



(10) 授权公告号 CN 111357077 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 08

(21) 申请号 201880074291.5

(22) 申请日 2018.09.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111357077 A

(43) 申请公布日 2020.06.30

(30) 优先权数据
62/587,418 2017.11.16 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.05.15

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/052223 2018.09.21

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/099102 EN 2019.05.23

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社
地址 日本东京都

(72) 发明人 赵建平 彼得·文特泽克
巴顿·莱恩

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 王萍 杨林森

(51) Int.Cl.
H01J 37/32 (2006.01)

(56) 对比文件
JP H0992645 A, 1997.04.04
US 2012283973 A1, 2012.11.08
CN 1694228 A, 2005.11.09
US 2017098527 A1, 2017.04.06
CN 101552187 A, 2009.10.07
US 2011070665 A1, 2011.03.24
CN 101369518 A, 2009.02.18

审查员 丁萍

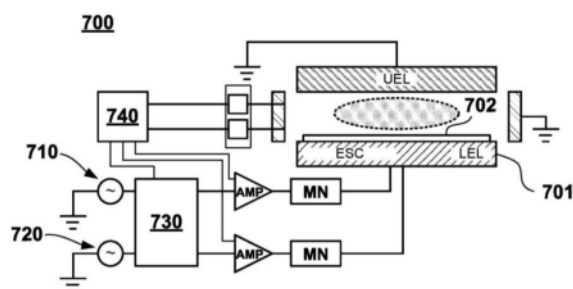
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

使用同步信号调制的等离子体加工系统

(57) 摘要

描述了一种用于使用等离子体来处理衬底的系统和方法。该系统包括：衬底固持器，该衬底固持器设置在等离子体加工系统内并且被布置成支撑衬底；第一信号发生器，该第一信号发生器用于以第一频率将第一信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体；以及第二信号发生器，该第二信号发生器用于以第二频率将第二信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体，其中，该第二频率小于该第一频率。该系统进一步包括：振幅调制电路，该振幅调制电路用于响应于振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制该第一信号；以及定时电路，该定时电路被配置为限定该振幅调制信号以使该第一信号的振幅调制与该第二信号的每个周期内的目标相位同步。



1. 一种用于使用等离子体来处理衬底的系统,该系统包括:
衬底固持器,该衬底固持器设置在等离子体加工系统内并且被布置成支撑衬底;
第一信号发生器,该第一信号发生器用于以第一频率将第一信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体,该等离子体包括等离子体鞘层;
第二信号发生器,该第二信号发生器用于以第二频率将第二信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体,该第二频率小于该第一频率,其中该第二信号是具有该第二频率的低频正弦波形;
定时电路,该定时电路被配置为将振幅调制信号限定为包括一系列脉冲,每个脉冲在该等离子体鞘层的扩展期间与该低频正弦波形的相应负周期同步,其中该一系列脉冲中的每一个的脉冲宽度包括小于该低频正弦波形的第二频率的周期的一半的持续时间;以及
振幅调制电路,该振幅调制电路用于响应于该振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制该第一信号,该第一信号在该低频正弦波形的负周期期间处于该高振幅状态。
2. 如权利要求1所述的系统,其中,所述第一频率超过10MHz,并且所述第二频率小于15MHz。
3. 如权利要求1所述的系统,其中,所述第一频率超过50MHz,并且所述第二频率小于5MHz。
4. 如权利要求1所述的系统,其中,所述第一频率的范围为50MHz到150MHz,并且所述第二频率的范围为0.1MHz到5MHz。
5. 如权利要求1所述的系统,其中,所述高振幅状态是通电状态,并且所述低振幅状态是断电状态。
6. 如权利要求1所述的系统,其中,所述振幅调制信号是周期性的或非周期性的。
7. 如权利要求1所述的系统,其中,所述振幅调制信号包括所述一系列脉冲的各脉冲宽度、所述一系列脉冲的各脉冲幅度、所述振幅调制信号的脉冲占空比和所述振幅调制信号的脉冲波形形状中的至少一个的变化。
8. 如权利要求1所述的系统,进一步包括:
计量系统,该计量系统被配置为测量与等离子体特性的空间分布有关的数据。
9. 如权利要求1所述的系统,进一步包括:
原位诊断器,该原位诊断器耦合到所述等离子体加工系统,并且被配置为测量与等离子体特性的空间分布有关的数据。
10. 如权利要求9所述的系统,其中,所述原位诊断器包括第一电压探针,该第一电压探针用于记录与所述第一信号有关的第一等离子体信号。
11. 如权利要求10所述的系统,其中,所述原位诊断器进一步包括第二电压探针,该第二电压探针用于记录与所述第二信号有关的第二等离子体信号。
12. 如权利要求9所述的系统,其中,所述原位诊断器包括天线以测量所述等离子体中的一定位置处的时变磁场。
13. 如权利要求1所述的系统,其中,所述第一信号和所述第二信号耦合到所述衬底固持器。
14. 如权利要求1所述的系统,其中,所述第一信号耦合到与所述衬底固持器相对的电

极或天线,并且所述第二信号耦合到该衬底固持器。

15.一种用于等离子体加工的方法,该方法包括:

将衬底放置在设置在等离子体加工系统内的衬底固持器上;

使用第一信号发生器以第一频率向在该等离子体加工系统中形成的等离子体施加第一信号,该等离子体包括等离子体鞘层;

使用第二信号发生器以第二频率向在该等离子体加工系统中形成的等离子体施加第二信号,该第二频率小于该第一频率,其中该第二信号是具有该第二频率的低频正弦波形;以及

通过使用振幅调制信号对该第一信号进行调制来控制该第一信号与该等离子体的最佳耦合的持续时间,以实现该等离子体的目标空间分布,该振幅调制信号包括一系列脉冲,每个脉冲在该等离子体鞘层的扩展期间与该低频正弦波形的相应负周期同步,并且每个脉冲的脉冲宽度包括小于该低频正弦波形的第二频率的周期的一半的持续时间。

16.如权利要求15所述的方法,其中,所述控制包括:

