 提供产生基于连续低频部分 602 和高频部分 604 的等离子体鞘电势的信号,能得到快的刻蚀速率和好的选择度(归因于开启阶段 606 的作用),同时也减少了可以导致扭曲的特征电荷积累(归因于关闭阶段 608 的作用)。

[0056] 应该注意的是,根据本发明,可能存在其他机构来提供由 RF 驱动器 110 提供的基于第一信号和第二信号,或者基于第一信号和第二信号产生等离子体鞘电势的方式的优点的证据。一个非限制性示例机构涉及在关闭阶段 608 的等离子体化学过程不同于在开启阶段 606 的等离子体化学过程,因为在关闭阶段 608 的电子加热远不同于在开启阶段 606 的电子加热。另外,根据本发明的一个方面,由 RF 驱动器 110 提供的基于第一信号和第二信号,或者基于第一信号和第二信号产生等离子体鞘电势的方式,可以用于得到接近于低频(单一)驱动信号条件下的等离子体化学过程以及双频驱动信号条件下高的离子通量。

[0057] 在上面讨论的示例中,参考图 6,高频部分 604 的占空比少于半个。更具体地,开启阶段 506 为 135ns,而关闭阶段大约为 340ns,使得高频部分 604 的占空比大约为 28%。在其他实施方式中,高频部分 604 的占空比可以等于或大于一半。可以选择占空比以获得要求的刻蚀参数。例如,增大的占空比可以提供更快的刻蚀速率。然而,增大的占空比会额外地降低沉积的聚合物层中的中和,因此促进了扭曲。因此选择占空比可以优化刻蚀速率并将扭曲最小化。

[0058] 在上面参考图 6 讨论的示例中,作为时间的函数的等离子体鞘电势是由 RF 驱动器提供给 ESC 106 的特定种类的 RF 驱动信号的结果。下面参考图 7A-7D,将会更详细地说明这种类型的 RF 驱动信号。

[0059] 图 7A 和 7B 是代表由 RF 驱动器 110 所提供信号与时间的函数关系的曲线图。图 7C 和 7D 各代表了图 7A 和 7B 分别示出的信号的预计离子通量与离子能的函数关系的曲线图。

[0060] 图 7A 包括函数 700,函数 700 表示了包括低频部分和高频部分的驱动信号。函数

700 的高频部分包括“开启”部分 702 和“关闭”部分 704, 函数 700 的高频部分以等于低频部分谐波的频率进行了幅度调整, 使得开启部分 702 在低频部分的最大电势时发生而关闭部分 704 在低频部分的最小电势时发生。

[0061] 图 7B 包括函数 706, 函数 706 也表示了包括低频部分和高频部分的驱动信号。函数 706 的高频部分“开启”部分 708 和“关闭”部分 710, 函数 706 的高频部分以等于低频部分谐波的频率进行了幅度调整, 使得开启部分 708 在低频部分的最小电势时发生而关闭部分 710 与低频部分的最大电势相一致。

[0062] 图 7C 包括函数 712, 函数 712 示出了使用图 7A 中作为由 RF 驱动器 110 提供的驱动信号的函数 700 导致的离子能与预计离子通量的函数关系。如图 7C 所示, 函数 712 显示了较低离子能的第一峰值 714 和较高离子能的第二峰值 716。如图所示, 第一峰值 714 远远大于第二峰值 716。更大的第一峰值 714 所代表的更低离子能对处理结果将有特别的作用, 而更小的第二峰值 716 所代表的更高离子能对处理结果将有不同的作用。根据本发明, 通过控制由 RF 驱动器 110 提供的驱动信号来控制每一作用的量, 可以更精确地控制处理结果。

[0063] 图 3C 的函数 304 (其对应于低频单一驱动信号) 以虚线示于图 7C 中用于参考。在图 7C 中, 可以清楚地看到第一峰值 714 从函数 304 的第一峰值 306 转变为更高的离子能。进一步地, 可以清楚地看到第二峰值 716 从函数 304 的第二峰值 308 转变为更低的离子能。另外, 注意到对应于第一峰值 714 离子能的离子通量的量要大于对应于第一峰值 306 离子能的离子通量的量。因此, 可以清楚地看到与使用函数 300 作为驱动信号相比, 使用函数 700 作为驱动信号将提供总体增加的等离子体密度和离子通量。

