



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101460656 B

(45) 授权公告日 2011. 07. 13

(21) 申请号 200780020772. X

US 6885153 B2, 2005. 04. 26, 全文.

(22) 申请日 2007. 04. 03

US 20040166612, 2004. 08. 26, 全文.

(30) 优先权数据

审查员 彭梅香

11/398, 306 2006. 04. 04 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 12. 04

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/065890 2007. 04. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02007/121087 EN 2007. 10. 25

(73) 专利权人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 道格拉斯·凯尔

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 周文强 李献忠

(51) Int. Cl.

G23C 16/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 4371943, 1983. 02. 01, 全文.

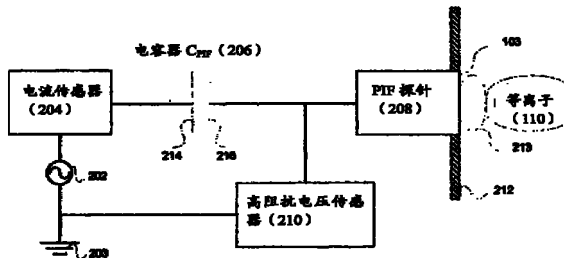
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 6 页

(54) 发明名称

通过采用平面离子流探测装置获得的参数控制等离子工艺

(57) 摘要

揭示了用平面离子流 (PIF) 探测装置探测和 / 或获取参数 ( 如该等离子体势和该离子通量 ) 的绝对值和 / 或相对变化的方法和装置。接着用该探测和 / 或获取的值控制该等离子处理工艺。



1. 一种用于控制基板处理工艺的方法,所述基板处理工艺配置为用基板处理室内的等离子处理基板,包括:

提供 PIF(平面离子流)测量装置,所述 PIF 测量装置包括至少一个 PIF 探针,其具有当用所述等离子处理所述基板时,暴露于所述等离子的等离子外壳的表面;

用配置为通过所述 PIF 探针提供能量至所述等离子的能量源,交替产生所述 PIF 装置的充电阶段及静态阶段;

确定时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 2}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第一势差等于所述等离子的等离子体势;

确定时间  $t_{\text{point } 3a}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第二势差等于浮置电势,所述浮置电势代表当没有电流流经所述 PIF 探针时,在所述充电阶段跨越所述等离子外壳的势差值;以及

如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  与所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  之间的时间差满足预定条件,产生控制信号以在所述基板处理工艺中产生至少一个警报及转变。

2. 如权利要求 1 的方法,其中通过分析在所述充电阶段流经所述 PIF 探针的电流的至少一个时间导数来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,通过检测流经所述 PIF 探针的所述电流的时间导数的峰来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述峰发生在所述充电阶段开始的时间以及所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  之间。

3. 如权利要求 1 的方法,其中所述能量源代表爆裂 RF 源。

4. 如权利要求 1 的方法,其中所述能量源代表可变的电压源。

5. 如权利要求 4 的方法,其中所述可变的电压源配置为产生时间依赖波形。

6. 如权利要求 1 的方法,其中如果所述时间差在预定值范围内,则满足所述预定条件。

7. 如权利要求 1 的方法,其中如果所述时间差等于或超过预定值,则满足所述预定条件。

8. 如权利要求 1 的方法,其中如果所述时间差等于或者低于预定值,则满足所述预定条件。

9. 如权利要求 1 的方法,其中所述转变代表端点处理程序。

10. 如权利要求 1 的方法,其中所述转变代表故障状况处理程序。

11. 如权利要求 1 的方法,其中所述转变代表开始所述基板处理工艺的不同的子步骤。

12. 一种用于控制基板处理工艺的方法,所述基板处理工艺配置为用基板处理室内的等离子处理基板,包括:

提供 PIF(平面离子流)测量装置,所述 PIF 测量装置包括至少一个 PIF 探针,其具有当用所述等离子处理所述基板时,暴露于所述等离子的等离子外壳的表面;

用配置为通过所述 PIF 探针提供能量至所述等离子的能量源,交替产生所述 PIF 装置的充电阶段及静态阶段;

确定时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 2}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第一势差等于所述等离子的等离子体势;

确定在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的探针偏压,在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压代表在所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述 PIF 探针的所述表面与地面之间的势差;以及

如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压满足预定条件,产生控制信号以在所述基板处理

工艺中产生至少一个警报及转变。

13. 如权利要求 12 的方法,其中通过分析在所述充电阶段流经所述 PIF 探针的电流的至少一个时间导数来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,通过检测流经所述 PIF 探针的所述电流的时间导数的峰来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述峰发生在所述充电阶段开始的时间与时间  $t_{\text{point } 3a}$  之间,所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第二势差等于浮置电势,所述浮置电势代表当没有电流流经所述 PIF 探针时,在所述充电阶段跨越所述等离子外壳的势差值。

14. 如权利要求 12 的方法,其中所述能量源代表爆裂 RF 源。

15. 如权利要求 12 的方法,其中所述能量源代表可变的电压源。

16. 如权利要求 15 的方法,其中所述可变的电压源配置为产生时间依赖波形。

17. 如权利要求 12 的方法,其中如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压在预定值范围内,则满足所述预定条件。

18. 如权利要求 12 的方法,其中如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压等于或超过预定值,则满足所述预定条件。

19. 如权利要求 12 的方法,其中如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压等于或者低于预定值,则满足所述预定条件。

20. 如权利要求 12 的方法,其中所述转变代表端点处理程序。

21. 如权利要求 12 的方法,其中所述转变代表故障状况处理程序。

22. 如权利要求 12 的方法,其中所述转变代表开始所述基板处理工艺的不同的子步骤。

23. 一种用于控制基板处理工艺的方法,所述基板处理工艺配置为用基板处理室内的等离子处理基板,包括:

提供 PIF(平面离子流)测量装置,所述 PIF 测量装置包括至少一个 PIF 探针,其具有当用所述等离子处理所述基板时,暴露于所述等离子的等离子外壳的表面;

用配置为通过所述 PIF 探针提供能量至所述等离子的能量源,交替产生所述 PIF 装置的充电阶段及静态阶段;

确定时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 2}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第一势差等于所述等离子的等离子体势;

确定在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的探针偏压,在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压代表在所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述 PIF 探针的所述表面与地面之间的第二势差;

确定时间  $t_{\text{point } 3a}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第二势差等于浮置电势,所述浮置电势代表当没有电流流经所述 PIF 探针时,在所述充电阶段跨越所述等离子外壳的第三势差值;以及

确定所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的探针偏压,所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压代表在所述时间  $t_{\text{point } 3}$ 、所述 PIF 探针的所述表面与所述地面之间的第四势差;

确定在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与在所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的差;

如果在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与在所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的差满足预定条件,产生控制信号以在所述基板处理工艺中产生至少一个警报以及转变。

24. 如权利要求 23 的方法,其中通过分析在所述充电阶段流经所述 PIF 探针的电流的至少一个时间导数来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,通过检测流经所述 PIF 探针的所述电流的时间导数的峰来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述峰发生在所述充电阶段开始的时间与所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  之间,其中跨越所述等离子外壳的第二势差等于浮置电势,所述浮置电势代表当没有电流流经所述 PIF 探针时,在所述充电阶段跨越所述等离子外壳的势差值。

25. 如权利要求 23 的方法,其中所述能量源代表爆裂 RF 源。

26. 如权利要求 23 的方法,其中所述能量源代表可变的电压源。

27. 如权利要求 26 的方法,其中所述可变的电压源配置为产生时间依赖波形。

28. 如权利要求 23 的方法,其中如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的所述差在预定值范围内,则满足所述预定条件。

29. 如权利要求 23 的方法,其中如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的所述差等于或者超过预定值,则满足所述预定条件。

30. 如权利要求 23 的方法,其中如果所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的所述差等于或者低于预定值,则满足所述预定条件。

31. 如权利要求 23 的方法,其中所述转变代表端点处理程序。

32. 如权利要求 23 的方法,其中所述转变代表故障状况处理程序。

33. 如权利要求 23 的方法,其中所述转变代表开始所述基板处理工艺的不同的子步骤。

34. 一种用于控制基板处理工艺的方法,所述基板处理工艺配置为用基板处理室内的等离子处理基板,包括:

提供 PIF(平面离子流)测量装置,所述 PIF 测量装置包括至少一个 PIF 探针,其具有当用所述等离子处理所述基板时,暴露于所述等离子的等离子外壳的表面;

用配置为通过所述 PIF 探针提供能量至所述等离子的能量源,交替产生所述 PIF 装置的充电阶段及静态阶段;

确定时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 2}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第一势差等于所述等离子的等离子体势;

确定在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的探针偏压,在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压代表在所述时间  $t_{\text{point } 2}$ 、所述 PIF 探针的所述表面与地面之间的第二势差;

确定时间  $t_{\text{point } 3a}$ ,所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  代表所述 PIF 测量装置的所述充电阶段的时间,其中跨越所述等离子外壳的第二势差等于浮置电势,所述浮置电势代表当没有电流流经所述 PIF 探针时,在所述充电阶段跨越所述等离子外壳的第三势差值;以及

确定所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的探针偏压,所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压代表在所述时间  $t_{\text{point } 3}$ 、所述 PIF 探针的所述表面与所述地面之间的第四势差;

确定在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与在所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的差;