使用定时电路,该定时电路被配置为使该第一信号的调制与所述第二信号的相应周期的相应目标相位同步。

17.如权利要求15所述的方法,进一步包括:

感测所述等离子体的状态;以及

根据所感测的等离子体状态改变所述第一信号的调制。

18.一种用于使用等离子体来处理衬底的系统,该系统包括:

衬底固持器,该衬底固持器设置在等离子体加工系统内并且被布置成支撑衬底;

第一信号发生器,该第一信号发生器用于以第一频率将第一信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体,该等离子体包括等离子体鞘层;

第二信号发生器,该第二信号发生器用于以第二频率将第二信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体,该第二频率小于该第一频率,其中该第二信号是具有该第二频率的低频正弦波形;

定时电路,该定时电路被配置为将振幅调制信号限定为包括一系列脉冲,每个脉冲在该等离子体鞘层的扩展期间与该低频正弦波形的相应负周期同步,其中该一系列脉冲中的每一个的脉冲宽度包括小于该低频正弦波形的第二频率的周期的一半的持续时间;

振幅调制电路,该振幅调制电路用于响应于该振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制该第一信号,该第一信号在该低频正弦波形的负周期期间处于该高振幅状态;以及

控制器,该控制器被配置为接收与等离子体特性在整个衬底上的空间分布和时间分布有关的数据,并指示所述定时电路调整所述振幅调制信号以实现目标空间分布。

使用同步信号调制的等离子体加工系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年11月16日提交的名称为“PLASMA PROCESSING SYSTEM WITH SYNCHRONIZED SIGNAL MODULATION(使用同步信号调制的等离子体加工系统)”的美国临时申请号62/587,418的优先权,该美国临时申请通过引用以其全文结合在此。

技术领域

[0003] 本发明涉及一种用于等离子体加工的系统和方法,并且更具体地,涉及一种用于蚀刻或沉积用于电子器件应用的薄膜的等离子体加工技术。

背景技术

[0004] 等离子体加工是一项用于通过辅助将材料沉积到工件上和从工件上蚀刻材料来制造半导体集成电路的标准技术。在既用于蚀刻应用又用于沉积应用的反应器设计中,一个重要的要求是实现可接受的指标(诸如蚀刻速率、沉积速率等)及其空间均匀性,以满足良品率要求。如果已知等离子体密度在整个衬底上从中心到边缘是均匀的,则更容易实现空间均匀性。在许多情况下,希望使用在VHF(甚高频)范围(30-300MHz)内的RF(射频)频率下、而不是13.56MHz下生成的等离子体,后者一直是用于在半导体加工中产生等离子体的标准RF频率。

[0005] 较高频率的一些优点包括实现更高等离子体密度的等离子体生成效率。等离子体鞘层的RF电压也较小,从而导致较低的离子能量,并且在考虑溅射和损坏的情况下对腔室壁和衬底产生较少的轰击。这些优点对于下一代蚀刻要求是尤其有用的。

[0006] 高密度等离子体特别用于在沉积应用中离解初级分子。然而,通过实验已经发现,通过VHF生成的等离子体通常具有不均匀的径向分布。在100MHz等离子体的情况下,这一点会相当明显,在等离子体密度中具有尖锐的中心峰值。经常的情况还是,工艺要求混合高频RF和低频RF。低频RF功率提供了更高的离子能量。已经发现,将低频RF功率添加到高频RF功率中以意想不到的方式改变了等离子体密度分布,并且随应用而变化。

发明内容

[0007] 本文的技术涉及使用等离子体加工技术的器件制造。

[0008] 在一个实施例中,描述了一种用于使用等离子体来处理衬底的系统。该系统包括:衬底固持器,该衬底固持器设置在等离子体加工系统内并且被布置成支撑衬底;第一信号发生器,该第一信号发生器用于以第一频率将第一信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体;以及第二信号发生器,该第二信号发生器用于以第二频率将第二信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体,其中,该第二频率小于该第一频率。该系统进一步包括:振幅调制电路,该振幅调制电路用于响应于振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制该第一信号;以及定时电路,该定时电路被配置为限定该振幅调制信号以使该第一信号的振幅调制与该第二信号的每个周期内的目标相位同步。

[0009] 在另一实施例中,描述了一种用于使用等离子体来处理衬底的方法。该方法包括:将衬底放置在设置在等离子体加工系统内的衬底固持器上;使用第一信号发生器以第一频率向在该等离子体加工系统中形成的等离子体施加第一信号;使用第二信号发生器以第二频率向在该等离子体加工系统中形成的等离子体施加第二信号,该第二频率小于该第一频率;使用振幅调制电路来响应于振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制该第一信号;以及控制该第一信号相对于该第二信号与该等离子体的最佳耦合的持续时间,以实现该等离子体的目标空间分布。

[0010] 在又一实施例中,描述了一种用于使用等离子体来处理衬底的系统。该系统包括:衬底固持器,该衬底固持器设置在等离子体加工系统内并且被布置成支撑衬底;第一信号发生器,该第一信号发生器用于以第一频率将第一信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体;第二信号发生器,该第二信号发生器用于以第二频率将第二信号耦合到该等离子体加工系统中的等离子体,该第二频率小于该第一频率;以及波形发生器,该波形发生器耦合到该第二信号发生器,并且被配置为调整该第二信号的波形及其占空比,并控制该第一信号相对于该第二信号与该等离子体的最佳耦合的持续时间。

[0011] 当然,为了清楚起见,已经呈现了本文描述的不同步骤的讨论顺序。通常,这些步骤可以以任何合适的顺序执行。另外,尽管可以在本披露的不同地方讨论本文中的不同特征、技术、配置等中的每一个,但是旨在每个概念都可以彼此独立地或彼此组合地执行。因此,可以以许多不同的方式来体现和查看本发明。

[0012] 注意,该概述部分未指定本披露或所要求保护的发明的每个实施例和/或递增的新颖方面。相反,该概述仅提供了对不同实施例的初步讨论以及相对于传统技术的相应新颖之处。对于本发明和实施例的附加细节和/或可能的观点,将读者引向本披露的“具体实施方式”部分和相应附图,如下文进一步讨论的。

