(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 101809715 B
(45)授权公告日 2012.11.14

(21)申请号 200880109229.1

(22)申请日 2008.09.22

(30)优先权数据
11/862,358 2007.09.27 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.03.29

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2008/077163 2008.09.22

(87)PCT申请的公布数据
WO2009/042534 EN 2009.04.02

(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 陈立 麦里特·法克

(74)专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限责任公司 11258
代理人 赵飞 南霆

(51)Int.Cl.
H01L 21/302(2006.01)

(56)对比文件
US 6335535 B1,2002.01.01,
US 6335535 B1,2002.01.01,
US 5468955 A,1995.11.21,
US 2004/0222367 A1,2004.11.11,
US 2004/0221815 A1,2004.11.11,
US 5284544 A,1994.02.08,
US 6138606 A,2000.10.31,
CN 1242594 A,2000.01.26,
US 2004/0108470 A1,2004.06.10,
US 2007/0062645 A1,2007.03.22,

审查员 马泽宇

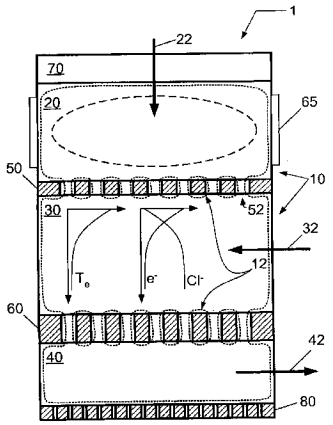
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 6 页

(54)发明名称

用于制造负离子等离子体的处理系统

(57)摘要

描述了一种用于制造负电荷等离子体的处理系统,其中,制造了具有负电荷离子的静止等离子体。该处理系统包括用于利用第一处理气体产生等离子体的第一室区域,以及通过分离构件与第一室区域分离的第二室区域。来自第一区域中的等离子体的电子被传输至第二区域以通过与第二处理气体碰撞而形成静止等离子体。利用耦合至第二室区域的压力控制系统来控制第二室区域中的压力,以使来自第一室区域的电子与第二处理气体发生碰撞猝灭以形成较少的高能电子,该高能电子产生具有负电荷离子的静止等离子体。



CN 101809715 B

1. 一种处理系统，用于制造包含负电荷离子的等离子体，所述处理系统包括：

第一室，其构造成接收第一处理气体并在第一压力下工作；

第一气体注入系统，其耦合至所述第一室，并构造成引入所述第一处理气体；

第二室，其耦合至所述第一室，并构造成接收第二处理气体并在第二压力下工作，其中，所述第二室包括出口，所述出口构造成耦合至用于对衬底进行处理的衬底处理系统；

第二气体注入系统，其耦合至所述第二室，并构造成引入所述第二处理气体；

等离子体产生系统，其耦合至所述第一室，并构造成从所述第一处理气体形成等离子体；

分离构件，其布置在所述第一室与所述第二室之间，其中，所述分离构件包括一个或更多超德拜长度开口，所述超德拜长度开口用于从所述第一室中的所述等离子体向所述第二室供应电子以在所述第二室中形成静止等离子体，其中，所述超德拜长度开口足够大以允许充分的电子传输、并且足够小以防止或减少电子穿越所述分离构件加热，并且其中，所述分离构件由电介质材料制造；以及

压力控制系统，其耦合至所述第一室，或耦合至所述第二室，或耦合至所述第一室及所述第二室两者，并且所述压力控制系统构造成控制所述第二压力，以使来自所述第一室的所述电子与所述第二处理气体发生碰撞淬灭以形成较少的高能电子，所述高能电子在所述第二室中产生具有负电荷离子的所述静止等离子体，

其中，所述第二处理气体包含至少一个负电性气态物质。

2. 根据权利要求 1 所述的处理系统，其中，所述等离子体产生系统包括电容耦合等离子体源、电感耦合等离子体源、变压器耦合等离子体源、微波等离子体源、表面波等离子体源或螺旋波等离子体源中的至少一个。

3. 根据权利要求 1 所述的处理系统，其中，所述等离子体产生系统包括具有有感线圈的变压器耦合等离子体源，所述有感线圈布置在所述第一室上方，并构造成通过电介质窗将电磁 (EM) 能量耦合至所述第一室的内部。

4. 根据权利要求 1 所述的处理系统，还包括：

一个或更多电极，其位于所述第一室的外周周围，并构造成与所述等离子体接触；以及

电源，其耦合至所述一个或更多电极，并构造成将电压耦合至所述一个或更多电极。

5. 根据权利要求 1 所述的处理系统，还包括：

圆柱形电极，其包围所述第一室的外周，并构造成与所述等离子体接触；以及

电源，其耦合至所述圆柱形电极，并构造成将电压耦合至所述圆柱形电极。

6. 根据权利要求 5 所述的处理系统，其中，所述圆柱形电极构造成起圆柱形中空阴极的作用，并且其中，所述电压为在约 -1V（伏）至约 -5kV 的范围内的直流 (dc) 电压。

7. 根据权利要求 6 所述的处理系统，其中，所述电压为在约 -1V（伏）至约 -2kV 的范围内的直流 (dc) 电压。

8. 根据权利要求 1 所述的处理系统，其中，所述压力控制系统包括经由泵送管路耦合至所述第二室的泵送系统、耦合至所述泵送管路并布置在所述泵送系统与所述第二室之间的阀、耦合至所述第二室并构造成测量所述第二压力的压力测量装置、以及耦合至所述压力测量装置及所述阀并构造成执行对所述第二压力的监控、调节或控制中至少一种操作的控制器。

9. 根据权利要求 1 所述的处理系统，还包括：

中和栅格，其耦合至所述第二室的所述出口，并构造成对所述负电荷离子进行部分或全部中和，其中，所述中和栅格为次德拜 (sub-Debye) 中和栅格。

10. 根据权利要求 1 所述的处理系统，还包括：

第三室，其耦合至所述第二室并接近所述第二室的所述出口，其中，压力隔板布置在所述第二室与所述第三室之间，并构造成在所述第二室中的所述第二压力与所述第三室中的第三压力之间产生压力差，所述第三压力低于所述第二压力。

11. 根据权利要求 10 所述的处理系统，其中，所述压力控制系统耦合至所述第三室。

12. 根据权利要求 10 所述的处理系统，还包括：

中和栅格，其耦合至所述第三室的出口，并构造成对所述负电荷离子进行部分或全部中和，其中，所述中和栅格为次德拜中和栅格。

13. 一种负电荷离子产生中性束源，包括：

中性束产生室，包括构造成接收第一处理气体并在第一压力下工作的第一室区域，以及布置在所述第一室区域下游并构造成接收第二处理气体并在第二压力下工作的第二室区域；

第一气体注入系统，其耦合至所述第一室区域，并构造成引入所述第一处理气体；

第二气体注入系统，其耦合至所述第二室区域，并构造成引入所述第二处理气体；

等离子体产生系统，其耦合至所述第一室区域，并构造成从所述第一处理气体形成等离子体；

分离构件，其布置在所述第一室区域与所述第二室区域之间，其中，所述分离构件包括一个或更多超德拜长度开口，所述超德拜长度开口构造成允许从所述第一室区域中的所述等离子体向所述第二室区域传输电子以在所述第二室区域中形成静止等离子体，其中，所述超德拜长度开口足够大以允许充分的电子传输、并且足够小以防止或减少电子穿越所述分离构件加热，并且其中，所述分离构件由电介质材料制造；