[0064] 图 7D 包括函数 718, 函数 718 示出了实现作为图 7B 中的由 RF 驱动器 110 提供的驱动信号的函数 706 的预计离子能分布。函数 304 以虚线示于图 7D 中以供参考。

[0065] 如图所示, 函数 718 包含较低离子能的第一峰值 720 和更高离子能的第二峰值 722。由更大的第一峰值 720 所代表的更低离子能对处理结果将有特别的作用, 而由更小的第二峰值 722 所代表的更高离子能对处理结果将有不同的作用。根据本发明, 通过控制由 RF 驱动器 110 提供的驱动信号来控制每一作用的量, 可以更精确地控制处理结果。

[0066] 第一峰值 720 没有从函数 304 第一峰值 306 的离子能显著地转变为不同的离子能。第二峰值 722 从第二峰值 308 的离子能转化为更低的离子能。

[0067] 与上面相对于图 3D 和 7C 所讨论的情况相似, 第一峰值 720 离子通量的量远远大于峰值 306 的离子通量的量, 表明了等离子体密度的增加。然而, 与上面相对于图 3D 和 7C 所讨论的情况不同的是, 第一峰值 720 的离子通量没有从函数 304 第一峰值 306 的离子能显著地转化为不同的离子能。如函数 706 所示, 根据本发明的一个方面的驱动信号提供了等离子体密度和离子通量的整体增加, 并同时维持了低能离子的存在。该离子能分布不能通过结合连续多频激发获得, 它是本发明的独特结果。对于 HARC 刻蚀工艺这可能是有益的, 因为低能离子的存在可以通过帮助槽侧壁已形成的电荷的放电, 从而帮助减少充电效应, 而由调整过的高频信号引发的更高的离子通量和更多的聚合化学过程将趋向于提高刻蚀速率和接触到掩膜的选择比。

[0068] 因此, 根据本发明的一个方面的示例实施方式将以图 7B 函数 706 的形式实现 RF 驱动信号, 从而能够得到图 6 函数 600 形式的等离子体鞘电势。注意到由于测量电势的方

式,与图 6 函数 600 关联的合成 (resulting) 等离子体鞘电势相比于与图 7B 函数 706 相关的驱动信号的电势,是相反的极性。

[0069] 上面参考图 6 和图 7 讨论的实施方式,再参考图 1 的晶片处理系统进行讨论。然而应该注意到,根据本发明的一个方面并不限于图 1 的晶片处理系统。相反,本发明的一个方面可以被用于任何通过施加电磁场可操作地产生等离子体的晶片处理系统。这包括但不限于电容耦合或电感耦合等离子体处理系统。就此而论,任何已知的施加电磁场以产生等离子体的方法都可以依照本发明来使用。在上面参考图 1 讨论的示例中,驱动信号被施加到单个电极。在其他实施方式中,复数个有源电极可以被配置于等离子体形成空间周围,等离子体形成空间被布置用于接收气体。在这些实施方式中,根据本发明,驱动信号可以提供于复数个电极以在等离子体形成空间里产生电磁场从而从气体创造等离子体并得到等离子体鞘电势。

[0070] 上面参考图 6 和 7D 讨论的实施方式,合成 (resulting) 等离子体鞘电势 (函数 600) 以两部分为基础,即连续低频部分 602 和 604。然后应该注意到,其他实施方式可以包括有基于多于两部分的合成 (resulting) 等离子体鞘电势的等离子体的产生,该两部分如连续低频部分和复数个非连续高频部分。