附图说明

[0013] 在附图中:

[0014] 图1展示了根据实施例的等离子体状态的示意性表示;

[0015] 图2A和图2B提供了根据实施例的支持等离子体状态的示例性测量数据;

[0016] 图3A和图3B提供了根据实施例的支持等离子体状态的另外的示例性测量数据;

[0017] 图4A和图4B提供了根据实施例的支持等离子体状态的又一示例性测量数据;

[0018] 图5A和图5B展示了根据实施例的用于等离子体加工的方法;

[0019] 图6A和图6B展示了根据实施例的用于等离子体加工的方法;

[0020] 图7提供了根据实施例的用于等离子体加工的系统的示意性图示;

[0021] 图8提供了展示根据实施例的等离子体加工的方法的流程图;以及

[0022] 图9A至图9D提供了根据各个实施例的用于执行蚀刻或沉积的方法的等离子体加工系统的示意性图示。

具体实施方式

[0023] 本文的技术涉及使用等离子体加工系统和方法的器件制造。在半导体制造中,从前段制程(FEOL,例如晶体管制造)到后段制程(BEOL,例如互连制造)都有几个明显的实例,

其中,均匀的加工对于器件良品率很重要。本文描述了用于修改等离子体状态、包括等离子体特性的空间分布的系统和方法,以及用于采用测得的信号的系统和方法,这些信号可以用于控制密度分布。

[0024] 作为示例,在大约60MHz或更高的频率下,由等离子体反应器内的RF(射频)系统发射的电磁波传播的波长变得与腔室的尺寸相当,并且电磁效应变得重要。电场从低频静电场变为传播波和驻波。取决于工艺条件(例如,功率、压力、气体化学性质等)以及所测量的等离子体特性,等离子体特性分布以及所得到的蚀刻或沉积速率可能在整个衬底或工件上变化。如图1所示,在一些情况下,蚀刻(或沉积)速率(E/R)可以具有‘中心-高’分布101或‘边缘-高’分布102。并且,可能希望实现均匀条件或预定规格内的空间均匀性,即,可接受的或目标程度的空间可变性。

[0025] 已经使用磁场探针评估了VHF频率(例如100MHz)下的波状性质,以测量例如不同等离子体状态(诸如图1中描绘的非均匀等离子体状态、或均匀等离子体状态(未示出))下的 dB/dt (其中,B表示磁场,并且t为时间)。如图2A和图2B所示,根据整个衬底上的空间位置(x)执行磁场探针测量。图2A提供了与具有多个过零点210、211、212的非均匀等离子体状态(201)相关的B场的时间变化率的示例性空间测量。相反,图2B提供了与具有单个过零点220的均匀等离子体状态(202)相关的B场的时间变化率的示例性空间测量。此外,图3A和图3B提供了作为时间(t)的函数的示例性磁场探针测量结果。 dB/dt 的时间轨迹301和302基本上为正弦的,除了时间轨迹301在轨迹的正相位中表现出信号峰值的变化之外。该特征(behavior)表示图2A中的分布201的空间特性,而轨迹302的特征表示图2B中的分布202的空间特性。

[0026] 发明人推测非线性特征的存在以与等离子体鞘层动力学和表面波生成相关联的方式随压力和等离子体密度(例如,耦合功率)以及其他参数而缩放。此外,等离子体中心附近的非线性现象可能导致在纳秒级的时间尺度(比10ns的波周期短得多)上的瞬变特征。这种瞬变特征可能集中在100MHz相位的一小部分内,并且其出现可能与密度分布的峰值相关。发明人已经用例如两个频率的多频率系统进行了类似的实验,以相对较低的频率和相对较高的频率驱动等离子体。已经发现,快速非线性瞬变仅在低频振荡的特定相位期间发生。单独地,已经发现,如果在低频RF的特定相位处对100MHz进行振幅调制,则如果100MHz的包络在低频RF的特定相位处具有最大值,则可以强烈地修改密度。

[0027] 转向图4A和图4B,针对在类似于图7中描绘的系统的多频率等离子体加工系统上收集的数据,呈现了数据集401和402的时间轨迹(a至d)。多频系统操作第一信号发生器用于以第一频率(例如100MHz(VHF功率))耦合第一信号,并且操作第二信号发生器用于以第二频率(例如3.2MHz(LF功率))耦合第二信号。每个数据集401和402包括一个LF周期的LF时间轨迹LF1和LF2,以及一个LF周期期间的VHF内容的四(4)个VHF时间轨迹‘a’至‘d’。如图4A所示,对于LF功率的变化(即,90W至400W),数据集401在轨迹‘a’至‘d’中表现出弱的VHF调制,部分原因是相对较高的电子密度(例如,高VHF功率)。然而,如图4B所示,对于LF功率的变化(即,90W至400W),数据集402在轨迹‘a’至‘d’中表现出强的VHF调制,部分原因是相对较高的压力和较低电子密度。

[0028] 发明人已经观察到,低频RF(LF)在低频时间尺度上改变了等离子体的形状,并且随着等离子体形状的改变,100MHz电磁波的传播受到影响。由于100MHz波传播会驱动电离,

因此在低频信号的特定相位或相位范围内最大化100MHz波传播的包络会导致密度分布发生变化。作为这种见解的结果,提出了用于修改等离子体特性(包括该加工等离子体的空间分布)的系统和方法。发明人推测,低频RF的作用是使等离子体中的电子移动,以使得等离子体与反应器的各个壁之间的鞘层扩展或收缩。这种扩展或收缩自然是随着低频RF频率(LF)周期性变化的。高频RF(VHF)的传播和波结构取决于鞘层的性质,并且在特定的鞘层构造中,高频信号经由非线性相互作用更高效地耦合到等离子体,从而产生与经由其他鞘层构造实现的密度分布不同的密度分布。