用在所述时间  $t_{\text{point } 2}$  的所述探针偏压与在所述时间  $t_{\text{point } 3}$  的所述探针偏压之间的差以及有效的离子质量值,确定所述等离子的电子温度;以及

如果所述电子温度满足预定条件,则产生控制信号以在所述基板处理工艺中产生至少一个警报以及转变。

35. 如权利要求 34 所述的方法,其中通过分析在所述充电阶段流经所述 PIF 探针的电流的至少一个时间导数来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,通过检测流经所述 PIF 探针的所述电流的时间导数的峰来确定所述时间  $t_{\text{point } 2}$ ,所述峰发生在所述充电阶段开始的时间与所述时间  $t_{\text{point } 3a}$  之间,其中跨越所述等离子外壳的第二势差等于浮置电势,所述浮置电势代表当没有电流流经所述 PIF 探针时,在所述充电阶段跨越所述等离子外壳的势差值。

36. 如权利要求 34 所述的方法,其中所述能量源代表爆裂 RF 源。

37. 如权利要求 34 所述的方法,其中所述能量源代表可变的电压源。

38. 如权利要求 37 所述的方法,其中所述可变的电压源配置为产生时间依赖波形。

39. 如权利要求 34 所述的方法,其中如果所述电子温度在预定值范围内,则满足所述预定条件。

40. 如权利要求 34 所述的方法,其中如果所述电子温度等于或者超过预定值,则满足所述预定条件。

41. 如权利要求 34 所述的方法,其中如果所述电子温度等于或低于预定值,则满足所述预定条件。

42. 如权利要求 34 所述的方法,其中所述转变代表端点处理程序。

43. 如权利要求 34 所述的方法,其中所述转变代表故障状况处理程序。

44. 如权利要求 34 所述的方法,其中所述转变代表开始所述基板处理工艺的不同的子步骤。

## 通过采用平面离子流探测装置获得的参数控制等离子工艺

### 技术领域

[0001] 本发明大体涉及基板制造技术,尤其涉及测量等离子室内的相对平均等离子体势的方法和装置。

### 背景技术

[0002] 在基板,如半导体晶片、MEMS 器具、或例如用于平板显示器制作的玻璃面板的处理中,经常使用等离子。作为该处理的一部分,该基板被分为多个印模 (die),或矩形区域,每个将成为集成电路。接着该基板经一系列步骤处理,其中为了在其上形成电气元件,材料被选择性移除(蚀刻法)及沉积(沉积法)。

[0003] 在等离子处理的一个例子中,蚀刻之前,基板被硬化乳液薄膜(也即是,如光刻胶掩膜)覆盖。接着该硬化乳液区域被选择性移除,导致部分下层 (underlying layer) 暴露出来。接着将该基板放在等离子处理室内具有单极或两极电极的基板支撑结构(称为卡盘)上。接着适当的蚀刻气体源(如,  $C_4F_8$ 、 $C_4F_6$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_2F_3$ 、 $CF_4$ 、 $CH_3F$ 、 $C_2F_4$ 、 $N_2$ 、 $O_2$ 、Ar、Xe、He、 $H_2$ 、 $NH_3$ 、 $SF_6$ 、 $BCl_3$ 、 $Cl_2$  等)流入该室。施加 RF 能源至该室以形成等离子。

[0004] 为避免与下面存在的概念混淆,为了形成等离子施加的所有 RF 能源被称为“室 RF”。通过应用室 RF 产生的等离子,导致电离物种的形成并且还从该气体源得到中性分子片段(基团),其接着被引向该基板,引发蚀刻该基板暴露区域的表面化学反应。可通过电容手段或者感应手段施加该 RF 能源。该 RF 能源可在单频率或在多种频率(如 2MHz、27MHz 和 60MHz)施加。该 RF 能源使得该等离子相对于该室接地的势能(通常称为“等离子体势”)升高。在实际应用中,该等离子体势与时间有关,与用于维持该等离子所施加的室 RF 功率一致。然而,我们将大体上简化我们的讨论,在不影响相关性的情况下,改为集中在该等离子体势的时间平均(均度)。这个平均的等离子体势用  $V_p$  表示。

[0005] 在将该室 RF 电容耦合至等离子体的情况下,使用耦合电容器。通常这个电容器,一般指的是级间耦合电容器(阻断电容器,级间耦合电容器),连接在该基板支撑物与该室 RF 源之间。本领域技术人员熟知,当通过该级间耦合电容器施加室 RF 能源时,直流电压将形成于该级间耦合电容器。此处该电压被称为室偏压 ( $V_{\text{chamber bias}}$ )。由于该电容器连接至该基板支撑物,该室偏压也代表该基板支撑物相对于室接地的电压。该室偏压应当谨慎区分于下面要定义和讨论的“探针偏压” ( $V_b$ )。

[0006] 在将该 RF 能源感应耦合至该室的情况下,该基板支撑物可被认为在 0 室偏压 ( $V_{\text{chamber bias}} = 0$ )。对于所有 RF 能源耦合方案,该室壁(除该基板支撑物外)也将获得相对于室接地的电势(我们定义其为  $V_{\text{wall}}$ )。然而,对于大多数实际重要性的应用,  $V_{\text{wall}}$  倾向于大体上等于该室接地。

[0007] 另外,存在包围该全部等离子体的等离子外壳层,并且其用于将该等离子体从该室壁和该基板支撑物分开。包围该全部等离子体的该外壳层还包含电场。带电粒子通过该外壳区域将受到缘于该场的力,且将遭受能源的净收益或者净损失。该获得的净能源将取决于该基板表面/壁与该等离子体之间的该电势差及其时间依赖性。该电势差被称为“外壳电

势” ( $V_{\text{sheath}}$ )。

[0008] 从前面的讨论可以看到,在该基板支撑物上方存在等离子体的情况下,该外壳电势由该等离子体势减去该室偏压得到 ( $V_{\text{chamber sheath}} = V_p - V_{\text{chamber bias}}$ )。在该壁表面上方存在等离子体的情况下,该外壳电势由该等离子体势减去该壁电压得到 ( $V_{\text{chamber sheath}} = V_p - V_{\text{wall}}$ )。注意:由于该等离子体势与时间有关,那么也可以预计该外壳电势将与时间有关。

[0009] 上述讨论仅仅针对与典型的等离子体处理有关的一些参数(如外壳电势)。通常,上述处理结果的品质往往敏感地取决于一些参数,包括例如该带电粒种冲击能,由于该带电粒种主要通过该基板上方的该外壳获得能量,其往往对应于该外壳电势。然而,该外壳电势的直接测量通常是不现实的。

[0010] 同样影响处理结果的另外的示例性的参数是电离气体传送至该基板的速度(即离子粒子通量)。然而,直接测量该离子粒子通量往往很难执行。时常地,在这些以及其它参数的绝对测量值不存在的情况下,这些以及其它参数的变化可能产生也可用于控制该等离子过程的有价值的信息。因此,即使不可能绝对测量,也需要监测这些以及其它参数值的相对变化。

[0011] 鉴于以上,本发明揭示了不同的理论基础并提出了间接确定某些与等离子过程有关的参数的绝对值和/或监测其相对变化的不同技术。本发明进一步揭示了使用测量和/或监测结果控制等离子过程的不同方面。

## 发明内容

[0012] 本发明涉及,在一个实施例中,用于控制基板处理过程的方法,该基板处理过程配置为在基板处理室内用等离子体处理基板。该方法包括提供 PIF(平面离子流)测量装置,该 PIF 测量装置至少包括 PIF 探针,该探针具有当用等离子体处理基板时暴露于该等离子体的等离子体外壳的表面。该方法还包括使用通过该 PIF 探针提供能源至该等离子体的能量源,交替产生该 PIF 装置的充电阶段和静态阶段。该方法又包括确定(ascertain)时间  $t_{\text{point } 2}$ ,该时间  $t_{\text{point } 2}$  代表该 PIF 测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子体外壳的第一势差等于该等离子体的等离子体势。该方法进一步包括确定时间  $t_{\text{point } 3}$ ,该时间代表该 PIF 测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子体外壳的第二势差等于浮置电势,该浮置电势代表没有电流流经该 PIF 探针时充电阶段透过该等离子体外壳的势差值。当施加 RF 至该 PIF 探针时,得到在时间  $t_{\text{point } 3}$  的该浮置电势。进而,该方法包括如果时间  $t_{\text{point } 2}$  与时间  $t_{\text{point } 3}$  的时间差满足预定条件,产生控制信号以在该基板处理过程中产生至少一个警报及转变(transition)。

[0013] 在另一个实施例中,本发明涉及用于控制基板处理过程的方法,该基板处理过程配置为在基板处理室内用等离子体处理基板。该方法包括提供 PIF(平面离子流)测量装置,该 PIF 测量装置至少包括 PIF 探针,该探针具有当用等离子体处理基板时暴露于该等离子体的等离子体外壳的表面。该方法还包括使用通过该 PIF 探针提供能源至该等离子体的能量源,交替产生该 PIF 装置的充电阶段和静态阶段。该方法又包括确定时间  $t_{\text{point } 2}$ ,该时间  $t_{\text{point } 2}$  代表该 PIF 测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子体外壳的第一势差等于该等离子体的等离子体势。该方法进一步包括确定在时间  $t_{\text{point } 2}$  的探针偏压,该在时间  $t_{\text{point } 2}$  的探针偏压代表在时间  $t_{\text{point } 2}$  该 PIF 探针表面与地面的势差。该方法还包括如果在时间  $t_{\text{point } 2}$  的该