[0071] 上面参考图 6 和 7 讨论的实施方式中,将连续低频部分 602 以等于高频部分 604 谐波的频率调整幅度,使得开启阶段 606 位于低频部分 602 的最大幅度间隔中心周围。然而,在其他实施方式中,连续低频部分 602 可以以等于高频部分 604 谐波的频率调整幅度,使得开启阶段 606 设为偏离低频部分 602 的最大幅度间隔中心。对应于低频部分 602 最大幅度间隔中心的开启阶段 606 的具体配置将提供所需要的修改刻蚀特性。

[0072] 现在将参考图 8 进一步说明本发明一个方面的益处。

[0073] 图 8 示出了根据本发明的一个方面在示例的 HARC 刻蚀工艺之后晶片 114 的剖面。

[0074] 如图中所示,入射的等离子体离子 208 轰击晶片 114 的表面,刻蚀衬底 200 在未掩盖区 204 的部分并形成刻蚀孔 800。同时,带有聚合中性粒子入射通量的入射等离子体离子 208 形成了聚合物层 210。刻蚀孔 800 具有孔高度 802 (表示为 h_3) 和孔直径 804 (表示为 d_3)。因此刻蚀孔 800 的深宽比为 h_3/d_3 。这里,与上面参考图 2B 讨论的惯用方法相比, $h_3 \gg h_1$ 。因此,刻蚀孔 800 的深宽比显著地高于图 2B 刻蚀孔 212 的深宽比。

[0075] 如图 8 所示,离子轨道 806 是完全垂直的,并且刻蚀孔 800 的侧壁是直的,表现为没有扭曲或弯曲。这是因为在图 6 所示关闭阶段,聚合物层 210 中的电荷被中和,因此防止了在聚合物层 210 中积累可观的电荷。因为有最小的充电效应,所以没有电场使离子轨道 806 转向,从而形成有最小扭曲或弯曲的刻蚀孔 800 (高深宽比接触孔)。

[0076] 根据本发明的一个方面,为了提供没有扭曲且高刻蚀速率和高选择比的最佳 HARC 刻蚀结果,RF 波形的设置被应用到晶片处理系统。施加的 RF 信号并因此在晶片的等离子体鞘电势包括连续低频部分和高频部分。RF 信号的高频部分只在低频循环的低压部分中有最大的幅度,且在其他所有其他阶段有最小的幅度 (或被转为关闭)。因此,在晶片处的合成 (resulting) 等离子体鞘电势包括只在低频循环 (开启阶段) 的高压部分中有最大幅度且在其他所有阶段 (关闭阶段) 有最小幅度的高频部分。因此在开启阶段中等离子体表现为高的等离子体密度和高的离子能,而在关闭阶段中等离子体像脉冲直流放电那样表现。开启阶段的时间平均作用将等离子体化学过程转化为更有聚合性,因此有助于好的选

择度。通过这种方式,开启阶段提供了快的刻蚀速率和好的接触到掩膜选择度,而关闭阶段提供了中和接触孔侧壁中所形成电荷的时间,因此减小了扭曲。

[0077] 如上面讨论的,按照本发明的一个方面,以特别方法操作处理系统,该处理系统通过用带电磁场影响气体的方式可操作地产生等离子体。此特别方法控制了基于低频正弦部分和高频正弦部分的作为时间的函数的参数。将高频正弦部分以等于低频正弦部分谐波的频率调整幅度。

[0078] 在某些实施方式中,操作处理系统的特别方法涉及调节高频正弦部分和低频正弦部分之间的相位以调节处理系统中的处理。在某些实施方式中,参数涉及等离子体鞘电势,而在其他实施方式中参数涉及驱动信号。

[0079] 进一步地,根据本发明的一个方面,高频正弦部分包括高幅度间隔和低幅度间隔。在某些实施方式中,操作处理系统的特别方法涉及调节高幅度间隔幅度和低幅度间隔幅度中的至少一个幅度以调节处理系统中的处理。在某些实施方式中,参数涉及等离子体鞘电势,而在其他实施方式中,参数涉及驱动信号。

[0080] 进一步地,根据本发明的一个方面,高频正弦部分占空比的持续时间是高幅度间隔持续时间同高幅度间隔持续时间和低幅度间隔总和之比。在某些实施方式中,操作处理系统的特别方法涉及调节高频正弦部分占空比的持续时间以调节处理系统中的处理。在某些实施方式中,参数涉及等离子体鞘电势,而在其他实施方式中,参数涉及驱动信号。