[0029] 根据一个实施例,可以在第二信号(例如,低频RF(LF))的目标相位期间耦合第一信号(例如,高频RF(VHF))。例如,高频RF的施加局限于特定的鞘层构造。如图5A所示,第一频率(例如,VHF)的第一信号501和第二频率(例如,LF)的第二信号502耦合到等离子体,并且在等离子体鞘层扩展期间VHF振幅增大。第二信号502(即,低频波形)可以由单个正弦波形组成,而第一信号501(即,高频波形)可以由经振幅调制的正弦波形组成并且局限于第二信号502的特定相位处。在其他实施例中,第二信号502是非正弦的。例如,在特定的瞬时低频RF电压下,该鞘层构造对于均匀的高频波传播可能是最佳的。可以对低频波形进行整形,以使该特定的RF电压在低频RF周期的较长部分内出现。在这种情况下,可以允许高频RF包络的最大值的持续时间扩展并占据低频周期的最佳部分。

[0030] 根据各个实施例,根据振幅调制信号510来调制第一信号501的振幅。振幅调制信号510可以由振幅511和波形形状512来表征,这两者都可以随时间变化或可以不随时间变化。图5A描绘了方波,但是波形形状可以包括正弦形、锯齿形或任何任意形状。振幅调制信号510可以进一步由脉冲宽度513、第二信号的目标相位514和相对于第二信号的相位偏移515来表征,它们中的任一个都可以随时间变化或可以不随时间变化。例如,关于目标相位,第一信号501的振幅调制可以在等离子体鞘层扩展期间与第二信号502的负周期同步,即,图5A中的 $3\pi/2$ 。如相位偏移515所规定的,振幅调制的发起可以在目标相位514之前。振幅调制与脉冲宽度513一起可以捕获目标相位514,并占据第二信号502的一部分相位。

[0031] 在替代性实施例中,可以将低频RF(LF)波形设计为定制特定的鞘层构造,并限定高效耦合高频RF(VHF)的持续时间。在该实施例中,调整低频RF的占空比。例如,如图6A所示,将第一频率(例如,VHF)的第一信号601和第二频率(例如,LF)的第二信号602耦合到等离子体,并且调整第二信号602的占空比以增大或减小等离子体鞘层扩展的持续时间,并且因此提高或降低VHF的耦合效率。占空比(%)等于脉冲宽度610与信号周期615之比。图6A展示了小于50%的占空比。图6B展示了大于50%的占空比。

[0032] 如发明人所确定的,对基本物理工艺的理解还提供了一种用于监测和控制修改等离子体特性的效果的系统和方法。如上所述,在半导体设备上的硬件和工艺中,再现性可能具有挑战性。设备漂移和匹配是再现性挑战的示例。为了提供可再现的结果,重要的是要有一个可以被监测和利用以控制设备的硬件和工艺的信号。如图2A、图2B、图3A、图3B、图4A和图4B所展示的,可以在等离子体内(例如在等离子体边缘处)检测高频瞬变特征,并且与低频波形有关的幅度和相位可以用作控制诊断器。然后,可以使用控制诊断器来修改低频波形的形状从而保持高频包络恒定,或者在保持低频波形恒定的同时修改高频的包络,或者两者同时进行。

[0033] 发明人已经确定,调整用于在低频信号内容(例如,LF)的低压状态期间与在低频

信号内容的高压状态期间耦合高频信号内容(例如,VHF)的相对持续时间允许调整等离子体状态,包括中心到边缘的空间等离子体分布(例如,等离子体密度、离子或电子或两者)。例如,增加用于在低压状态期间(即,在等离子体鞘层扩展期间)耦合高频信号内容的相对持续时间能够增大边缘处的等离子体密度并降低中心处的等离子体密度。另外,例如,在低频信号内容的低压状态处、附近或至少部分地包括该低压状态期间的持续时间的的时间,同步对高频信号内容的脉冲或调制促进了相对于中心处的等离子体密度增大边缘处的等离子体密度,和/或类似地相对于边缘处的等离子体密度降低中心处的等离子体密度。可替代地,减小用于在低压状态期间(即,在等离子体鞘层扩展期间)耦合高频信号内容的相对持续时间能够增大中心处的等离子体密度。另外,例如,在低频信号内容的高压状态处、附近或至少部分地包括该高压状态期间的持续时间的的时间,同步对高频信号内容的脉冲或调制促进了相对于中心处的等离子体密度降低边缘处的等离子体密度,和/或类似地相对于边缘处的等离子体密度增大中心处的等离子体密度。如本文所述,经由信号调制,本发明人已经建立了用于调制等离子体特性、包括调制所述特性的空间分布的系统和方法。

[0034] 根据各个实施例,图7提供了用于等离子体加工的系统700的示意性图示。系统700包括设置在其中的衬底固持器701,该衬底固持器被布置成支撑衬底702。系统700进一步包括:第一信号发生器710,该第一信号发生器用于以第一频率将第一信号耦合到等离子体加工系统中的等离子体;以及第二信号发生器720,该第二信号发生器用于以第二频率将第二信号耦合到等离子体加工系统中的等离子体,该第二频率小于该第一频率。在一个实施例中,第一频率超过10MHz,并且第二频率小于15MHz。可替代地,第一频率超过50MHz,并且第二频率小于15MHz。可替代地,第一频率的范围为50MHz到150MHz,并且第二频率的范围为1MHz到15MHz。可替代地,第一频率超过50MHz,并且第二频率小于5MHz。可替代地,第一频率的范围为50MHz到150MHz,并且第二频率的范围为1MHz到5MHz。仍可替代地,第一频率的范围为50MHz到150MHz,并且第二频率的范围为0.1MHz到5MHz。

[0035] 信号调制控制器730耦合到第一信号发生器710和第二信号发生器720,并且被配置为控制第一信号与等离子体的最佳耦合的持续时间,以实现等离子体的目标空间分布。根据一个实施例,信号调制控制器730包括:振幅调制电路,该振幅调制电路用于响应于振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制第一信号;以及定时电路,该定时电路被配置为限定该振幅调制信号以使该第一信号的振幅调制与该第二信号的每个周期内的目标相位同步。作为示例,高振幅状态可以是通电状态,并且低振幅状态可以是断电状态。