压力控制系统，其耦合至所述中性束产生室，并构造成控制所述第二压力，以使来自所述第一室区域的所述电子与所述第二处理气体发生碰撞淬灭以形成较少的高能电子，所述高能电子产生具有负电荷离子的所述静止等离子体；以及

次德拜中和栅格，其耦合至所述第二室区域的出口，并构造成对所述负电荷离子进行部分或全部中和。

14. 根据权利要求 13 所述的中性束源，还包括：

布置在所述第二室区域下游的第三室区域，其中，所述第三室区域的出口耦合至所述次德拜中和栅格。

15. 根据权利要求 14 所述的中性束源，还包括：

压力隔板，其布置在所述第二室区域与所述第三室区域之间，并构造成在所述第二室区域中的所述第二压力与所述第三室区域中的所述第三压力之间产生压力差，所述第三压力低于所述第二压力。

16. 根据权利要求 15 所述的中性束源，还包括：

圆柱形电极，其包围所述第一室区域的外周，并构造成与所述等离子体接触；以及

电源，其耦合至所述圆柱形电极，并构造成将电压耦合至所述圆柱形电极，

其中，所述圆柱形电极用于起圆柱形中空阴极的作用，并且其中，所述电压为在约 -1V（伏）至约 -5kV 的范围内的直流 (dc) 电压。

17. 根据权利要求 16 所述的中性束源，其中，所述压力控制系统通过被接地或被电偏压的排气气缸耦合至所述第三室区域，并且其中，所述排气气缸包括通过其形成的一个或更多次德拜开口，或包括通过其形成的一个或更多超德拜开口，或包括其组合。

用于制造负离子等离子体的处理系统

技术领域

[0001] 本发明涉及用于制造具有负电荷离子的等离子体的系统，具体涉及用于制造源自具有负电荷离子的等离子体的中性束的系统。

背景技术

[0002] 在材料处理过程（例如半导体处理）中，经常利用等离子体通过沿细线（fine line）或在半导体衬底上图案化的过孔（或接触）内促进对材料的各向异性去除来辅助蚀刻处理。例如，图案蚀刻可包括将诸如光阻材料的辐射敏感材料薄层涂布至随后被图案化的衬底的上表面，以在蚀刻过程中提供将该图案转移至衬底上的下层薄膜的掩膜。

[0003] 但是，对衬底处理使用正电性等离子体放电（正离子及电子的集合）的常规等离子体处理会造成对衬底上形成的材料层及器件的电荷引发（charge-induced）损毁，由此构成很大的危险。例如，因为离子与电子之间迁移性的巨大差异，（相对于电子）离子会更深地穿入器件特征，由此在场强变的足够大时会导致衬底上电荷梯度（gradient），由此会导致电气击穿。随着器件越来越小，集成度越来越高，在很多情况下，绝缘材料以及其中的隔离结构的击穿电压已经大大降低，经常远小于 10 伏。例如，一些集成电路（IC）器件设计要求具有亚微米厚度的绝缘体。

[0004] 同时，随着材料结构（即，膜厚度、特征临界尺寸等）的持续收缩，充电损毁的可能性急剧增大。结构尺寸的缩小降低了绝缘材料或隔离结构的电容值，并且需要相对较少的充电粒子就可产生具有足以击穿绝缘材料或绝缘结构的强度的电场。因此，在制造处理（例如，干法等离子体蚀刻处理）过程中用于由撞击在半导体结构上的粒子携带的电荷的半导体结构的容忍度已经变的极为有限，并且有时需要用于在制造过程中消耗上述电荷的结构，因此经常导致半导体器件的设计复杂化。

[0005] 因此，希望对在 IC 制造过程中的材料处理使用离子－离子等离子体放电（来自负电性气体）来促进对衬底的各向异性处理。这里，可将正离子及负离子两者引向需要处理的衬底以减少或最小化电荷引发损毁。

[0006] 此外，对材料处理使用中性束以促进对衬底的各向异性处理。这里，产生高能中性粒子并将其导向衬底以促进上述各向异性处理。

[0007] 术语“中性束”字面上指空间电荷中和束，但其也可包含相对极少的中性粒子（如果存在的话）。因此，该术语仅在存在大致相当的电子与离子的宏观意义上是正确的。但是，在这里，将使用术语“中性束”来表示包含大量中性粒子（其中电子及离子束缚在中性粒子中）的束。

[0008] 在中性束处理技术中，形成（高密）等离子体以包含适于处理衬底的电离气态成分。因为与这些电离气态成分相关联的电荷，利用电场来导引其初始轨迹并将这些离子种加速至足以一旦被中和就可保持其轨迹的能量级。例如，可将具有多个孔的中和栅格与离子种的高能束成排布置。当离子种穿过这些孔时，在其是正离子的情况下与电子重新结合，或在其是负离子的情况下丧失一个或更多电子以形成具有大致与衬底垂直的轨迹的高能

中性束。

[0009] 通常，中性粒子束的产生着眼于对正离子的中和。但是，该方法实用性不强。对正离子的中和处理依赖于加速正离子，并且通过碰撞交换电荷，但这样的效率会较低。可替代的，着眼于对负离子的中和的中性粒子束更具实用性。对负离子的中和处理依赖于夺去电子，这需要较少的能量，并且会更有效。困难之处在于产生具有大量负离子的等离子体。

发明内容

[0010] 本发明涉及用于制造具有负电荷离子的等离子体的系统，具体涉及用于制造源自具有负电荷离子的等离子体的中性束的系统。

[0011] 此外，本发明涉及用于在允许对从等离子体提取的负离子产生窄带能谱的同时有效地产生负离子的系统。如果提取的负离子被中和，则获得的中性束可具有窄带中性束能量。

[0012] 根据实施例，描述了用于制造负离子等离子体的处理系统，其中制造了具有负电荷离子的静止等离子体。该处理系统包括用于利用第一处理气体产生等离子体的第一室区域，以及通过分离构件与第一室区域分离的第二室区域。来自第一区域中的等离子体的电子被传输至第二区域以通过与第二处理气体碰撞而形成静止等离子体。利用耦合至第二室区域的压力控制系统来控制第二室区域中的压力，以使来自第一室区域的电子与第二处理气体发生碰撞猝灭以形成较少的高能电子，该高能电子产生具有负电荷离子的静止等离子体。