探针偏压满足预定条件,产生控制信号以在该基板处理过程中产生至少一个警报及转变。

[0014] 在又一实施例中,本发明涉及用于控制基板处理方法,该基板处理过程配置为在基板处理室内用等离子处理基板。该方法包括提供PIF(平面离子流)测量装置,该PIF测量装置至少包括PIF探针,该探针具有当用等离子处理基板时暴露于该等离子的等离子外壳的表面。该方法又包括使用通过该PIF探针提供能源至该等离子的能量源,交替产生该PIF装置的充电阶段和静态阶段。该方法进一步包括确定时间 $t_{point\ 2}$ ,该时间 $t_{point\ 2}$ 代表该PIF测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子外壳的第一势差等于该等离子的等离子体势。该方法又包括确定在时间 $t_{point\ 2}$ 的探针偏压,该在时间 $t_{point\ 2}$ 的探针偏压代表在该时间 $t_{point\ 2}$ 该PIF探针表面与地面的第二势差。该方法又包括确定时间 $t_{point\ 3a}$ ,该时间 $t_{point\ 3a}$ 代表该PIF测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子外壳的第二势差等于施加RF信号至该探针情况下的浮置电势,该浮置电势代表没有电流流经该PIF探针时充电阶段透过该等离子外壳的第三势差值。该方法进一步包括确定在时间 $t_{point\ 3b}$ 的探针偏压,该在时间 $t_{point\ 3b}$ 的探针偏压代表在该时间 $t_{point\ 3b}$ 该PIF探针表面与该地面的第四势差。该第四点代表移除施加至该探针表面的RF的时刻的状况。该方法还包括确定在该时间 $t_{point\ 2}$ 的该探针偏压与在该时间 $t_{point\ 3b}$ 的该探针偏压的差。进而,该方法包括如果在该时间 $t_{point\ 2}$ 的该探针偏压与在该时间 $t_{point\ 3b}$ 的该探针偏压的差满足预定条件,产生控制信号以在该基板处理过程中产生至少一个警报及转变。

[0015] 在另一实施例,本发明涉及用于控制基板处理方法,该基板处理过程配置为在基板处理室内用等离子处理基板。该方法包括提供PIF(平面离子流)测量装置,该PIF测量装置至少包括PIF探针,该探针具有当用等离子处理基板时暴露于该等离子的等离子外壳的表面。该方法进一步包括使用通过该PIF探针提供能源至该等离子的能量源,交替产生该PIF装置的充电阶段和静态阶段。该方法又包括确定时间 $t_{point\ 2}$ ,该时间 $t_{point\ 2}$ 代表该PIF测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子外壳的第一势差等于该等离子的等离子体势。该方法还包括确定在时间 $t_{point\ 2}$ 的探针偏压,该在时间 $t_{point\ 2}$ 的探针偏压代表在该时间 $t_{point\ 2}$ 该PIF探针表面与地面的第二势差。进而,该方法包括确定时间 $t_{point\ 3a}$ ,该时间 $t_{point\ 3a}$ 代表该PIF测量装置的充电阶段的时间,其中透过该等离子外壳的第二势差等于浮置电势,该浮置电势代表没有电流流经该PIF探针时充电阶段透过该等离子外壳的第三势差值。该方法还包括确定在时间 $t_{point\ 3b}$ 的探针偏压,该在时间 $t_{point\ 3b}$ 的探针偏压代表在该时间 $t_{point\ 3b}$ 该PIF探针表面与该地面的第四势差。该方法进一步包括确定在该时间 $t_{point\ 2}$ 的该探针偏压与在该时间 $t_{point\ 3b}$ 的该探针偏压的差。该方法包括用在该时间 $t_{point\ 2}$ 的该探针偏压与在该时间 $t_{point\ 3}$ 的该探针偏压的差以及有效粒子质谱值来确定该等离子的电子温度。该方法进一步包括如果该电子温度满足预定条件,产生控制信号以在该基板处理过程中产生至少一个警报及转变。

[0016] 结合所附附图,本发明的这些以及其它特征将在下文本发明的具体实施方式部分进行详细描述。

## 附图说明

[0017] 本发明通过示例,而非以限定方式,用所附附图进行说明,且相似的标号代表相似的元件。其中:



- [0018] 图 1 说明 PIF 探针的简图。
- [0019] 图 2 说明根据本发明实施方式的 PIF 探针测量装置的简图。
- [0020] 图 3 说明由该 PIF 系统得到的代表性的电压 - 电流关系图 (I-V 曲线)。
- [0021] 图 4 提供由电流感应器收集到的电流数据的代表性示例。
- [0022] 图 5 根据本发明实施例,描绘了存在于图 4 中的一些数据,但是作为时间的导数。
- [0023] 图 6 与用于获得图 4 及 5 所绘的示例性数据相同的状况,描绘了示例性的探针偏压 ( $V_b$ ) 作为时间的函数。

### 具体实施方式

[0024] 下面将参考描述于所附附图的一些优选实施例,对本发明进行详细描述。在下面的描述中,为了提供对本发明的彻底理解,提出了很多具体细节。然而,对本领域技术人员而言,很明显,没有某些或全部这些具体细节,本发明也可以实施。在其它情况下,为了不对本发明造成不必要的模糊,没有对熟知的处理步骤、物理效果和 / 或结构进行详细描述。

[0025] 本发明人已经意识到,处理结果取决于电离气体传送至该基板的速率 (即离子粒子通量)。如前面所讨论的,已知地,所述处理结果敏感地取决于由电离气体冲击传递至该基板的能源。离子限制蚀刻过程 (蚀刻过程中的非常普通的事件) 的特别情况提供了一个这样的示例,在该情况下,已知:离子能量的变化与蚀刻速率以及蚀刻图案横剖面的几何形状紧密相关。公知的蚀刻过程对带电粒种冲击能的敏感性引发了监测和控制可作为带电粒种冲击能的指示物的信号的需求。

[0026] 如果电离气体到达速率的测量可与监控带电粒种冲击能的指示物同时执行,可获得额外的好处。由于基板带电粒种冲击能是在将该外壳运至该基板上过程中首先获得的,带电粒种冲击能与该基板外壳势之间往往有直接关联。

[0027] 遗憾的是,直接测量外壳势通常是不实际的。然而,如前面指出的,该基板外壳势可从该等离子体势与该室偏压势之间的差得到 (即  $V_{\text{sheath}} = V_p - V_{\text{chamber bias}}$ )。该室偏压势是可测量的数值。在该室偏压势已知为固定值的情况下,检测等离子体势的变化可起到带电粒种冲击能变化的良好指示物的作用。通过用于现有技术中的等离子体势的测量对于很多工业相关应用来说通常是困难的和不切实际的。因此,需要一种新颖的且更加工业化有用的对等离子体势的相对测量的方法。

[0028] 在实际操作中,由蚀刻离子冲击该基板表面而传递的能量跨越一个参数范围。用给定能量冲击该基板的粒子数量的时间平均值由该离子能量分布函数 (IEDF) 决定。这些能量的分布 (该 IEDF) 是该外壳势随时间变化的结果。在大多数实际利益的情况下,没必要知道 IEDF 的整个细节。相反地,知道可从 IEDF 的知识得到的平均离子能量就足够了。由上述讨论可以预料,平均离子能量的变化可从该等离子体势与该室偏压的差的平均值的变化推得 (即  $V_{\text{sheath}} = V_p - V_{\text{chamber bias}}$ )。在室偏压不变的情况下,仍然可仅从该等离子体势的变化推得。

[0029] 在许多工业上重要的应用中,仅仅偏离正常状况的监测是有意义的。因此在测量离子能量的情况下,通常有可监测到平均能量的改变的方式就足够了。这可用平均离子能量的任何相对指示物代替绝对平均离子能量测量来执行。例如,如果能够监测到外壳势的相对变化,这可作为推断离子能量变化的方式。如果该室偏压或者被测量或者已知为不变,

则监测该等离子体势指示物的变化也可满足该目的。

[0030] 如下工业重要的应用同样发生,其中不必要产生监测到的等离子体势与带电粒种冲击能变化的联系。这样的应用被称为“室指纹识别”且通过记录多个室参数的相对变化以产生规定过程的室“指纹”来执行。当进行随后的过程时,已经建立为正常指纹之外的指纹通常指示故障状态。在这种情况下,监测等离子体势变化可起到输入室指纹的作用,不需要进一步努力来将这些变化与该室内发生的物理行为联系起来。

[0031] 由于很多蚀刻过程也被公认为对离子通量变化以及离子能量敏感,因此具有一种可同时监控该离子通量以及监控传递至该基板的平均能量的变化的指示物的方法是有利的。如上指出,监测等离子体势变化是传递至该基板的平均能量变化的理想的指示物。进一步地,在该蚀刻的整个过程中经常抽查所述数量对该方法是有利的。以小于 100ms 的间隔来特别抽查离子通量和等离子体势(或者相对的或者绝对的)是理想的。另外,具有一种在基板上的多个地点监控离子通量和离子能量的方式(即装置或技术)也是有利的。因此,以工业意义上的抽查频率同时检测等离子处理室内等离子体势及离子通量的局部变化的方法和装置是理想的。