[0036] 如图5A所展示的,定时电路限定与第二信号的目标相位同步的振幅调制信号,该振幅调制信号包括脉冲宽度、脉冲幅度、脉冲偏移、脉冲占空比和脉冲波形形状。振幅调制信号可以是周期性的或非周期性的(例如,参见图5B)。而且,如图5A和图5B所示,振幅调制信号包括脉冲宽度、脉冲幅度、脉冲占空比和脉冲波形形状中的至少一个的变化。

[0037] 根据另一实施例,信号调制控制器730包括波形发生器,该波形发生器耦合到第二信号发生器720,并且被配置为调整第二信号的波形及其占空比,并控制第一信号与等离子体的最佳耦合的持续时间。如图6A所展示的,波形发生器可以将波形的占空比从小于50%的值(图6A)改变为大于50%的值(图6B)。对于图6A所描绘的情况,例如,在高频信号内容的施加期间降低低频信号内容的占空比促进了相对于中心处的等离子体密度增大边缘处的等离子体密度,和/或类似地相对于边缘处的等离子体密度降低中心处的等离子体密度。对

于图6B所描绘的情况,例如,在高频信号内容的施加期间增大低频信号内容的占空比促进了相对于中心处的等离子体密度降低边缘处的等离子体密度,和/或类似地相对于边缘处的等离子体密度增大中心处的等离子体密度。波形发生器可以创建任何形式的信号,包括正弦波、方波、锯齿波等。正弦波可以包括谐波内容的混合以定制波形的形状。

[0038] 再次参考图7,系统700可以包括控制器740,该控制器被配置为接收与等离子体特性在整个衬底702上的空间分布有关的数据,并且指示信号调制控制器(例如,指示定时电路来调整振幅调制信号,或者指示波形发生器来调整波形)以实现目标空间分布。此外,系统700可以包括计量系统(未示出),该计量系统被配置为测量与等离子体特性的空间分布有关的数据,或者包括原位诊断器,该原位诊断器耦合到等离子体加工系统并且被配置为测量与等离子体特性的空间分布有关的数据。

[0039] 用于第一信号和第二信号的功率耦合电路可以包括用于调制信号幅度(例如,功率放大器)、相移和/或频移(例如,图7中的‘AMP’)的电路。另外,功率耦合电路可以包括(多个)阻抗匹配网络(例如,图7中的‘MN’),该阻抗匹配网络具有可变的电部件、电容器和/或电感器并且被布置和设计成将信号发生器的输出阻抗与等离子体加工电路(包括等离子体)相匹配。

[0040] 根据几个实施例,图8展示了等离子体加工的方法。被描绘为流程图800的方法包括:在810中,将衬底放置在设置在等离子体加工系统内的衬底固持器上;在820中,使用第一信号发生器以第一频率向在等离子体加工系统中形成的等离子体施加第一信号;以及830,使用第二信号发生器以第二频率向在等离子体加工系统中形成的等离子体施加第二信号,该第二频率小于该第一频率。

[0041] 该方法进一步包括,在840中,控制第一信号与等离子体的最佳耦合的持续时间,以实现等离子体的目标空间分布。在一个实施例中,当控制最佳耦合的持续时间时,信号调制可以包括:使用振幅调制电路响应于振幅调制信号而在高振幅状态与低振幅状态之间调制第一信号,并使用定时电路来限定该振幅调制信号,该定时电路被配置为使该第一信号的振幅调制与该第二信号的每个周期内的目标相位同步,以控制该第一信号与该等离子体的最佳耦合的持续时间。在另一实施例中,当控制最佳耦合的持续时间时,信号调制可以包括:使用波形发生器来调制该第二信号的波形及其占空比,并控制该第一信号与该等离子体的最佳耦合的持续时间。该方法可以进一步包括感测等离子体的状态,并根据所感测的等离子体状态改变信号调制。

[0042] 图9A至图9D提供了可以用于促进结合了上述实施例的等离子体加工的几个等离子体生成系统。图9A展示了电容耦合等离子体(CCP)系统,其中,等离子体在上板电极(UEL)与下板电极(LEL)之间的衬底附近形成,下电极还用作静电吸盘(ESC)以支撑和保持衬底。通过将射频(RF)功率耦合到至少一个电极来形成等离子体。如图9A所示,RF功率耦合到上电极和下电极两者,并且功率耦合可以包括不同的RF频率。可替代地,多个RF功率源可以耦合到同一电极。而且,直流(DC)功率可以耦合到上电极和/或下电极。

[0043] 图9B展示了电感耦合等离子体(ICP)系统,其中,等离子体在电感元件(例如,平面线圈或螺线管/螺旋线圈)与下板电极(LEL)之间的衬底附近形成,下电极还用作静电吸盘(ESC)以支撑和保持衬底。通过将射频(RF)功率耦合到电感耦合元件来形成等离子体。如图9B所示,RF功率耦合到电感元件和下电极两者,并且功率耦合可以包括不同的RF频率。

[0044] 图9C展示了表面波等离子体(SWP)系统,其中,等离子体在开槽平面天线与下板电极(LEL)之间的衬底附近形成,下电极还用作静电吸盘(ESC)以支撑和保持衬底。通过将微波频率的射频(RF)功率通过波导和同轴线耦合到开槽平面天线来形成等离子体。如图9C所示,RF功率耦合到开槽平面天线和下电极两者,并且功率耦合可以包括不同的RF频率。

[0045] 图9D展示了远程等离子体系统,其中,等离子体在远离衬底的区域中形成并通过过滤器与衬底分离,该过滤器被布置成阻止带电粒子从远程等离子体源向靠近衬底的加工区域的输送。衬底由下板电极(LEL)支撑,该下板电极还用作静电吸盘(ESC)以保持衬底。通过将射频(RF)功率耦合到远程定位区域附近的等离子体生成装置来形成等离子体。如图9D所示,RF功率耦合到远程区域附近的等离子体生成装置和下电极两者,并且功率耦合可以包括不同的RF频率。