[0013] 根据另一实施例，描述了一种处理系统，用于制造包含负电荷离子的等离子体，所述处理系统包括：第一室，其用于接收第一处理气体并在第一压力下工作；第一气体注入系统，其耦合至所述第一室，并用于引入所述第一处理气体；第二室，其耦合至所述第一室，并用于接收第二处理气体并在第二压力下工作，其中，所述第二室包括出口，所述出口用于耦合至用于对衬底进行处理的衬底处理系统；第二气体注入系统，其耦合至所述第二室，并用于引入所述第二处理气体；等离子体产生系统，其耦合至系统第一室，并用于从所述第一处理气体形成等离子体；分离构件，其布置在所述第一室与所述第二室之间，其中，所述分离构件包括一个或更多开口，所述开口用于从所述第一室中的所述等离子体向所述第二室供应电子以在所述第二室中形成静止等离子体；以及压力控制系统，其耦合至所述第一室，或耦合至所述第二室，或耦合至所述第一室及所述第二室两者，并且所述压力控制系统用于控制所述第二压力，以使来自所述第一室的所述电子与所述第二处理气体发生碰撞猝灭以形成较少的高能电子，所述高能电子在所述第二室中产生具有负电荷离子的所述静止等离子体，其中，所述第二处理气体包含至少一个负电性气态物质。

[0014] 根据又一实施例，描述了一种负电荷离子产生中性束源，包括：中性束产生室，包括用于接收第一处理气体并在第一压力下工作的第一室区域，以及布置在所述第一室区域下游并用于接收第二处理气体并在第二压力下工作的第二室区域；第一气体注入系统，其耦合至所述第一室区域，并用于引入所述第一处理气体；第二气体注入系统，其耦合至所述第二室区域，并用于引入所述第二处理气体；等离子体产生系统，其耦合至所述第一室区域，并用于从所述第一处理气体形成等离子体；分离构件，其布置在所述第一室区域与所述第二室区域之间，其中，所述分离构件包括一个或更多开口，所述开口用于允许从所述第一

室区域中的所述等离子体向所述第二室区域传输电子以在所述第二室区域中形成静止等离子体；压力控制系统，其耦合至所述中性束产生室，并用于控制所述第二压力，以使来自所述第一室区域的所述电子与所述第二处理气体发生碰撞猝灭以形成较少的高能电子，所述高能电子产生具有负电荷离子的所述静止等离子体；以及次德拜中和栅格，其耦合至所述第二室区域的所述出口，并用于对所述负电荷离子进行部分或全部中和。

附图说明

[0015] 在附图中：

[0016] 图 1 示出了根据实施例的处理系统；

[0017] 图 2 示出了根据实施例的处理系统；

[0018] 图 3A 提供了根据实施例的分离构件中的开口的立体图；

[0019] 图 3B 提供了根据实施例的中和栅格中的开口的立体图；

[0020] 图 4 示出了根据实施例用于处理衬底的处理系统；

[0021] 图 5 示出了根据实施例的处理系统；而

[0022] 图 6 示出了根据实施例的处理系统。

具体实施方式

[0023] 在以下描述中，为了说明，非限制性地列出具体细节，例如包括等离子体处理系统的粒子处理以及用于处理衬底的中性束处理系统。但是，应当理解，可通过与这些具体细节不同的其他方式来实施本发明。

[0024] 根据实施例，描述了用于制造负离子等离子体的系统，其中制造了具有负电荷离子的静止等离子体。该处理系统包括用于利用第一处理气体产生等离子体的第一室区域，以及利用分离构件与第一室区域分离的第二室区域。来自第一室区域中的等离子体的电子被传输至第二室区域以通过与第二处理气体碰撞来形成静止等离子体。这里使用术语“静止”等离子体来将在第二室区域内形成的等离子体与在第一室区域内形成的等离子体区别开。例如，通过将电磁 (EM) 能量耦合进入第一处理气体以加热电子来在第一室区域中产生等离子体，同时通过将来自第一室区域的电子传输至第二室区域以与第二处理气体相互作用来在第二室区域中产生等离子体。利用耦合至第二室区域的压力控制系统来控制第二室区域中的压力，以使来自第一室区域的电子与第二处理气体发生碰撞猝灭以形成较少高能电子，该高能电子产生具有负电荷离子的静止等离子体。

[0025] 该系统可有利于高效地产生负离子（即，离子 - 离子等离子体），同时允许对从等离子体提取的负离子产生（相对）较窄能谱。如果提取的负离子被中和，则得到的中性束会具有（相对）较窄中性束能量。参考图 1，示出了用于利用负离子等离子体形成及提取法来产生中性束的处理系统 1。

[0026] 处理系统 1 包括中性束产生室 10，中性束产生室 10 包括用于接收处于第一压力的第一处理气体 22 的第一室区域 20，以及布置在第一室区域 20 下游并用于接收片处于第二压力的第二处理气体 32 的第二室区域 30。第二处理气体 32 包括至少一种负电性气体。等离子体产生系统 70 耦合至第一室区域 20，并用于从第一处理气体 22 形成等离子体（如短划虚线所示）。

[0027] 此外，如图 1 所示，在中性束产生室 10 所限定的表面上形成等离子体鞘 12（如点虚线所示）。如上所述，等离子体鞘表示体等离子体与诸如限定导电表面的限定表面之间的边界层。通常，除了在表面诸如通向孔（例如，形成通过限定表面的开口或孔）的入口等中断位置附近之外，等离子体鞘严谨地跟随限定等离子体的导电表面。当孔尺寸（即，横向尺寸或直径）低于德拜长度时，等离子体鞘并不跟随孔。

[0028] 仍然参考图 1，分离构件 50 布置在第一室区域 20 与第二室区域 30 之间，其中，分离构件 50 包括一个或更多开口 52，其用于允许电子从第一室区域 20 中的等粒子体传输至第二室区域 30，以在第二室区域 30 中形成静止等离子体。分离构件 50 中的开口 52 可包括超德拜长度孔，即横向尺寸或直径大于德拜长度。开口可以足够大以允许充分的电子传输，并且开口也可足够小以防止或减少电子穿越分离构件 50 加热。

[0029] 此外，压力控制系统 42 耦合至处理系统 1，并用于控制第二压力。来自第一室区域 20 的电子可与第二处理气体发生碰撞猝灭以形成较少高能电子，该高能电子在第二室区域中产生具有负电荷离子的静止等离子体。

[0030] 处理系统 1 还包括耦合至处理系统 1 的出口并用于对负电荷离子进行部分或全部中和的中和栅格 80。中和栅格 80 可耦合至地，或其可被电偏压。如以下详述，中和栅格 80 可以是次德拜中和栅格。

[0031] 可选地，处理系统 1 可包括布置在第二室区域 30 的下游的第三室区域 40，其中，第三室区域 40 的出口耦合至中和栅格 80。压力隔板 60 可布置在第二室区域 30 与第三室区域 40 之间，并用于在第二室区域 30 中的第二压力与第三室区域 40 中的第三压力之间产生压力差，第三压力低于第二压力。压力隔板 60 中的开口可包括超德拜长度孔。该开口可足够小，以允许第二室区域 30 与第三室区域 40 之间的压力差。

[0032] 可选地，处理系统 1 可包括位于第一室区域 20 外周周围并用于与等离子体接触的一个或更多电极 65。电源可耦合至一个或更多电极 65，并用于将电压耦合至一个或更多电极 65。一个或更多电极 65 可包括通电圆柱形电极，其用作圆柱形中空阴极。例如，可利用一个或更多电极 65 来减小第一室区域 20 中形成的等离子体的等离子体电势，或减小电子温度，或减小上述两者。