[0032] 尽管不希望被理论所限制,本发明人相信测得的透过由 RF 脉冲偏转的电动探测系统的该等离子体外壳的电流变化相对于时间的导数,可由此处揭示的方法分析以获得等离子体势相对变化的确定。进而,如果该外壳浮置电压或该 RF 室偏压以及所施加的室 RF 电压的适当测量是可用的,可使用已知的校准技术来获得绝对测量。

[0033] 使用平均离子能量、等离子体势及室偏压的已知关系,也可推断平均离子能量的变化。然而在多数工业重要性的应用中,等离子体势的相对指示物就足够了。也就是说,该测量并不必给出固定的、具体的值,而是可与参考值比较而计算得出。例如,如果相对于参考值来进行等离子体势测量,且接着稍后相对于同样的参考值来进行另外的等离子体势测量,两测量值之间的差代表该等离子体势的变化,而不依赖于所用的参考值。如果已知该室偏压不变或者如果已经测得其变化,则等离子体势的变化,反过来,可被用于推断平均离子能量的变化。

[0034] 在一个实施例中,可由对测得的收集的电流以及来自平面离子流(PIF)探测装置的探针偏压的分析来确定离子通量和等离子体势改变。PIF 装置通常用没有延伸出等离子室壁进入该等离子室本身的电流收集表面(PIF 探针)执行。也就是说,该 PIF 探针可与该等离子室表面大体共面,或可选地,可凹进等离子室壁。该 PIF 探测是一类等离子探测方法(统称为“朗缪尔探测”)中的一员。该“PIF 探测”方法进一步详细描述于现有专利(美国专利 5,936,413),通过参考包括于此。然而,PIF 探测操作的重点部分与本发明的关系并不密切。

[0035] 现在参考图 1,显示根据本发明实施例的 PIF 探针的简图。通常,该探针由电流收集结构、传导路径、以及电气绝缘屏障构成,该电气绝缘屏障将收集磁盘及传导路径与其所嵌入的区域分开。该电流收集结构所嵌入的区域通常由室壁或 RF 接地反电极构成。然而基本没有防止该电流收集结构嵌入该基板表面的方法。

[0036] 该电流收集结构 102 面向该等离子,且通常由共面或凹进等离子室表面的导电表面区域 103 构成。在一个实施例中,电流收集结构 102 是圆形区域,且由具有可连接的金属线的金属化表面的掺杂硅构成。电流收集结构 102 进一步连接至传导路径 106,该传导路径

反过来,通常连接至能量/传感电子(未示),其可测量离子通量探针相对于室接地的电压及电流特性作为对电容器  $C_{PIF}$  充电及放电的缓慢的瞬时电流和电压(206)。

[0037] 将电流收集结构 102 及传导路径 106 与该等离子室(未示)隔离的是电气绝缘屏障 104。在一个实施例中,该电气绝缘屏障 104 包含电介质,如石英。在一个实施例中,电气绝缘屏障 104 由电气绝缘的陶瓷如氮化铝、氧化铝等构成。在一个实施例中,电气绝缘屏障 104 由空气(真空)间隙构成,该间隙小到足以阻止等离子形成于该间隙内,但大到足以阻止传导路径 106 与等离子室(未示)之间的击穿(arcing)。

[0038] 现在参考图 2,显示根据本发明实施例的 PIF 探针测量装置的简图。大体而言,PIF 探针 208 面向等离子外壳 213 以及等离子 110,且通常由导电表面区域构成,该导电表面区域与所提到的等离子室表面 212 共面,或者相对于等离子室表面 212 内凹。在一个实施例中,脉冲探针 RF 源 [RF 爆裂(burst)源] 202 连接在室接地与 DC 级间耦合电容器  $C_{PIF}$  206 末端之间。这个级间耦合电容器应当与前面提到的通过其施加室 RF 的级间耦合电容器(未示于图 2)区分开且不与之混淆。接着该 DC 级间耦合电容器  $C_{PIF}$  206 连接至该 PIF 探针 208,其面向等离子外壳 213 以及等离子 110。一般而言, $C_{PIF}$  206 被配置为两个金属板彼此通过电介质材料隔开并绝缘。

[0039] 等离子外壳(探针外壳)213 存在于该等离子 110 与该探针表面之间。一般而言,等离子外壳将响应加到其上的电压而传导电流。施加到等离子外壳的电压指的是该外壳电压 ( $V_{sheath}$ )。该具体实例中,施加至该等离子外壳 213 的电压指的是探针外壳电压 ( $V_{probe\ sheath}$ )。在大多数实践重要的情况下,等离子 100 的整体可被认为是等电位的。这个等电位,当相对于室接地测量时,则指的是该等离子体势 ( $V_p$ )。如果可能改变跨越所给外壳的该外壳电压 ( $V_{sheath}$ ),依照已知的电压-电流关系 ( $I-V$  曲线),被促使流经该外壳的该传导电流则改变。这样的电压-电流关系 ( $I-V$  曲线) 的有代表性的示例绘于图 3。

[0040] 图 2 显示,还提供依照测量由表面 103 以电流传感器 204 形式收集的电流的方法。为了便于分析,电流传感器 204 通常指定为仅响应从 DC 到贯穿音频范围的频率范围内的信号。该 RF 频率范围(例如,大于 500KHz)内的信号通常被拒绝。注意:基尔霍夫电流定律的应用显示:电流传感器 204 也测量穿过等离子外壳 213 的电流。

[0041] 图 4 提供一个有代表性的由电流传感器 204 收集数据的示例。这个示例用 Lam Research 2300 Exelan™ 蚀刻系统收集数据,其适于蚀刻 300mm 基板。该等离子被 27MHz 的室 RF 维持在 20°C 的室温度以及基板温度。其他操作参数详述于表 1:

[0042] 表 1

[0043]

室压	约 60 至 70 毫托
27MHz 功率范围	约 1700 至 2300W
氩气流速	约 200 至 300sccm
$C_4F_8$ 流速	约 15sccm 至约 20sccm
$O_2$	约 0 至约 5sccm

[0044] 为便于分析,一般的做法是用收集表面 103 的面积划分所收集的电流,以确定由电流传感器 204 收集的电流密度(每单位面积的电流)。遵循这个一般做法,图 4 绘制了以  $mA/cm^2$  为单位的收集的电流密度作为时间的函数的示例。

[0045] 图 5 绘制了存在于图 4 中的同样的数据,但是相对于时间的导数。由于电流传感

器 204 被指定为仅响应音频范围内的频率,图 4 及 5 没有显示由在施加该 RF 的该 RF 爆裂间隔(图 4 及 5 中的点 1 及 3 之间的间隔时间)内的由全部 RF 波形引起的电流改变。实际上,显示于图 4 及 5 中的是获得的作为在每个点的整个 RF 循环的时间平均值的电流。

[0046] 返回至图 2,可见,也提供了一个高阻抗电压传感器(210)。仅为了便于分析,这个高阻抗电压传感器(210)通常被指定为仅响应从 DC 至音频范围的频率的范围内的信号。在 RF 频率范围内的信号(例如,大于 500KHz)通常被拒绝。高阻抗电压传感器(210)提供了该收集表面 103 相对于室接地的电压的测量。这个电压被定义为该探针偏压( $V_b$ )。该探针偏压( $V_b$ )应当被谨慎区分于图 3 所示的该探针外壳势( $V_{probe\ sheath}$ ),其被定义为跨越该等离子外壳 213 的电压。

[0047] 图 6 绘制了示例性的探针偏压( $V_b$ )作为时间的函数,与获得绘制于图 4 及 5 的示例性数据所用的状况相同。由于电压传感器 210 被指定为仅响应音频范围内的频率,图 6 没有显示归因于施加该 RF 的该 RF 爆裂间隔(图 6 中点 1 及 3 之间的间隔)内的该全部 RF 波形的电压改变。实际上,显示的是作为在每个点的 RF 循环的时间平均值所获得的电压。从上述讨论,也可注意到该探针偏压( $V_b$ ),通过表达式  $V_b = V_{probe\ sheath} + V_p$ ,与该探针外壳电压( $V_{probe\ sheath}$ )以及该等离子体势( $V_p$ )有关。

[0048] 该脉冲探针 RF 源 202 传递固定振幅的典型单频 RF 的间隔(该 RF 爆裂间隔)之后,是该探针 RF 源 202 被关闭的间隔(该静态间隔)。对于获得存在于图 4、5、6 中的数据中的示例性的实施例,打开该 RF 的该 RF 爆裂间隔内,该频率固定在 11.5MHz。在这个情况下,仅以示例方式给出,该 RF 爆裂间隔固定在 2.5 毫秒,且该静态间隔(在该期间该 RF 关闭)被固定在 30 毫秒。该静态间隔通常被选为足够长,使得该系统能够产生电荷平衡配置。该电荷平衡分布将为这样,使得没有传导电流的净流量通过该系统。

[0049] 该电荷分布的细节由该室设计的细节以及施加该室 RF 电压的方法确定。当该系统达到了这个平衡状况且没有传导电流流动,跨越该等离子外壳 213 的电压(该外壳电压)被称为在该“浮置电势”( $V_f$ )。这个数量被说明为图 3 中的点 3a、5。