[0046] 图9A至图9D的等离子体加工系统旨在说明用于实施所描述的蚀刻工艺和/或沉积(成膜)工艺的各种技术。设想了包括所描述的系统的组合和变化的其他实施例。

[0047] 在权利要求中,任何从属限制可以取决于任何独立权利要求。

[0048] 在前面的描述中,已经阐明了具体细节,诸如加工系统的特定几何形状以及其中使用的各种部件和工艺的描述。然而,应当理解,本文的技术可以在脱离这些具体细节的其他实施例中实践,并且这些细节是出于解释而非限制的目的。已经参考附图描述了本文披露的实施例。类似地,出于解释的目的,已经提出了具体的数字、材料和配置以便提供透彻的理解。然而,可以在没有这些具体细节的情况下实践实施例。具有基本相同的功能结构的部件由相似的附图标记表示,并且因此可以省略任何多余的描述。

[0049] 已经将各种技术描述为多个不连续的操作以帮助理解各个实施例。描述的顺序不应解释为意味着这些操作是必须依赖于顺序的。实际上,这些操作无需按照呈现的顺序执行。可以以与所描述的实施例不同的顺序来执行所描述的操作。在附加实施例中,可以执行各种附加操作和/或可以省略所描述的操作。

[0050] 如本文所使用的,“衬底”或“目标衬底”通常是指根据本发明被加工的物体。衬底可以包括器件(特别是半导体或其他电子器件)的任何材料部分或结构,并且可以例如是基础衬底结构,诸如半导体晶片、光罩、或基础衬底结构之上或叠加在基础衬底结构上的层,诸如薄膜。因此,衬底不限于图案化或未图案化的任何特定基础结构、下层或上覆层,而是设想包括任何这种层或基础结构,以及层和/或基础结构的任何组合。该描述可以参考特定类型的衬底,但这仅出于说明目的。

[0051] 本领域技术人员还将理解,在仍然实现本发明的相同目的的同时,可以对上述技术的操作做出许多改变。这种改变旨在被本披露的范围覆盖。因此,本发明的实施例的前述描述不旨在是限制性的。相反,在所附权利要求中呈现了对本发明实施例的任何限制。