[0033] 如图 1 所示，电子通过分离构件 50 从第一室区域 20 传输至第二室区域 30。电子传输可通过扩散被驱动，或其可通过场增强扩散被驱动。当电子从分离构件 50 出现并进入第二室区域 30 时，其与第二处理气体发生碰撞猝灭并丧失能量，由此导致电子温度下降（如图 1 所示）。为了说明目的，第二处理气体 32 包含作为负电性气体的氯气（Cl_2）。

[0034] 当电子温度下降时，第二处理气体（例如，Cl_2）的负电性气体种发生（分离）电子附着。

[0035] $Cl_2+e \rightarrow Cl^-+Cl$ (3)

[0036] 当电子温度下降时，电子浓度（e^-）下降，并且负电荷氯离子（Cl^-）的浓度上升（如图 1 所示）。可随第一处理气体 22 引入负电性气体种，但是，这样会降低产生负电荷离子的效率。

[0037] 现参考图 2，设置处理系统 100 用于制造根据实施例的负离子等离子体。处理系统 100 包括处理室 110，处理室 110 包括用于接收处于第一压力的第一处理气体的第一室区域 120，以及布置在第一室区域 120 下游并用于接收处于第二压力的第二处理气体的第二

室区域 130。

[0038] 第一气体注入系统 122 耦合至第一室区域 120，并用于引入第一处理气体。第一处理气体可包含正电性气体（例如，Ar 或其他稀有气体）、或负电性气体（例如，Cl_2，O_2 等）、或两者的混合物。例如，第一处理气体可包含诸如 Ar 的稀有气体。第一气体注入系统 122 可包括一个或更多气体供应源或气体源、一个或更多控制阀、一个或更多过滤器以及一个或更多质量流量控制器等。

[0039] 第二气体注入系统 132 耦合至第二室区域 130，并用于引入第二处理气体。第二处理气体至少包括负电性气体（例如，O_2，N_2，Cl_2，HCI，CCI_2F_2，SF_6 等）。第二气体注入系统 132 可包括一个或更多气体供应源或气体源、一个或更多控制阀、一个或更多过滤器以及一个或更多质量流量控制器等。

[0040] 等离子体产生系统 160 耦合至第一室区域 120，并用于从第一处理气体形成等离子体 125（如实线所示）。等离子体产生系统 160 包括电容耦合等离子体源、电感耦合等离子体源、变压器耦合等离子体源、微波等离子体源、表面波等离子体源或螺旋波等离子体源中至少一者。

[0041] 例如，等离子体产生系统 160 可包括有感线圈，通过可选阻抗匹配网络经由射频 (RF) 产生器向该有感线圈耦合射频。RF 频率下的 EM 能量通过电介质窗从有感线圈被感应耦合至等离子体 125。用于向有感线圈施加 RF 功率的常规频率可在约 10MHz 至约 100MHz 的范围内。此外，可采用开槽法拉第遮蔽（未示出）来减小有感线圈与等离子体 125 之间的电容耦合。

[0042] 阻抗匹配网络可通过减小反射功率来提高向等离子体 125 的 RF 功率传输。本领域技术人员公知匹配网络拓扑（例如，L 型、π 型、T 型等）以及自动控制法。

[0043] 有感线圈可包括螺旋线圈。或者，与在变压器耦合等离子体 (TCP) 中类似，有感线圈可以是从上方与等离子体 125 连通的“螺旋”线圈或“扁平”线圈。本领域技术人员公知电感耦合等离子体 (ICP) 源或变压器耦合等离子体 (TCP) 源的设计及应用。

[0044] 在正电性放电中，等离子体的成分包括电子及正电荷离子。根据半中性等离子体近似法，自由电子的数量等于单独充电正离子的数量。例如，在正电性放电中，电子密度可在约 $10^{10}cm^{-3}$ 至 $10^{13}cm^{-3}$ 的范围内，而电子温度可在约 1eV 至约 10eV 的范围内（取决于使用的等离子体源的类型）。

[0045] 仍然参考图 2，分离构件 150 布置在第一室区域 120 与第二室区域 130 之间，其中，分离构件 150 包括一个或更多开口 152，其用于允许来自第一室区域 120 中的等离子体 125 的电子传输至第二室区域 130，以在第二室区域 130 中形成静止等离子体 135（由短划虚线表示）。分离构件 150 中的一个或更多开口 152 可包括超德拜长度孔，即横向尺寸或直径大于德拜长度。一个或更多开口 152 可足够大以允许充分的电子传输，并且一个或更多开口 152 可足够小以防止或减少电子穿越分离构件 150 加热。

[0046] 图 3A 提供了通过分离构件的开口的示意性剖视图，示出了等离子体鞘相对于开口的横向尺寸的尺寸，其中，电子 (e^-) 从等离子体出现。

[0047] 在第二室区域 130 中，可由诸如 SiO_2 或石英的电介质材料来制造处理室 110 及分离构件 150。电介质材料可使电荷损耗最小化，并可消除通过室的电流路径。

[0048] 此外，压力控制系统耦合至处理系统 100，并用于控制第二压力。来自第一室区域

120 的电子可与第二处理气体发生碰撞猝灭，以形成较少高能电子，该高能电子与第二室区域 130 中的负电荷离子产生静止等离子体 135。例如，通过分离构件 150 出现的电子可具有约 1eV 的温度，并当电子温度下降至约 0.05 至约 0.1eV 时，可高效地产生负离子。如图 2 所示，压力控制系统耦合至第二室区域 130，但是，其也可耦合至第一室区域 110，或其也可耦合至企业室区域 110 以及第二室区域 120。

[0049] 压力控制系统包括经由泵送管路 172 耦合至处理室 110 的泵送系统 170、耦合至泵送管路 172 并布置在泵送系统 170 与处理室 110 之间的阀 174、以及耦合至处理室 110 并用于测量第二压力的压力测量装置 176。可以构造耦合至压力测量装置 176、泵送系统 170 以及阀 174 的控制器 180 以执行对第二压力的监控、调节或控制中至少一种操作。

[0050] 泵送系统 170 可包括具有高达每秒 5000 升（以及更高）泵送速度的涡轮分子真空泵 (TMP)。在用于干法等离子体蚀刻的常规等离子体处理装置中，可以采用每秒 1000 至 3000 升的 TMP。可以使用 TMP 进行低压（通常低于 50mTorr) 处理。对于高压处理（即，大于 100mTorr)，可以使用机械增压泵及干前置泵。此外，用于监控室压的压力测量装置 176 可耦合至处理室 110。压力测量装置 176 例如可以是相对或绝对容量测压计，例如可从 MKS Instruments，Inc.(Andover，MA) 商购得到的测压计。

[0051] 压力控制系统还可包括耦合至处理室 110 的排气气缸 178，通过排气气缸 178，处理室 110 可被排空至较低压力（例如，低于大气压的真空压力）。排气气缸 178 包括一个或更多开口，其可具有小于德拜长度（次德拜）或大于德拜长度（超德拜）的横向尺寸（或直径）。此外，排气气缸 178 可被电偏压或耦合至地。

[0052] 根据一个示例，排气气缸 178 包括一个或更多次德拜开口，并且排气气缸 178 在负电压下被电偏压。可通过排气气缸 178 来泵送正电荷离子以及中性气体。一个或更多开口例如可具有 1mm 的直径以及 3mm 的长度。