[0081] 如上面讨论的,本发明的一个方面涉及作为时间的函数的等离子体鞘电势的高频正弦部分被以等于低频正弦部分谐波的频率进行幅度调整。在上面讨论的某些示例中,作为时间的函数的等离子体鞘电势的高频正弦部分被以等于低频正弦部分的第一谐波进行幅度调整。在特定的示例中,第一谐波的相对相位差在低频正弦部分循环的最大幅度处或其附近提供了高频正弦部分的最大幅度间隔,并在低频正弦部分循环的最小幅度或其附近提供了高频正弦部分的最小幅度间隔。换句话说,作为时间的函数的等离子体鞘电势的高频正弦部分以等于低频正弦部分的第 n 个谐波的频率调整幅度,其中 n 为整数。在这样的示例中, n 个高频正弦部分可以发生在低频正弦部分的不同部分。

[0082] 如上面讨论的,本发明的一个方面涉及作为时间的函数的驱动信号的高频正弦部分以等于低频正弦部分的谐波的频率调整幅度。在上面讨论的某些示例中,作为时间的函数的驱动信号的高频正弦部分以等于低频正弦部分第一谐波的频率调整幅度。在特定示例中,第一谐波的相对相位差在低频正弦部分循环的最小幅度或其附近提供了高频正弦部分的最大幅度间隔,并在低频正弦部分循环的最大幅度或其附近提供了高频正弦部分的最大幅度间隔。在其他示例中,作为时间的函数的等离子体鞘电势高频正弦部分以等于低频正弦部分的第 n 个谐波的频率调整幅度。在这样的示例中, n 个高频正弦部分可以发生在低频正弦部分的不同部分。

[0083] 上面讨论的示例实施方式涉及刻蚀。然而应该注意到本发明方面不限于刻蚀。相反,本发明方面可以用于通过施加电磁场可操作地产生用于任何工艺的等离子体的任何晶片处理系统,该任何工艺的非限制性示例包括淀积、植入、自动清洁等。

[0084] 通过调节高频正弦部分高幅度间隔的幅度、高频正弦部分低幅度间隔的幅度、高频正弦部分占空比的持续时间、高频正弦部分和低频正弦部分之间的相位和高频正弦部分幅度调整谐波中的任何一个,可以精确控制处理系统的处理特性。

[0085] 为图示和说明的目的,前面已提供了对本发明各种优选实施方式的描述。它并不意指是穷尽性的或限制本发明为已公开的明确的形式,显然根据上述教导可以做出许多修改和变化。如上所述,选择并描述示例的实施例是为了更好地解释本发明的原理和它的实际应用,从而使本领域的其他技术人员能最好地利用本发明于各种实施方式中并在适合预期的特定使用时做出各种修改。本发明的范围意图由所附权利要求来限定。