[0050] 在实际操作中,直接测量该室内任一点(包括该探针)的跨越该等离子外壳的电压是非常困难的且很少成功。在如上讨论的并用于获得图 4、5、6 的示例性数据的情况下,没有测量该跨越该外壳的电压且因此未获得浮置电势  $V_f$  的实际值。然而,对图 4 的检查显示在点 0、3a 及 5,零电流流动。由于该浮置电势被定义为跨越该等离子外壳的电压,在该等离子外壳没有电流流动,因此图 4 的点 0、3a 及 5 代表该探针外壳电压达到该浮置电势的情况。同样谨慎注意:这些同样的点也在图 6 显示为点 0、3a 及 5。

[0051] 这一事实强调了这点:该外壳浮置电势可发生在多于一个非零探针偏压( $V_b$ )。在该静态间隔,该探针外壳在图 6 的点 0 获得对应于约 1 伏的探针偏压的浮置电势。在该间隔,当施加如所给示例的该 RF 时,该外壳在图 6 的点 3 获得对应于 -67.5 伏的探针偏压的浮置电势。

[0052] 该爆裂 RF 应用期间,改变所需的该探针偏压以获得该外壳浮置电势,可理解如下:该 RF 爆裂的应用导致跨越该外壳出现 RF 电压  $V_{sheath\ RF}$ 。然而,如图 3 所证实,该探针为非线性设备。显示出这一非线性导致该外壳势的 DC 改变,根据下面所给的关系:

$$[0053] \quad \Delta V_{sheath\ potential} = \frac{2T_e}{3} \ln \left\{ I_0 \left[ \frac{3V_{sheathRF}^2}{2T_e} \right] \right\} \quad \text{方程式 1}$$

[0054] 其中  $T_e$  是电子温度且  $V_{\text{sheath RF}}$  是跨越该外壳的电压振动的振幅。该电压改变使得该外壳电压远离该浮置电势,其接着导致传导电流流经该外壳,根据图 3 的 I-V 关系。传导电流的这一流动导致在板  $C_{\text{PIF}}$  的电荷积累。该电容器将继续获得电荷,直到其达到与由上述表达式给出的外壳势的 RF 感应改变符号相反的势。最终产生了一个新的平衡状况,在该点没有净电流流动,标志着该等离子外壳已经返回至该浮置电势。在图 4、5、6 的该示例性数据的特定情况下,该系统要求该电容器充电至 -67.5 伏的值,以将该外壳电压返回至该浮置电势。

[0055] 因此,在从 RF 爆裂源 202 施加 RF 之后的片刻,将有探针 RF 电压施加至  $C_{\text{PIF}}$ 206 以及等离子 110。在爆裂 RF 应用的一刹那,  $C_{\text{PIF}}$ 206 没有带电且跨越其末端显示零 DC 势。进而,在爆裂 RF 应用的片刻,探针外壳势改变。

[0056] 在多数执行中,该探针 RF 电压振幅足够大,产生足够大小的探针外壳势改变,以偏置该外壳进入标示于图 3 的该“电子饱和”区域。图 3、4、5、6 中的点 1 表示首次施加该探针 RF 的时刻。因此,探针 RF 电压的应用开始,传导电流将流至  $C_{\text{PIF}}$ 206。如果该探针外壳势改变足够大,从而实现进入该电子饱和,充电电流的大小将被限制为该“电子饱和电流”。

[0057] 该电子饱和电流,或  $I_e$ ,代表可能发生在该等离子体的基本参数上的限定状况,如电子密度和温度。计算电子饱和电流的机制和方法对本领域技术人员而言是熟知的。限定该电流为该饱和值  $I_e$  的进一步详细的机制与理解本发明无关。

[0058] 在探针 RF 应用期间,出于习俗,电子从该等离子流向该 PIF 探针。电流流动时,  $C_{\text{PIF}}$  开始充电,正电荷堆积在板 214 且负电荷堆积在板 216。在  $C_{\text{PIF}}$  上的该充电构型(configuration)依次导致流向充电  $C_{\text{PIF}}$  的电流大小降低。最终达到平衡构型。这可理解为在图 3 中从点 1 移向点 2,接着最终移向点 3a、5。

[0059] 依据上述给出的一般描述,跨越  $C_{\text{PIF}}$  的该势从图 6 的点 1 降低,直到达到图 6 的点 3,足够抵消由施加的 RF 引起的该探针外壳电压变化。注意:达到图 6 的点 3,该系统必须经过图 6 的点 2,其代表与该等离子体势有关的探针偏压。该特定的探针偏压的重要性将在下文进行更加详细的讨论。当达到图 6 中所述点 3 的该势时,由  $C_{\text{PIF}}$  引起的该电流变得可忽略不计,且该探针偏压达到值  $V_{b\text{-max}}$ ,其导致该探针外壳势接近其浮置电势  $V_f$ ,其中该电容器停止进一步获得电荷。注意:在该状况下,该电容器被充电至抵消由该施加的 RF 引起的外壳势变化所需的势。该平衡状态被称为图 6 中的点 3a、5。

[0060] 然而,一旦关掉 RF 爆裂源 202,则该 RF 引起的外壳势变化就被移除。在该时刻,该探针外壳势由标记为图 6 的点 3 的  $C_{\text{PIF}}$ 206 的该势确定。这也可表示为图 3 中的从点 3a 到 3b 的不连续跳跃。该探针外壳势被该探针偏压驱使至(driven to)最大的负值,接着开始等于  $V_{\text{sheath-max}}$ 。所获得的该探针外壳势通常足够将该外壳偏向(bias)如图 3 所述的该离子饱和区域的状态。

[0061] 流向地面 203 的该电流的大小一般指的是该离子饱和电流,或  $I_{i\text{-sat}}$ ,且一般在该外壳 213 被由当关掉该 RF 时发生的探针偏压变化驱使至的最大电压( $V_{\text{sheath max(-)}}$ )。  $I_{i\text{-sat}}$  代表可能发生在该等离子体的基本参数(如电子密度和温度)上的限定状况。可计算电子饱和电流的该机制和方法是本领域普通技术人员所公知的。该机制以及该效果计算的进一步详情与理解本发明无关。

[0062] 当  $C_{\text{PIF}}$ 206 开始放电,该探针偏压  $V_b$  也开始衰减,导致由该等离子引起的电流下降。

最终该传导电流放松至零。当该传导电流达到零值,该探针外壳势将达到该浮置电势  $V_f$ ,其中再无电流流动。可分析该衰减电流与该探针偏压之间的函数关系以获得描述该等离子体的不同的参数。例如,可分析从点 3b 到点 4 的该电流衰减的线性部分以获得至该电流收集表面的离子通量的量。

[0063] 另外,可分析从点 4 至点 5 的该非线性电流衰减以获得等离子体电子温度的估计值。执行这样的分析的该方法是朗缪尔探针现有技术的有案可稽的方面,且为本领域普通技术人员所熟知。

[0064] 记住:在该 RF 爆裂的间隔,该 PIF 系统将充电,直到达到图 3、4、5、6 中的点 3。本发明人观察到:为了达到图 3、4、5、6 中的点 3,该系统必须经过图 3、4、5、6 中的点 2。从图 3 可知,点 2 代表外壳电压 ( $V_p$ ),图 3 中的增强曲线开始于该点(膝部)。

[0065] 在该特定的点,发生了该外壳势等于该等离子体势的情况。由于该系统经过图 3 的点 2,该“膝部”同样导致在该电流作为探针电压的函数的曲线(斜线)中的扰动。该扰动在图 4 中被绘为点 2。该探针电压的准确值(这发生在该点)以及该扰动的形状的细节是该外壳电压与该等离子体势的全部时间依存行为相互作用的非常复杂的平均效果的结果。这种平均效果的细节与本发明无关。

[0066] 根据本发明的一个方面,通过采用电流信号相对于时间的导数,该扰动,如图 4 中的点 2 所绘,可被进一步放大。这个放大导致具有高信噪比的信号,使得能够应用如自动过程控制、终点、系统故障探测等。

[0067] 图 5 给出了一个示例,其绘制了图 4 的时间导数。图 5 显示了可轻松识别的峰,标记为点 2,其对应于图 4 中的记录为点 2 的曲线扰动。注意:该点 2 发生在该 RF 的爆裂阶段,即,该 PIF 系统的放电阶段,且通常发生在该 RF 启动的时间(点 1)以及该等离子体外壳势等于该浮置电势的时间(点 3)之间。该探针偏压(这发生在该点)可通过查阅图 6 找到,在该点可见,图 4 中点 2 的电压在时间上对应于图 5、6 中的点 2 的相同时刻。

[0068] 因此,本发明人相信,已经获得了一种方法,通过该方法可得到等离子体势的相对测量值。简言之,该方法如下所述:

[0069] 找到该点,在该点位于爆裂 RF 相期间的探针电流曲线发生中断。这可以通过相对于时间区分该探针电流以及寻找在应用爆裂 RF 期间产生的电流的导数中获得的峰,很好地完成。

[0070] 注意电流曲线(current curvature)(如上所述)中的该中断发生的时间(该中断对应于,例如,该电流导数(导数)曲线中的峰)。

[0071] 检查作为时间的函数的该探针电压以确定如步骤 2 所确定的该探针电压。现在我们定义该电压为  $V_{\text{plasma potential-probe}}$ 。