[0053] 根据另一示例，排气气缸 178 包括一个或更多超德拜开口，并且排气气缸 178 被耦合至地。可以相对较高流导通过排气气缸 178 来泵送气体。

[0054] 可由导电材料来制造排气气缸 178。例如，可由 RuO_2(rutheniumoxide) 或 Hf(hafnium) 来制造排气气缸 178。

[0055] 处理系统 100 还包括中和栅格 190，中和栅格 190 耦合至处理室 110 的出口，并用于对负电荷离子进行部分或全部中和。中和栅格 190 包括用于在离子种通过时中和这些离子种的一个或更多孔 192。中和栅格 190 可耦合至地，或其可被电偏压。中和栅格 190 可以是次德拜中和栅格。一个或更多孔 192 例如可具有约 1mm 的直径以及 12mm 的长度。

[0056] 如果一个或更多孔 192 的直径（或横向尺寸）与德拜长度相当或更小（即，次德拜尺寸）并且高宽比（即，参见图 3B，纵向尺寸 L 与横向尺寸 d 的比率）被保持为约 1 ： 1 或更大，则等离子体鞘的几何形状实质上不会受到会由未穿孔中和栅格（即，平坦壁）形成的几何形状的影响，并保持大致平坦。

[0057] 因此，在孔附近（无需一定在孔内）将存在有利于离子与电子重新结合的区域，并且相对于离子量，高能中性粒子的数量将得到增加。此外，形成在中性栅格上游的等离子体被限定并且不能够形成通过孔的充电粒子流。但是，通过孔的粒子流还是会包含一些溢出中性束成分，尽管通过增大一个或更多孔的高宽比可减少溢出中性束成分。

[0058] 可通过导电材料来制造中和栅格 190。例如，可由 RuO_2 或 Hf 来制造中和栅格 190。

[0059] 在题为“Neutral beam apparatus for in-situ production of reactants andkinetic energy transfer”的美国专利号 5,468,955 中提供了具有次德拜长度中和栅格的超高温中性束源的其他细节。

[0060] 仍然参考图 2,处理系统 100 还包括控制器 180,控制器 180 包括微型处理器、存储器以及数字 I/O 端口,其能够产生足以与处理系统 100 通信并激活对处理系统 100 的输入并且监控来自处理系统 100 的输出的控制电压。此外,控制器 180 可以耦合至等离子体产生系统 160、压力控制系统、第一气体注入系统 122、第二气体注入系统 132 以及耦合至中和栅格 190 的任何电偏压系统(未示出),并与这些系统交换信息。可以根据用于形成负离子等离子体的处理方案,利用存储在存储器中的程序来激活对处理系统 100 的上述部件的输入。控制器 180 的一个示例是可从 DellCorporation,Austin,Texas 获得的 DELL PRECISION WORKSTATION610™。

[0061] 控制器 180 可相对于处理系统 100 布置在本地,或其可经由互联网或局域网相对于处理系统 100 远程布置。因此,控制器 180 可利用直接连接、局域网或互联网中至少一者来与处理系统 100 交换数据。控制器 180 可耦合至客户端(即,器件制造商等)处局域网,或耦合至销售商端(即,设备制造商)处局域网。此外,其他电脑(即,控制器、服务器等)可访问控制器 180 以经由直接连接、局域网或互联网中至少一者交换数据。

[0062] 此外,可使用本发明的实施例作为在某种类型的处理核(例如,处理器或计算机,例如控制器 180)上执行或在机器可读介质上或内应用或实现的软件程序,或对其进行支持。机器可读介质包括用于以机器(例如,计算机)可读形式存储信息的任何机制。例如,机器可读介质例如可包括只读存储器(ROM);随机访问存储器(RAM);磁盘存储介质;光学存储介质;以及闪存器件等。

[0063] 现参考图 4,提供了根据实施例用于制造负离子等离子体的处理系统 100'。如图 4 所示,处理系统 100'耦合至衬底处理系统 102,其在衬底保持器 104 上设置用于处理衬底 105 的衬底处理区域 103。衬底 105 可被中性束处理,或如果中和栅格 190 被省去或设计有超德拜孔,则其可被负离子等离子体处理。

[0064] 衬底保持器 104 可包括具有冷却系统或加热系统或两者的温度控制系统。例如,冷却系统或加热系统可包括再循环液流,其在冷却时从衬底保持器 104 接收热量并将热量传递至换热系统(未示出),或在加热时将热量从热交换系统传递至液流。此外,冷却系统或加热系统可包括加热/冷却器件,例如位于衬底保持器 104 内的电阻加热器件或热力电子加热器/冷却器。

[0065] 此外,衬底保持器 104 有利于经由背面一侧气体供应系统将导热气体输送至背面一侧衬底 105 以提高衬底 105 与衬底保持器 104 之间的气隙热传导性。可在需要在升高或降低温度下对衬底进行温度控制时使用上述系统。例如,背面一侧气体系统可包括双区气体分配系统,其中,可在衬底 105 的中心与边缘之间独立地使背面一侧气体(例如,氦气)压力发生变化。

[0066] 在其他实施例中,诸如电阻加热器件或热力电子加热器/冷却器的加热/冷却器件可包含在衬底处理系统 102 的室壁中或包含在衬底处理系统 102 内任何其他部件中。

[0067] 如果衬底处理系统 102 用于对衬底 105 的等离子体处理,则衬底保持器可以被电偏压。例如,衬底保持器 104 可通过可选阻抗匹配网络耦合至 RF 产生器。用于将功率施加

至衬底保持器 104（或下电极）的常规频率可在约 0.1MHz 至约 100MHz 的范围内。

[0068] 现参考图 5，根据实施例提供处理系统 200 以产生负离子等离子体。处理系统 200 包括一个或更多电极 210，其布置在第一室区域 120 的外周周围，并用于接触等离子体 125。电源 220 耦合至一个或更多电极 210，并用于将电压耦合至一个或更多电极 210。一个或更多电极 210 可包括用于起圆柱形中空阴极作用的通电圆柱形电极。例如，可以利用一个或更多电极 210 来减小形成在第一室区域 120 中的等离子体 125 的等离子体电势，或减小电子温度，或减小上述两者。

[0069] 电源 220 可包括直流 (DC) 电源。DC 电源可包括可变 DC 电源。此外，DC 电源可包括双极性 DC 电源。DC 电源还可包括用于对 DC 电源的极性、电流、电压或接通 / 关断状态或其任意组合执行监控、调节或控制的系统。可利用电子滤波器来使 RF 功率从 DC 电源解除耦合。

[0070] 例如，通过电源 220 施加至一个或更多电极 210 的 DC 电压可在约 -5000 伏 (V) 至约 1000V 的范围内。理想地，DC 电压的绝对值具有等于或大于约 100V 的值，更理想地，DC 电压的绝对值具有等于或大于约 500V 的值。此外，希望 DC 电压具有负极性。例如，DC 电压可在约 -1V 至约 -5kV 的范围内，理想的，DC 电压可在约 -1V 至约 -2kV 的范围内。