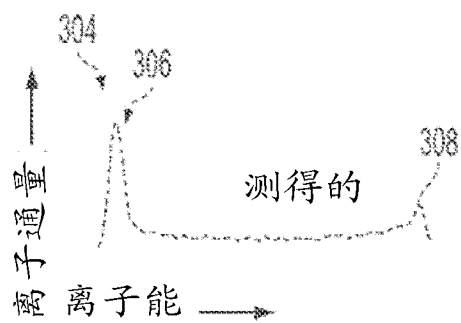


图 3C

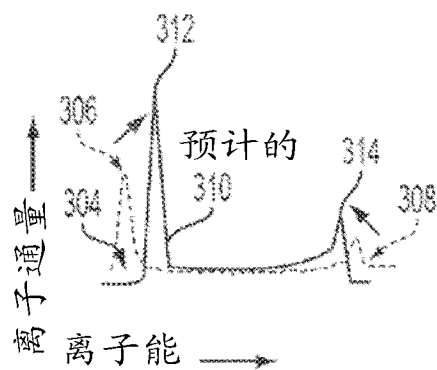


图 3D

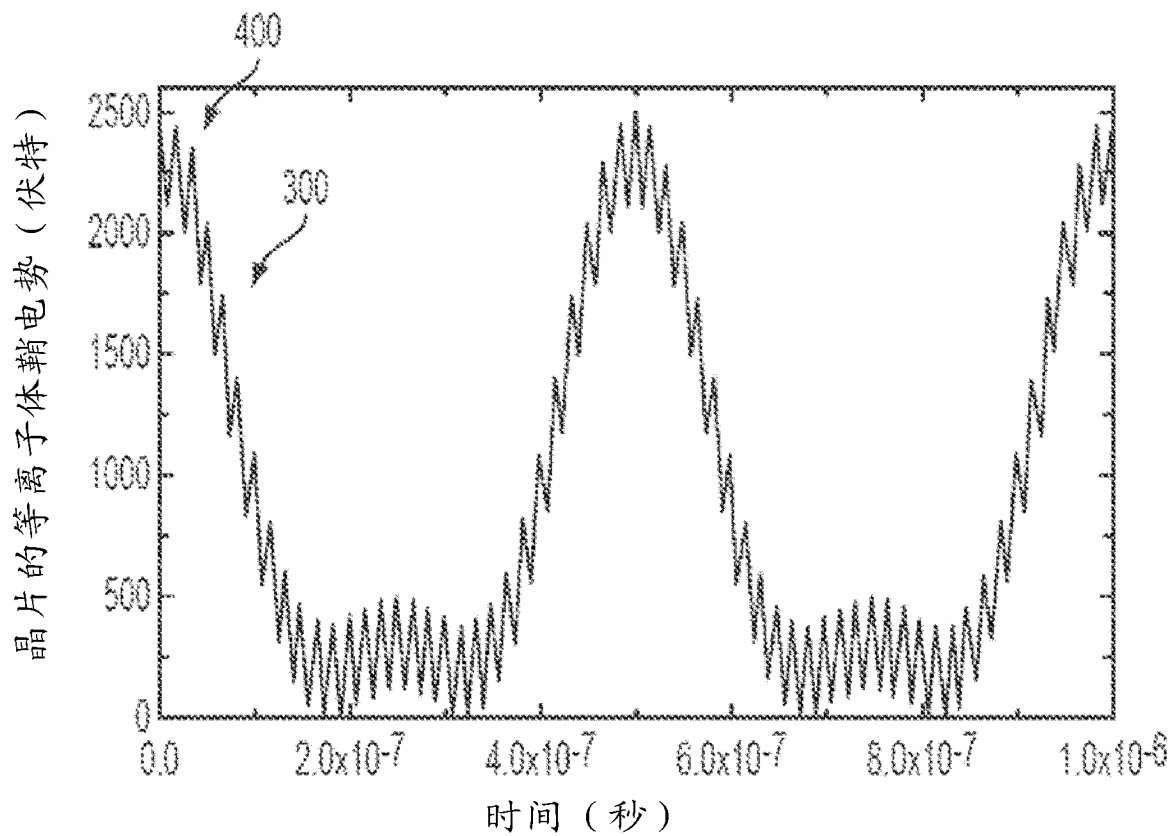


图 4

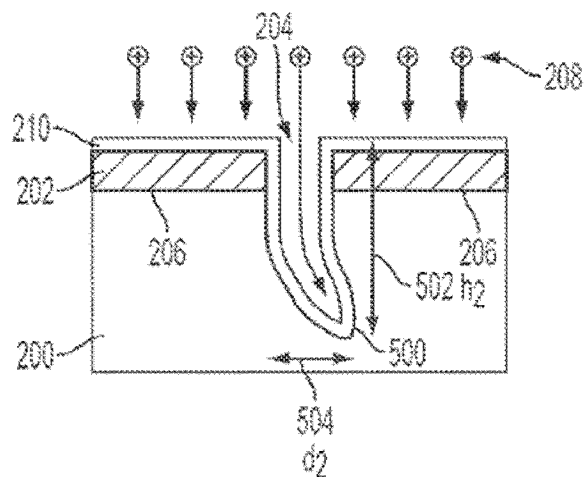