[0072] 本发明人相信该由上述程序找到的探针偏压是等离子体势的相对测量值。如果也可以确定该外壳电压相对于探针偏压的值的细节,那么该方法也可是绝对的。记住:应用 RF 偏压之后,该系统将获得探针偏压  $V_{b\text{-max}}$ (图 6 中的点 3),在该值时发现该外壳在该浮置电势。

[0073] 尽管不希望被理论所限制,本发明人还相信,  $V_{\text{plasma potential-probe}}$  与  $V_{b\text{-max}}$  的差也代表该外壳浮置电势与该等离子体势的差的测量。这项观察具有有利的诊断价值,由于当两个相对于同样的参考来测量时,该已确立的朗缪尔探测器理论显示该外壳浮置电压与等离子

体势的差的下述关系。该关系显示于下述方程式 2 (Braithwaite 等, J. Phys. D :Appl. Phys, 36 (2003) 2837-2844) :

$$[0074] \quad V_p - V_{p'} = \frac{kT}{e} \left[ \ln \left\{ \sqrt{\frac{M}{2\pi m}} \right\} + \ln \left\{ I_0 \left( \frac{eV_{RF}}{kT} \right) \right\} \right]$$

[0075] 在上述方程式 2 中, M 是阳离子的质谱或多个离子存在下的恰当的有效质谱, T 是电子温度, m 是电子质谱。由于该 PIF 装置也可用于获得 Te 的测量, 可以看出, 可从该外壳浮置电压与等离子体势的差推断 Mi。反过来, 该差可从上述讨论的方法确定。

[0076] 此处有很多本发明实施例的可能的应用, 尤其对在等离子体处理室内施加等离子体的基板处理过程的控制。该控制可作为自动过程控制、端点、维护监控、系统故障监测等的一部分来执行, 以监测、产生报警、或者影响该过程的转变。该转变可包括, 例如, 若监测到端点状况, 引发端点处理程序。作为另一示例, 该转变可包括若监测到故障状况, 引发故障处理程序。作为另一个示例, 该转变可包括开始等离子体处理的新的子步骤。可执行这些转变, 如果, 例如, 用本发明实施例监测的值落入预定的时限 (时限) 内、等于、低于、或超过一些预定的值。

[0077] 例如, 时间  $t_{\text{point } 2}$  (如图 4 及 5 中的点 2) (在该时间爆裂 RF 相探针电流曲线发生中断), 以及时间  $t_{\text{point } 3a}$  (如图 4 及 5 中的点 3a) (在该时间该探针外壳电压获得爆裂 RF 相期间的该浮置电势) 之间的时间差的变化, 可被用作该等离子体离子能量变化的代表 (proxy)。如所讨论的, 该中断可通过如采用时间导数等技术被更加可靠的检查到, 如图 5 中所见。该时间差可与待确定的预定时限或预定值作对照, 例如, 是否该离子能量反映了可接受的操作状况, 是否已经达到了一个处理步骤的终点, 是否发生了处理故障状况等。

[0078] 近似地, 相应于该爆裂 RF 相探针电流中断点的该探针电压 (该探针电压通过将该探针电流曲线在该爆裂 RF 相发生前面提到的中断的时间  $t_x$  与该探针电压曲线中的类似时间  $t_x$  相关联得到) 相对于某些参考电压的大小变化, 也可用作该等离子体的离子能源变化的代表。相应于该爆裂 RF 相探针电流中断点的该探针电压的大小可与预定值范围或预定值作对照, 例如, 是否该离子能量反映了可接受的操作状况, 是否已经达到了一个处理步骤的终点, 是否已经发生了处理故障状况等。

[0079] 作为本发明实施例的另一个应用,  $V_{\text{plasma potential-probe}}$  与  $V_{b\text{-max}}$  随时间推移的确定的差可被用于监测等离子体化学性的变化。然后, 该对等离子体化学性的变化监测可被用来应用于例如端点 (例如确定所给层被蚀刻穿的时间)、自动过程控制、维护监控、和 / 或系统故障监测。如之前讨论的,  $V_{\text{plasma potential-probe}}$  与  $V_{b\text{-max}}$  的差代表该外壳浮置电势与该等离子体势的差的测量。反过来, 通过方程式 2, 该外壳浮置电势与该等离子体势的差与该有效的离子质谱 M 相关联。换句话说, 该有效的离子质谱 M 的变化影响  $V_{\text{plasma potential-probe}}$  与  $V_{b\text{-max}}$  的值。通过监控  $V_{\text{plasma potential-probe}}$  与  $V_{b\text{-max}}$  随时间推移的差, 该有效的离子质谱的变化可被确定, 用于前面提到的应用。

[0080] 在一个实施例中, 如果独立确定该有效的离子质谱 M, 可用方程式 2 及该外壳浮置电势与该等离子体势 (正如提到的, 其与  $V_{\text{plasma potential-probe}}$  及  $V_{b\text{-max}}$  的差有关) 的差来得到该电子温度 Te 的变化。正因如此, 本发明实施例提供用于监测电子温度 (Te) 变化的技术, 其在很多过程中是重要的监测参数。

[0081] 其它的应用也是可行的。例如,上面讨论的来源于该相对等离子体势(该等离子体势涉及所讨论的探针电压)的一个或多个参数(如,离子能源、有效的离子质谱、电子温度等),可被用于监测该室状况作为持续的维护步骤的一部分。可选地或者另外,该爆裂 RF 相探针电流和 / 或该爆裂 RF 相探针电压可用于监控该室状况作为持续的维护步骤的一部分。这样的监控可提供信息给该等离子体处理系统的当前状态等离子室和 / 或零件以及可能的即将到来的可能需要执行的维护任务的操作者。

[0082] 尽管已经就一些优选实施例对本发明进行了揭示,仍有一些落入本发明范围内的改变、排序、等同。例如,尽管图 2 揭示了可用于确定与本发明实施例有关的相对等离子体势的解决办法,其它解决办法也是可行的。例如,可对偏压表面 103 施加可变的电压源。该可变的电压源可提供各种不同的时间依赖波形(如,正方形、三角形、正弦等),其可用于影响图 3 中从点 1 到点 0、3a 及 5 的转变。类似地,恰当安排的被动和 / 或主动元件也可用于对表面 103 施加偏压。作为另外的示例,尽管采用了蚀刻应用来说明本发明,其它应用(如,不同类型的等离子沉积)也可得益于本发明。因此应注意:存在很多替代方式来执行本发明的方法。