[0071] 此外，希望 DC 电压是适于减小等离子体 125 的等离子体电势或减小电子温度或上述两者的负电压。例如，通过相对于静止等离子体 135 的等离子体电势来减小等离子体 125 的等离子体电势，可实现第一室区域 120 与第二室区域 130 之间的电子的电场提高扩散。此外，例如，通过降低等离子体 125 的电子温度，在第二室区域 130 中需要更少的碰撞以产生用于产生充足的负离子的电子能量。

[0072] 可由导电材料来制造一个或更多电极 210。例如，可由 RuO_2 或 Hf 来制造一个或更多电极 210。

[0073] 现参考图 6，根据实施例提供处理系统 300 用于制造负离子等离子体。处理系统 300 还可包括布置在第二室区域 130 下游的第三室区域 140，其中，第三室区域 140 的出口耦合至中和栅格 190。压力隔板 310 可布置在第二室区域 130 与第三室区域 140 之间，并用于在第二室区域 130 中的第二压力与第三室区域 140 中的第三压力之间产生压力差，第三压力低于第二压力。压力隔板 310 包括一个或更多开口 312，其可具有超德拜长度孔。一个或更多开口 312 可足够小以允许第二室区域 130 与第三室区域 140 之间的压力差。通过引入压力隔板 310，第二压力得到增加，由此对第二室区域 130 中的高效碰撞猝灭有利。

[0074] 可由诸如 SiO_2 或石英的电介质材料来制造压力隔板 310。

[0075] 根据示例，当产生用于在衬底处理区域（例如，图 4 中的衬底处理区域 103）中处理衬底的中性束时，第一压力可在约 10mTorr 至约 100mTorr 的范围内（例如，约 50-70mTorr），第二压力可在约 10mTorr 至约 100mTorr 的范围内（例如，约 50-70mTorr），第一压力可在约 1mTorr 至约 10mTorr 的范围内（例如，约 3-5mTorr），而衬底处理区域中的压力可低于约 1mTorr（例如，约 0.1-0.3mTorr）。耦合至第三室区域的真空泵送系统可提供约每秒 1000 升 (l/sec) 的泵送速度，而耦合至衬底处理区域的真空泵送系统可提供约 3000l/sec 的泵送速度。通过压力隔板的流导可以为约 10l/sec 至约 500l/sec（例如，约 50l/sec），而通过中和栅格的流导可以为约 100l/sec 至约 1000l/sec（例如，约 300l/sec）。