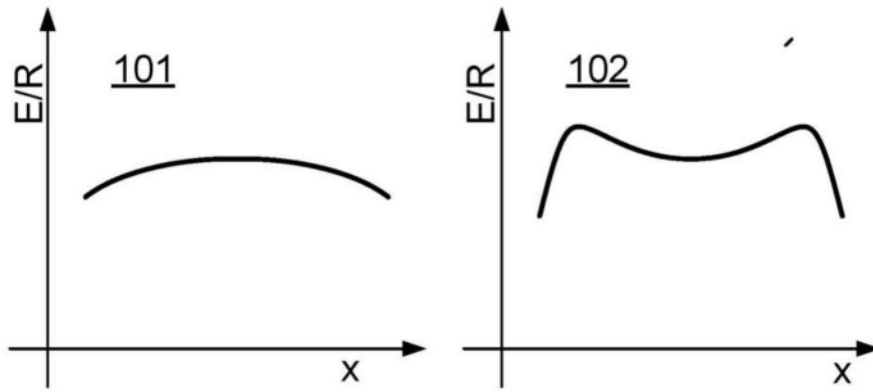


图1

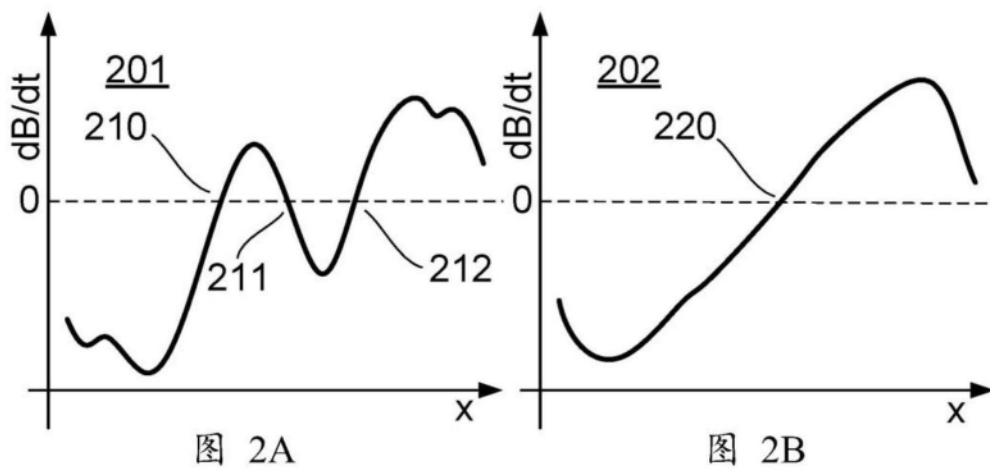


图 2A

图 2B



图3A

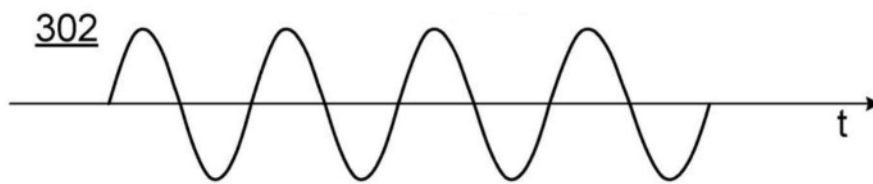


图3B

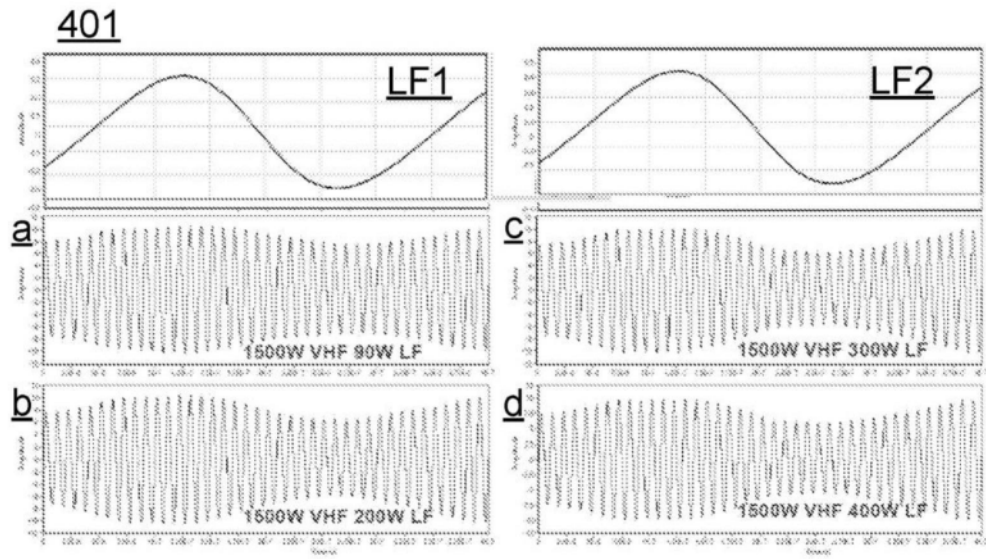


图4A

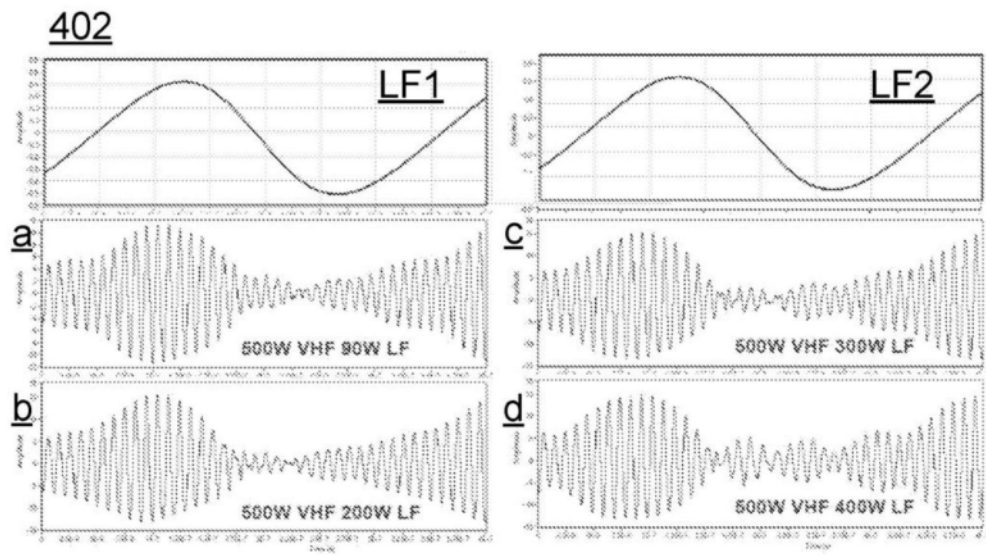


图4B

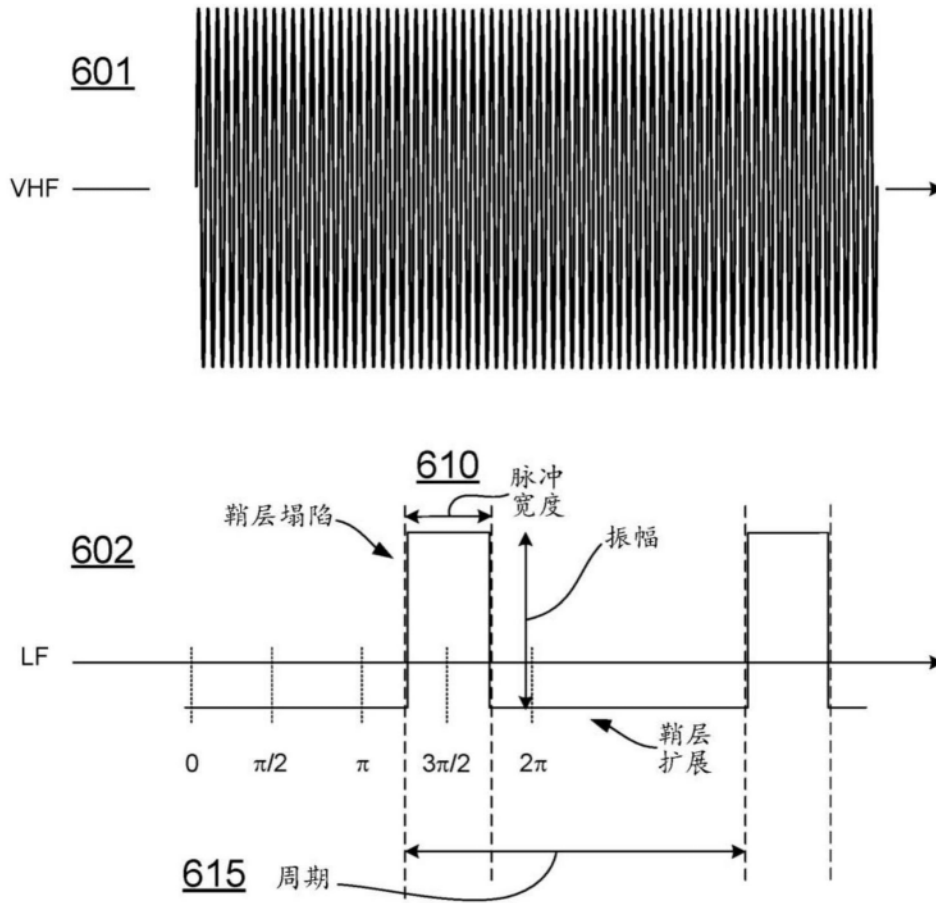


图6A