图 5A

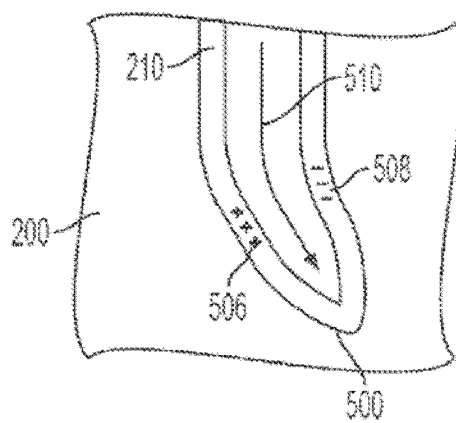


图 5B

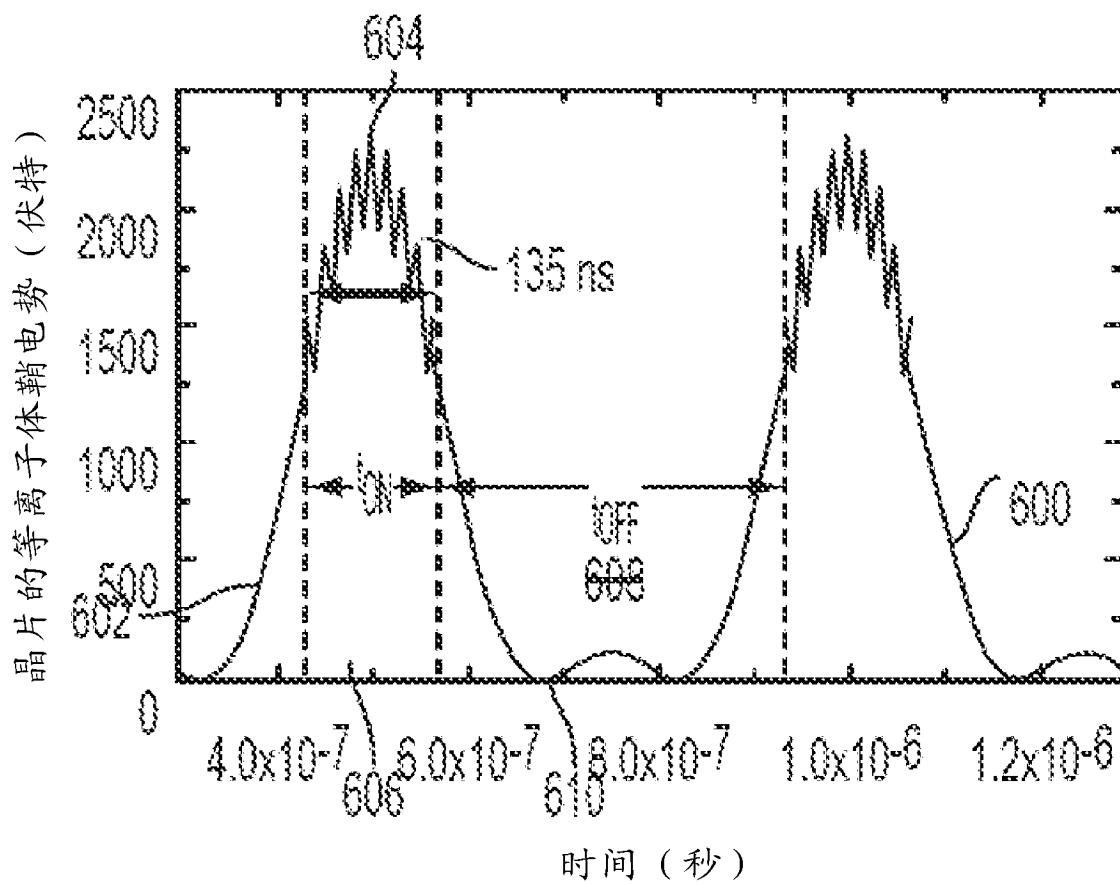


图 6

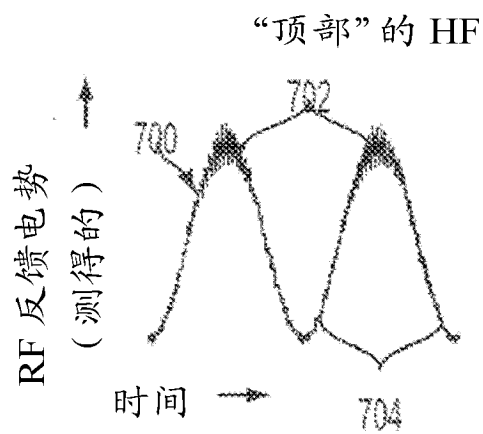


图 7A