[0076] 尽管以上已经详细描述了本发明的特定实施例，但本领域的技术人员可容易理

解，在不实质脱离本发明的新的教导及优点的前提下，可对实施例进行很多改变。因此，意在将所有这些改变均包含在本发明的范围内。

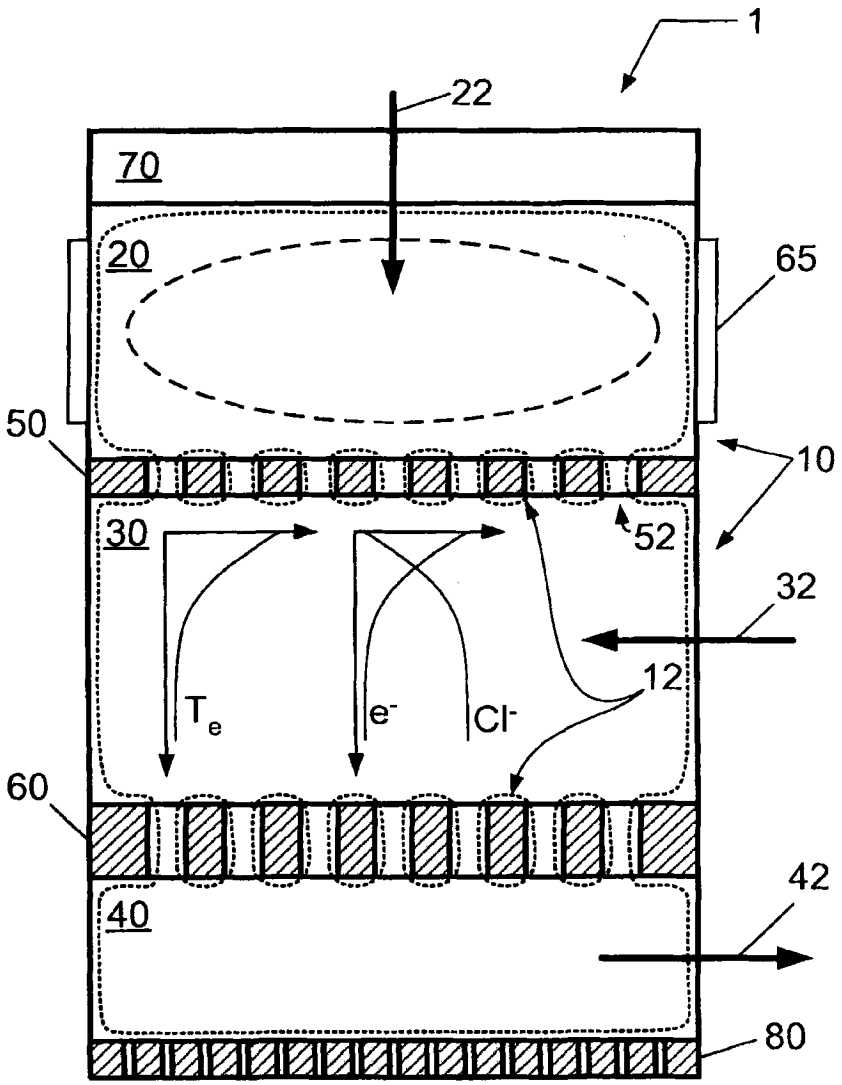


图 1

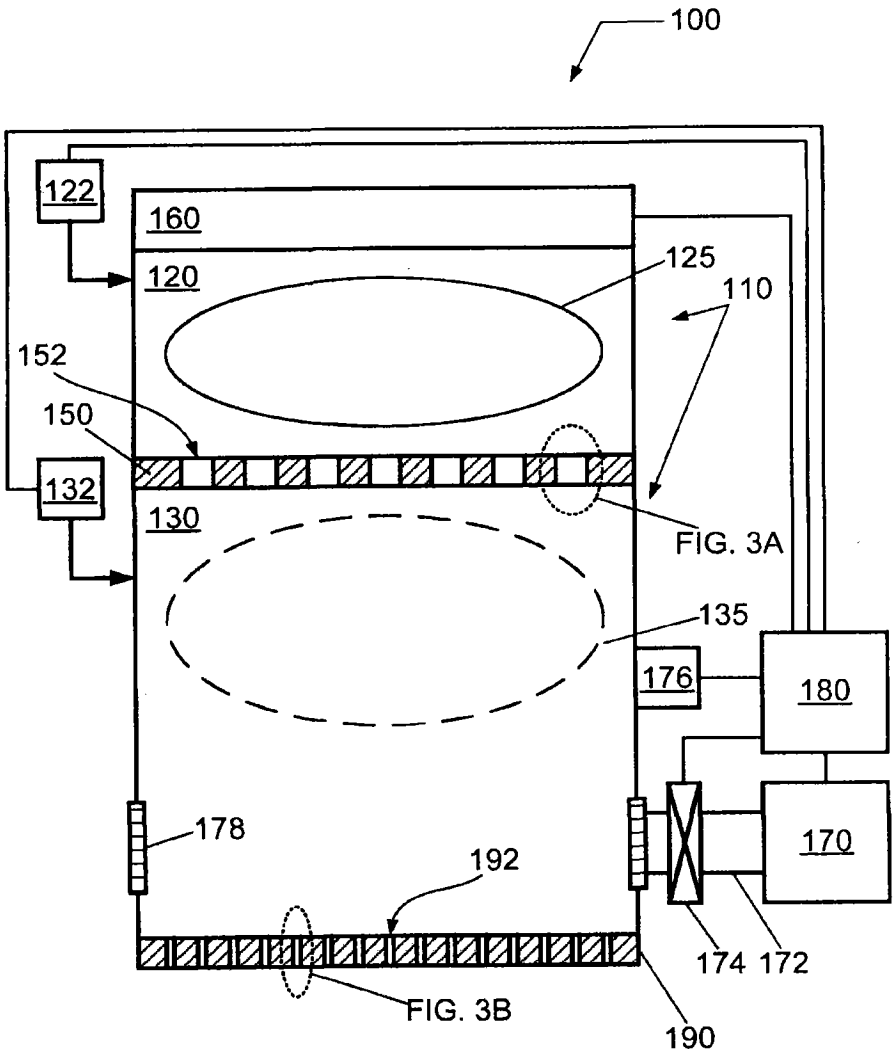

100
122
160
120
125
110
152
150
132
130
FIG. 3A
135
176
180
178
192
170
174
172
FIG. 3B
190

图 2

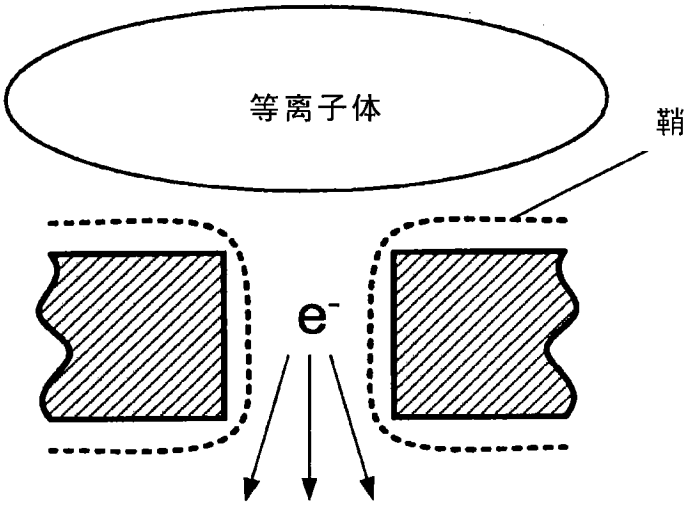

等离子体
鞘
e-

图 3A

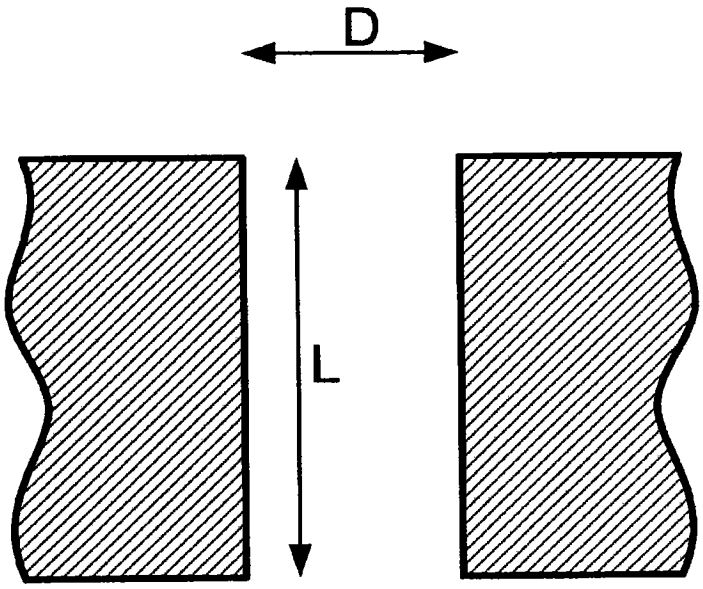


图 3B

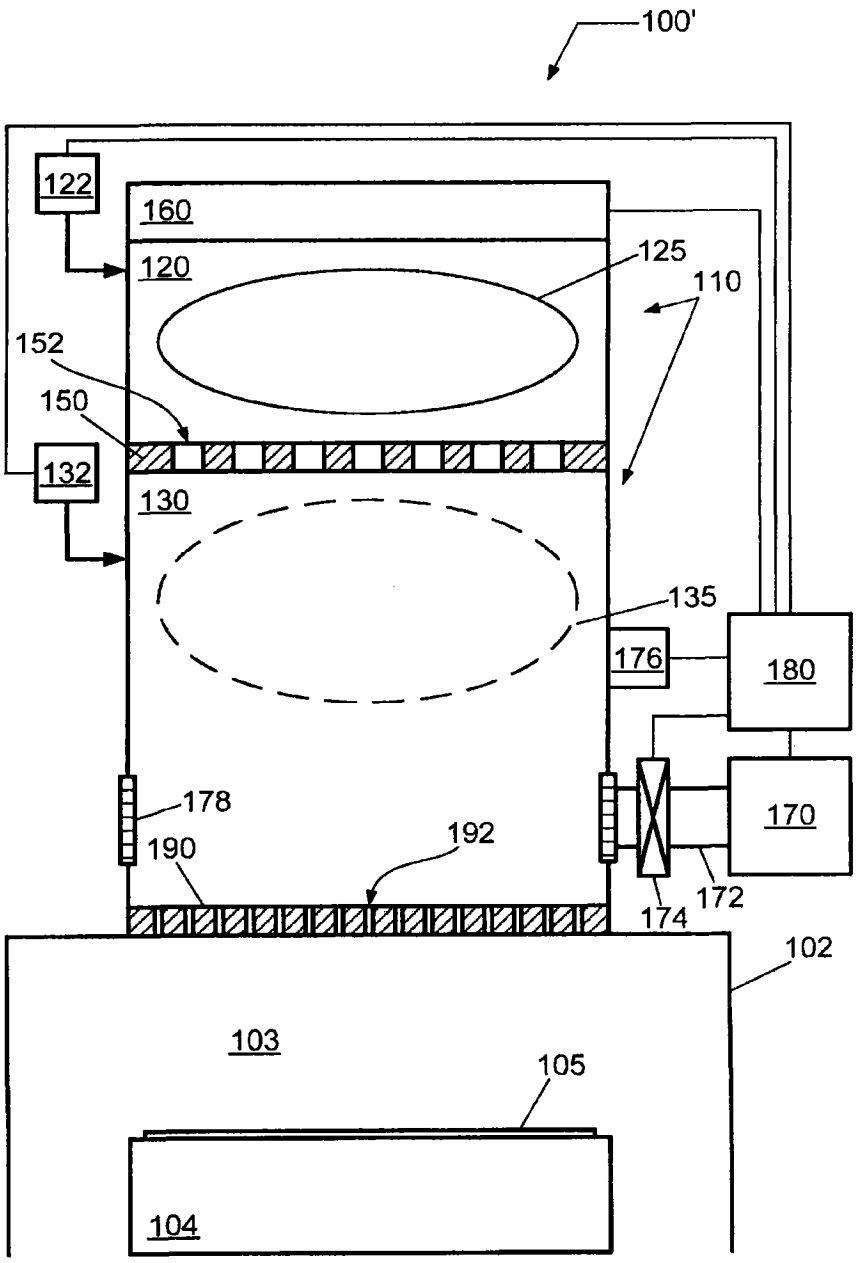

100'
122
160
120
125
110
152
150
132
130
135
176
180
178
190
192
170
174
172
102
103
105
104