[0083] 已经揭示了实施例示例以及最佳实施方式,可对揭示的实施例进行修正及改变,而仍在由所附权利要求所限定的本发明的主题及实质的范围内。



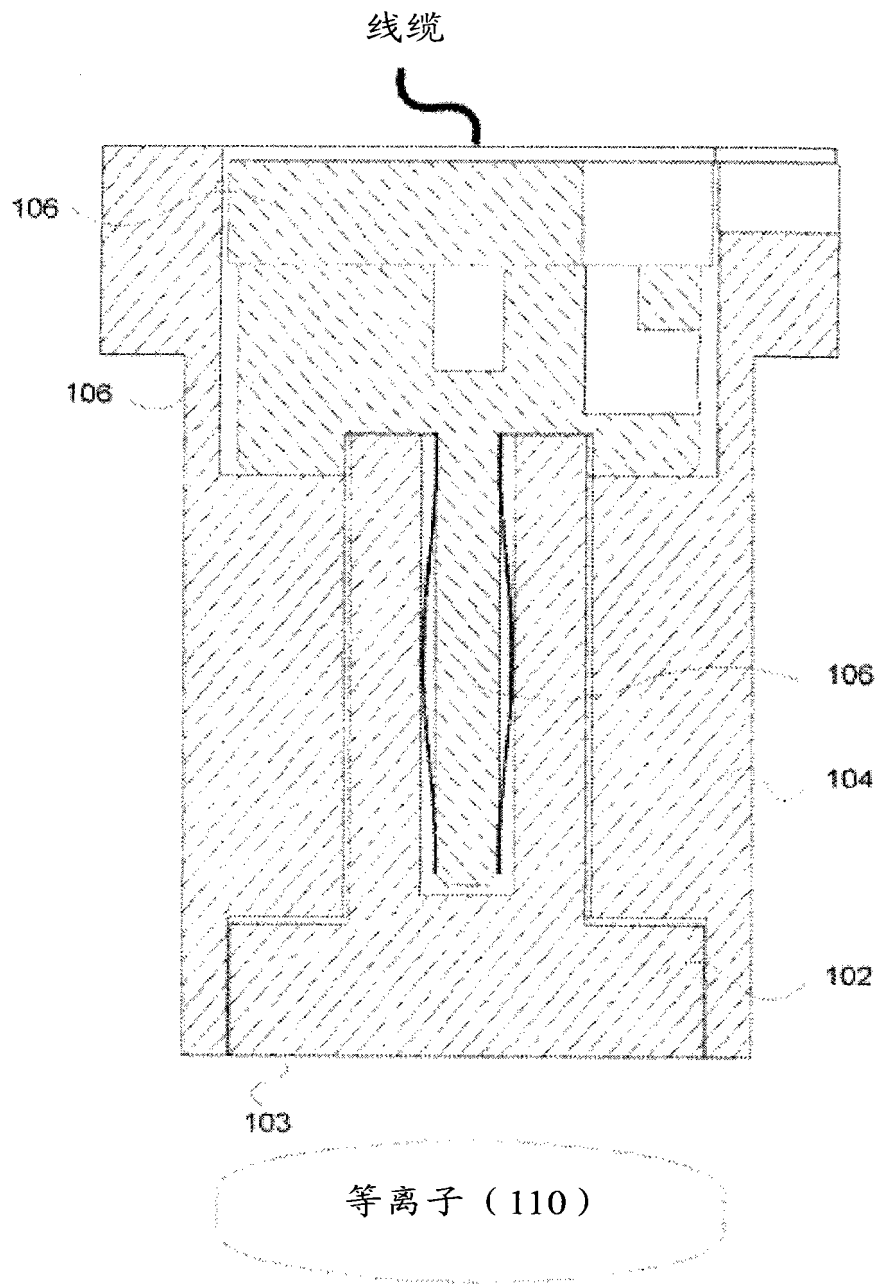


图 1

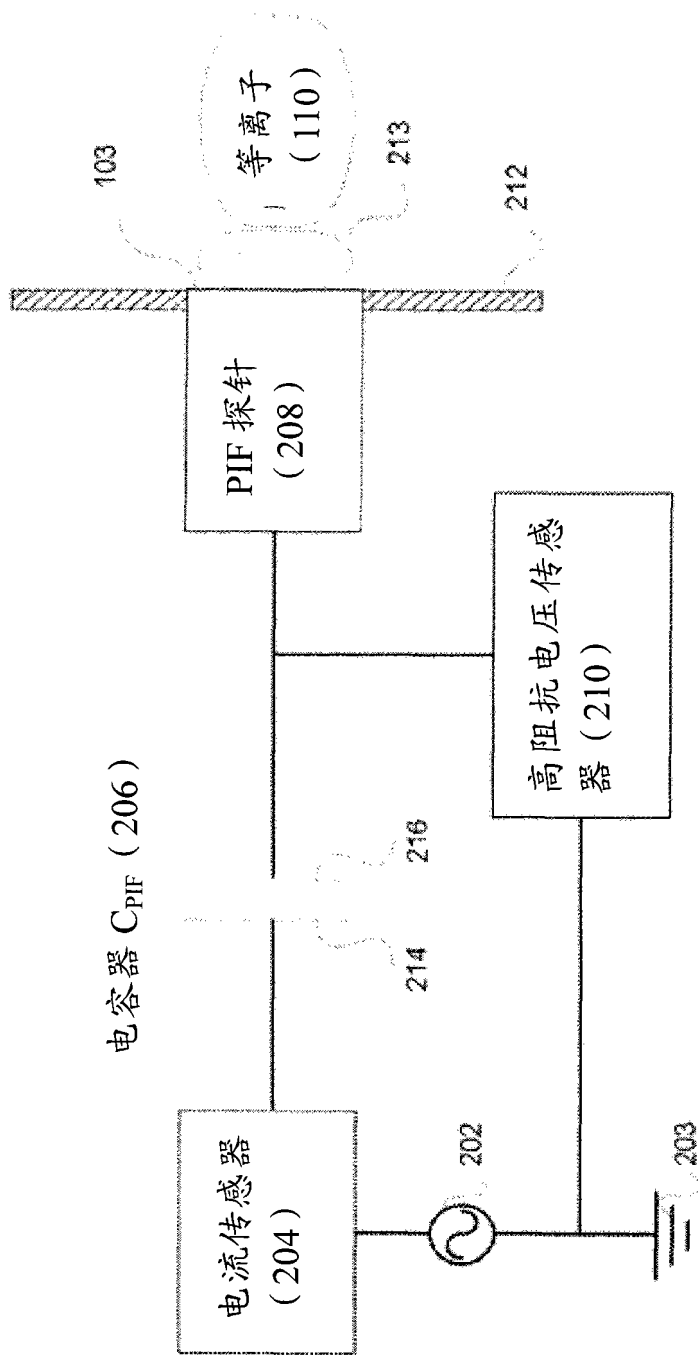


图 2