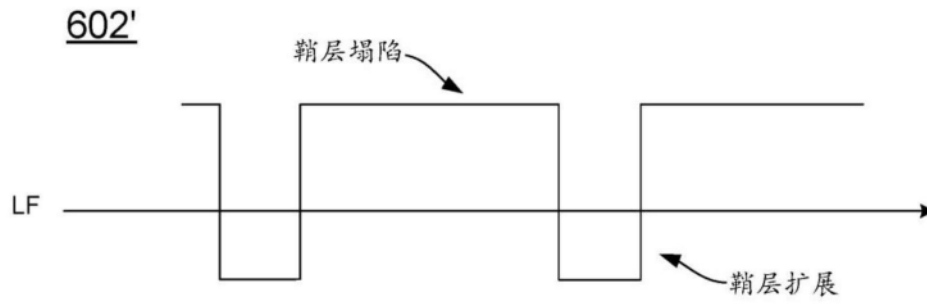


图6B

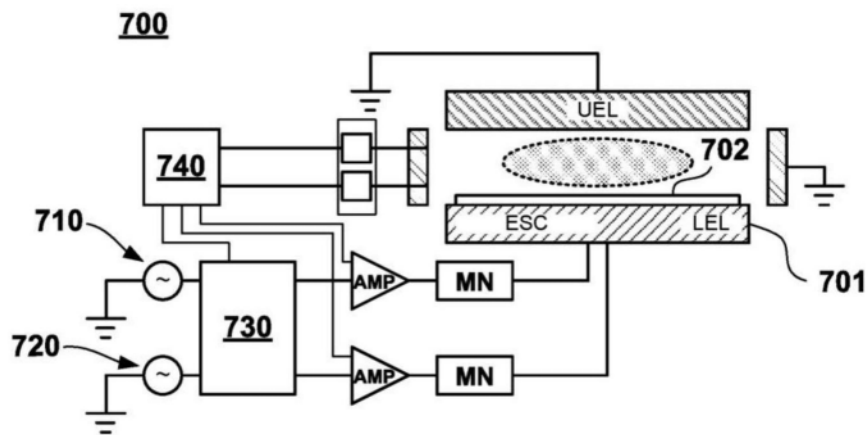


图7

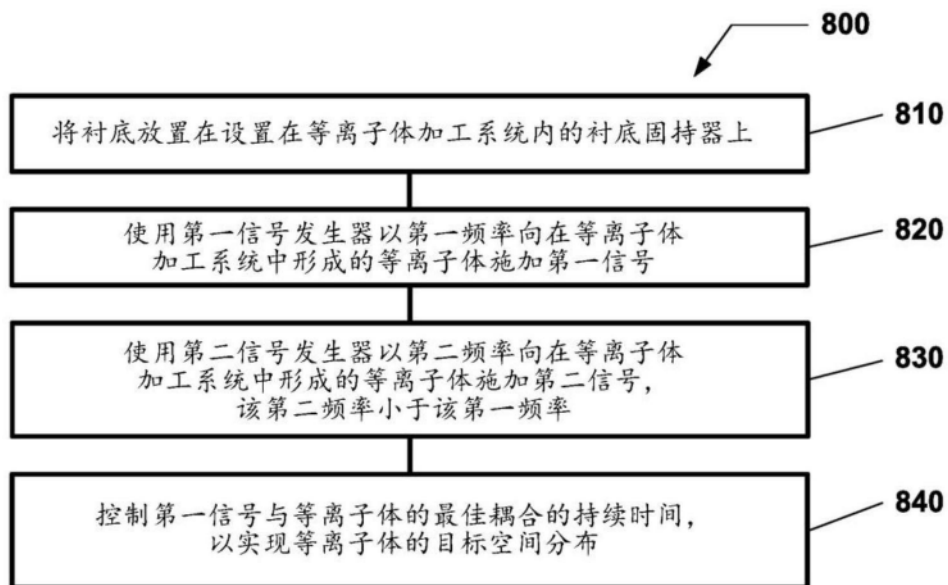


图8

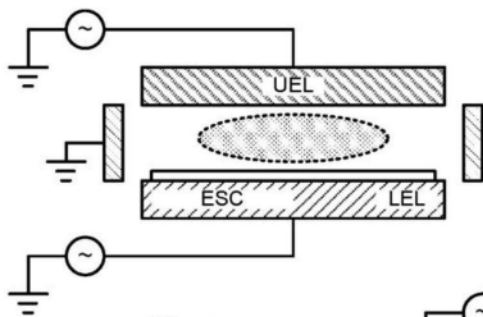


图 9A

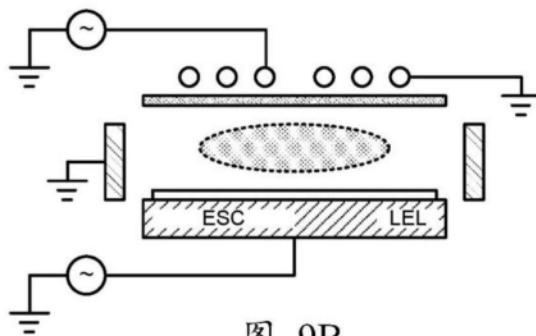


图 9B

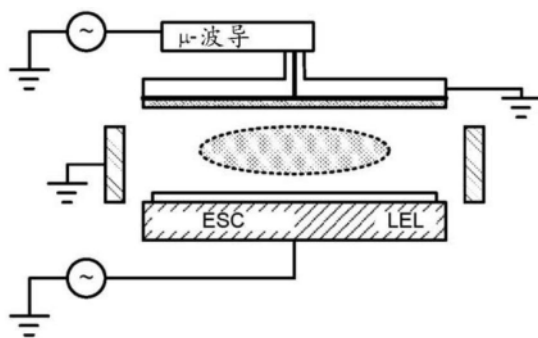


图9C

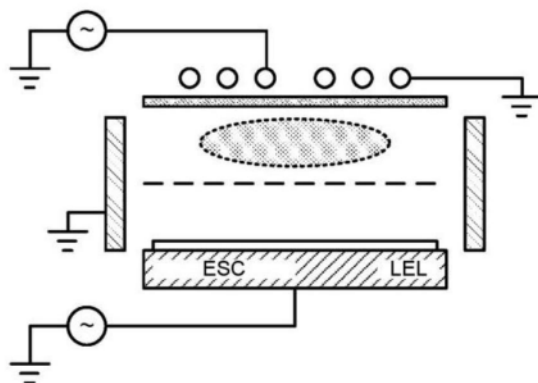


图9D