图 4

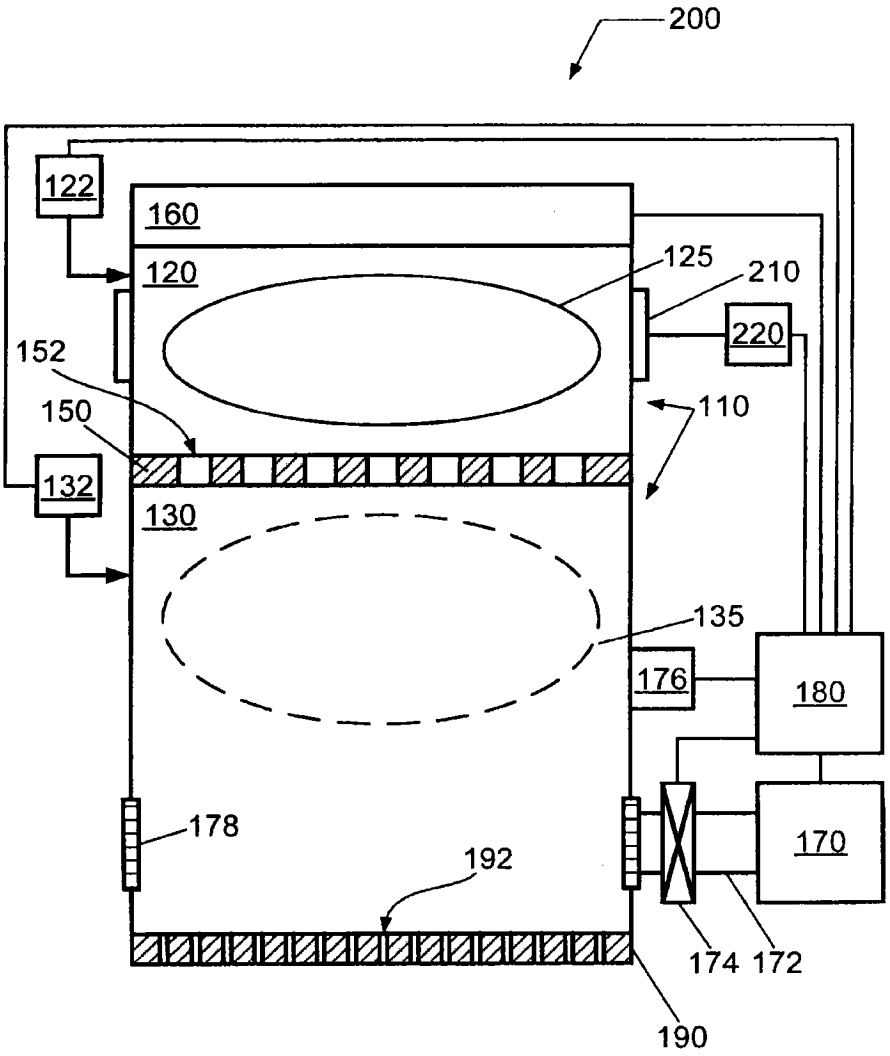

200
122
160
120
125
210
220
152
150
110
132
130
135
176
180
178
192
170
174
172
190

图 5

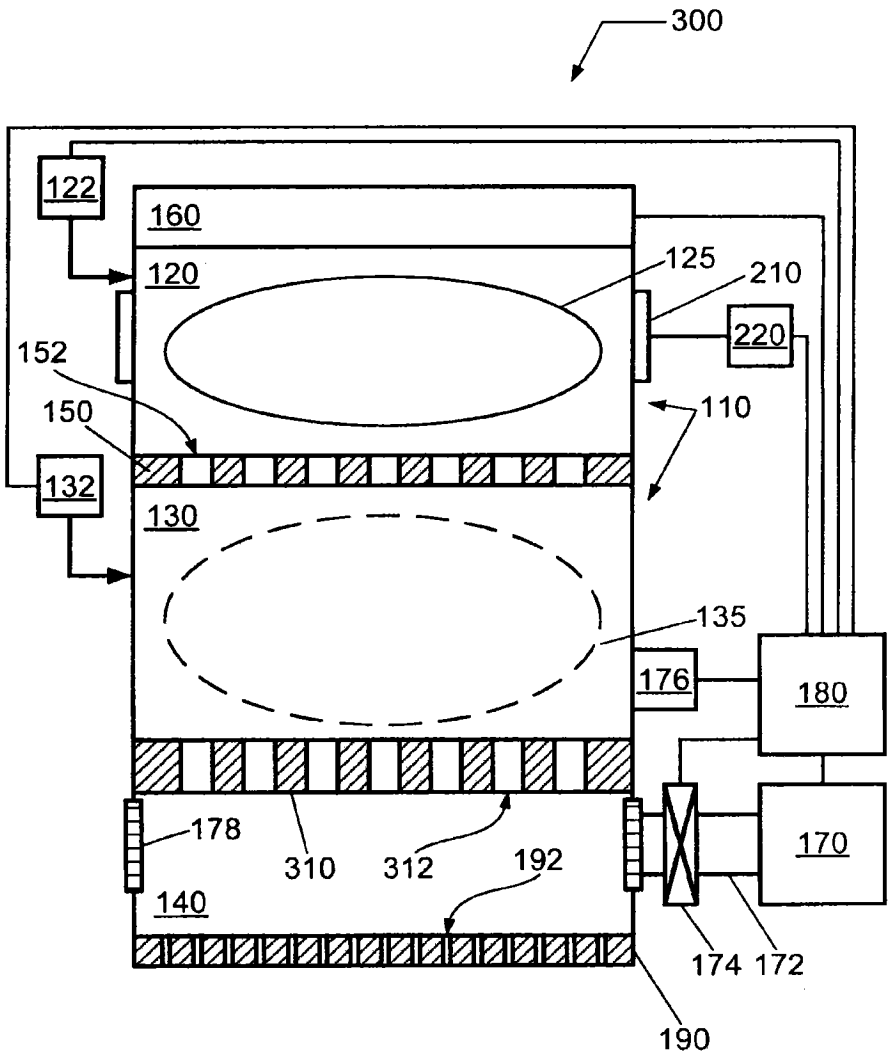

300
122
160
120
125
210
220
152
150
110
132
130
135
176
180
178
310
312
192
170
140
174
172
190

图 6