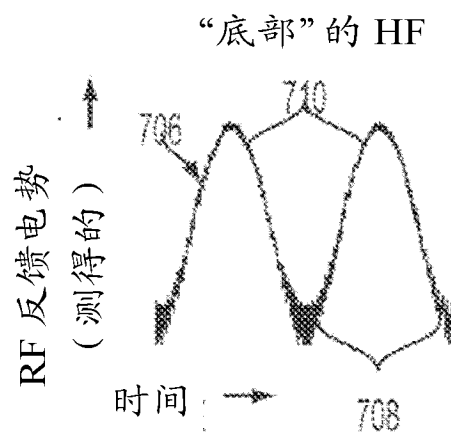


图 7B

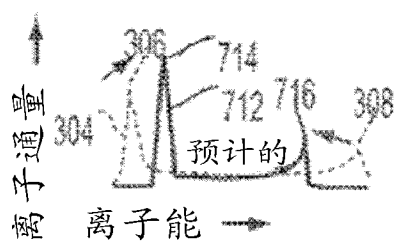


图 7C

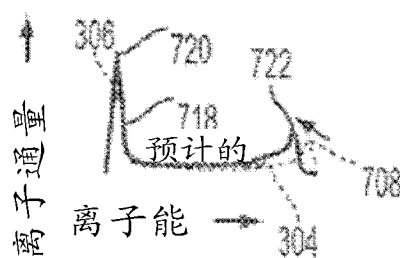


图 7D

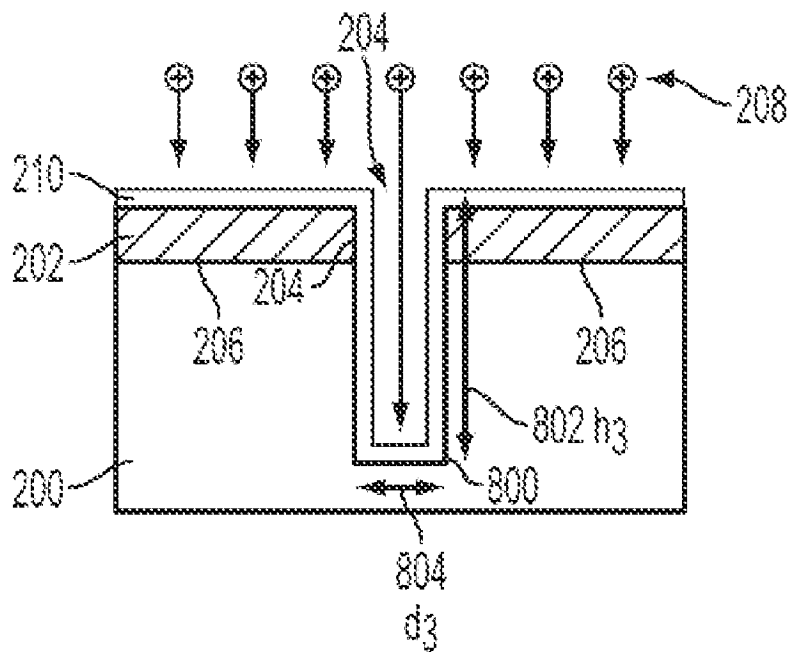


图 8