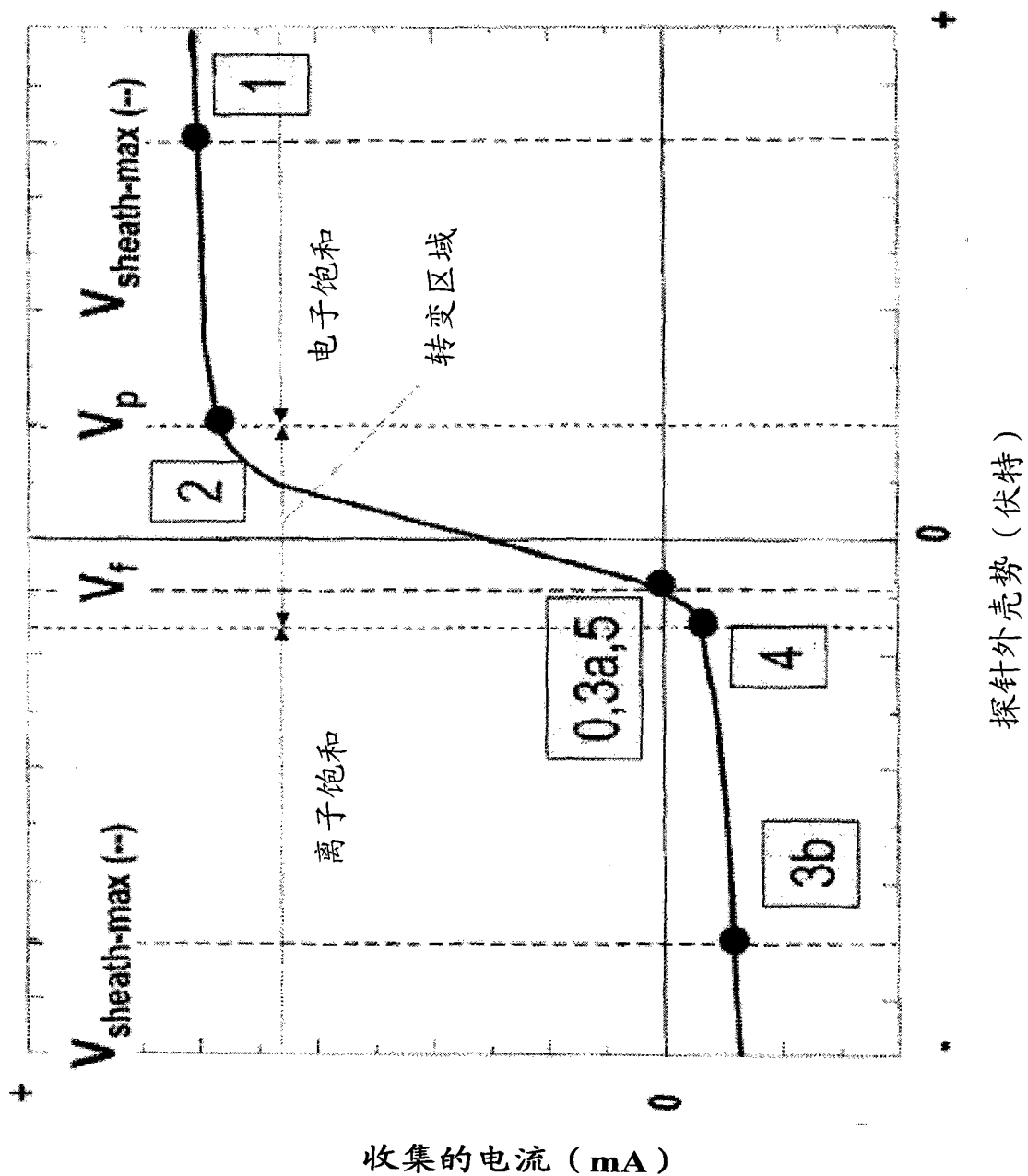
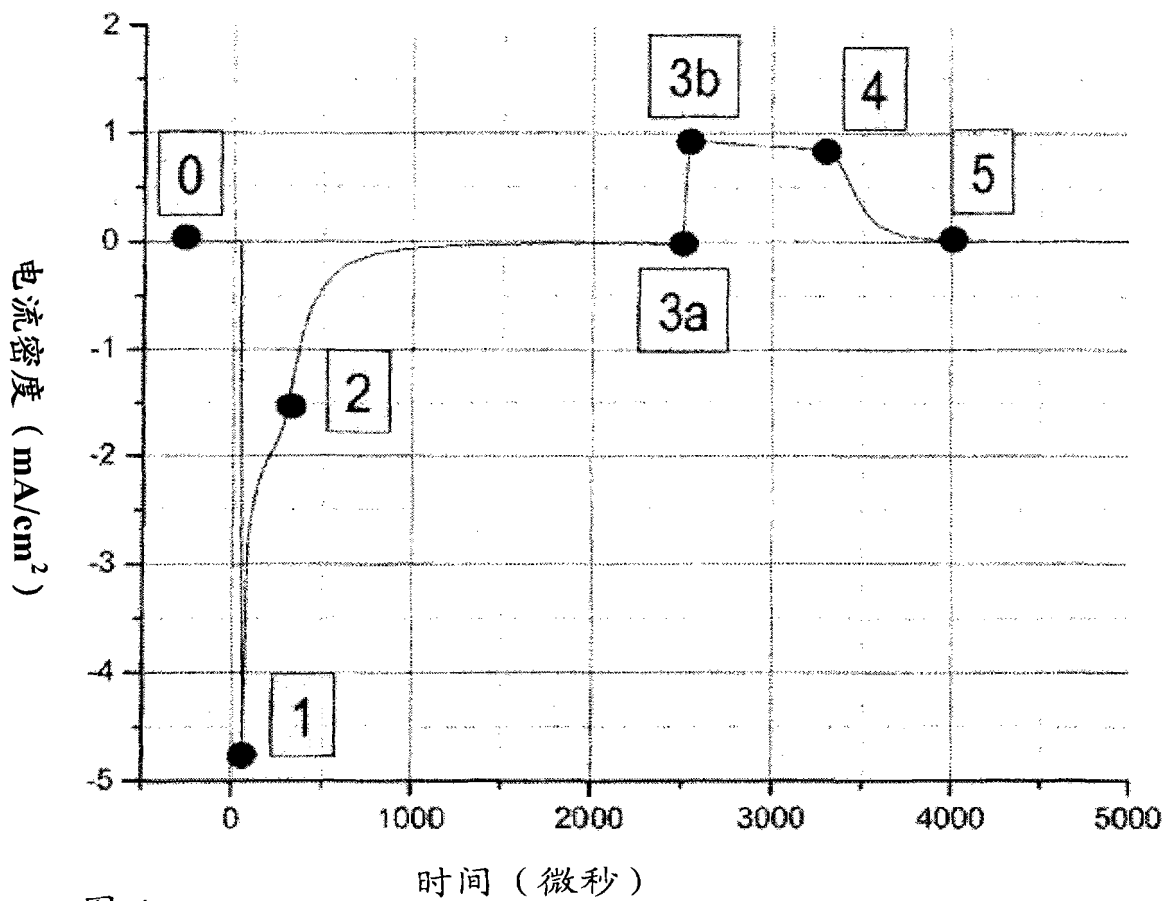
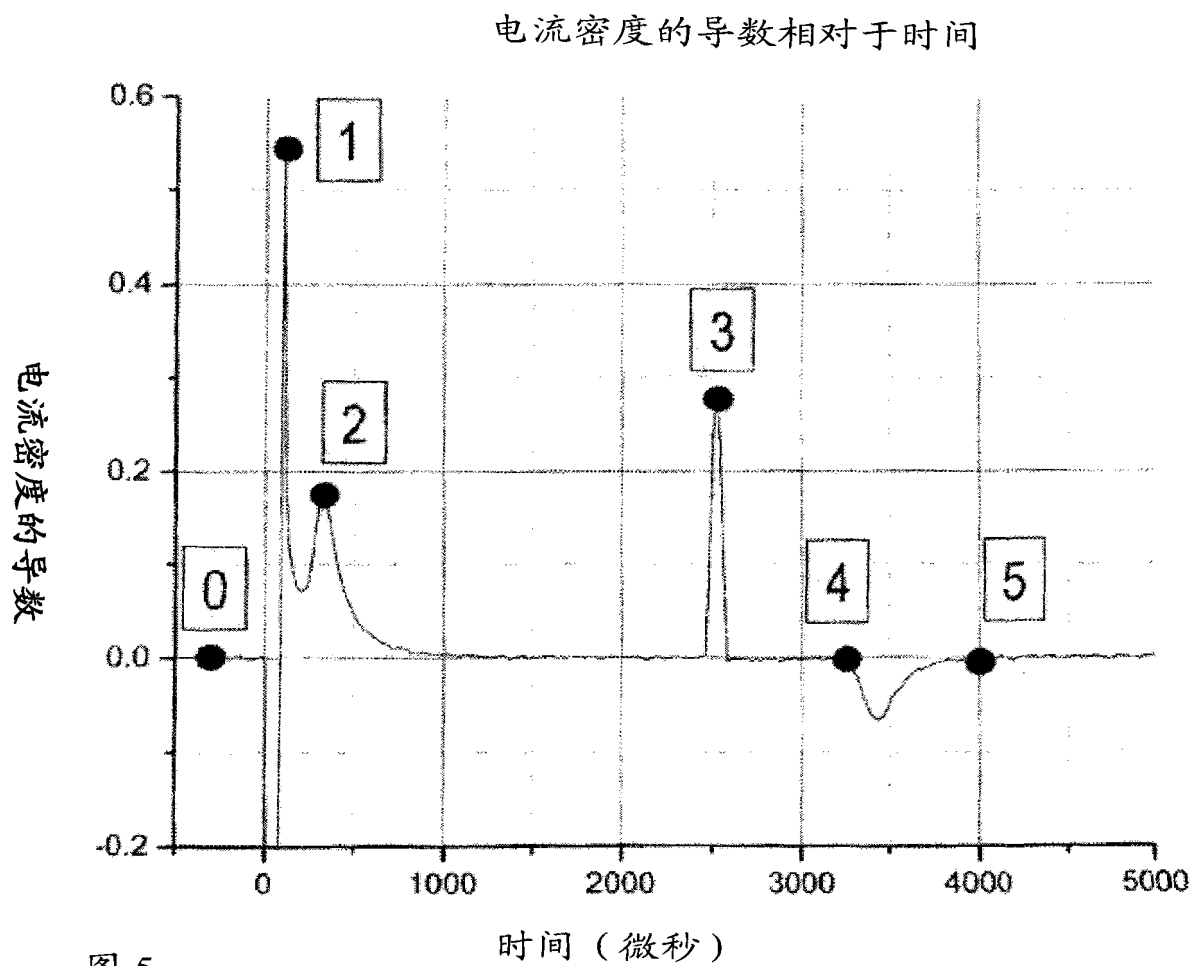


图 3

电流密度相对于时间





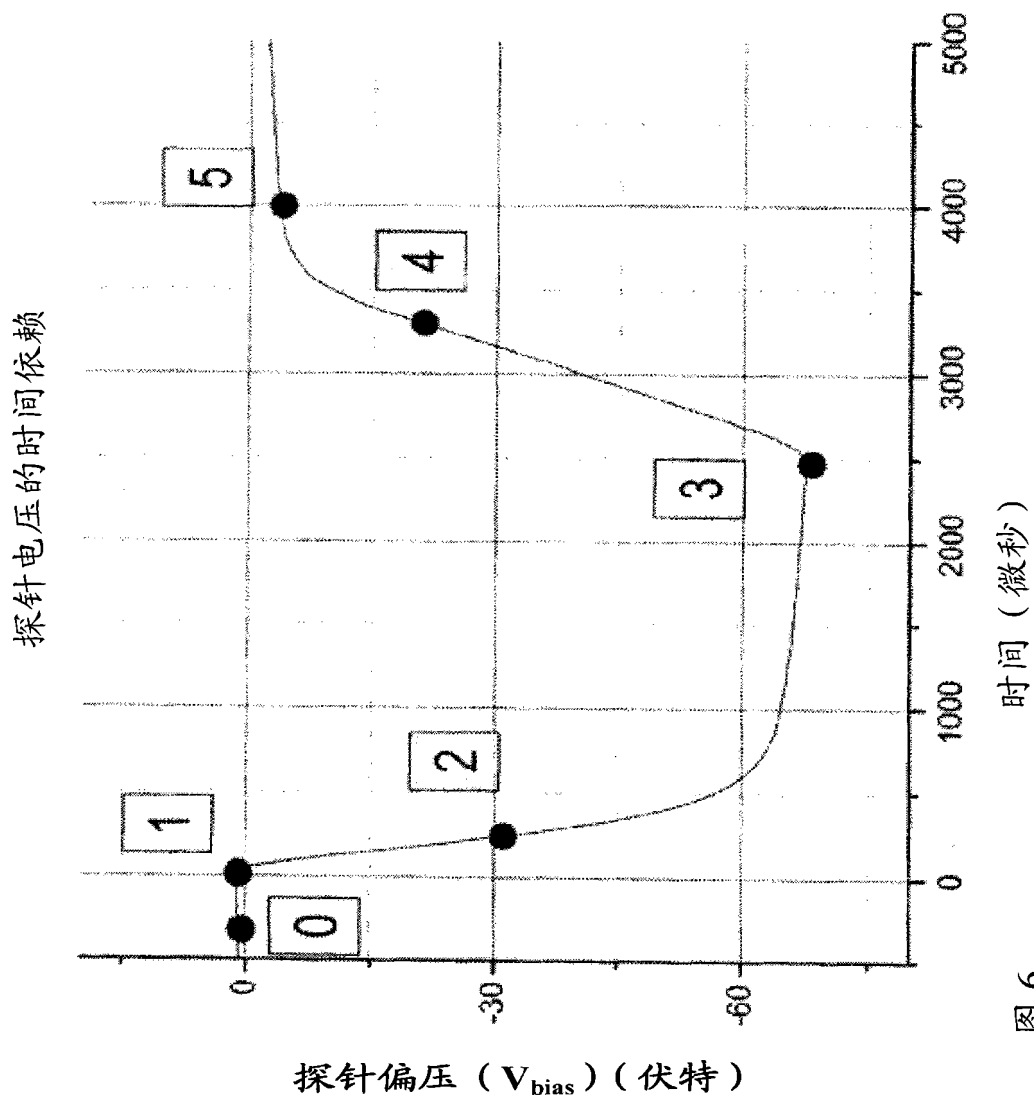


图 6