



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101523569 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200780036915. 6

(22) 申请日 2007. 10. 05

(30) 优先权数据

275722/2006 2006. 10. 06 JP

164637/2007 2007. 06. 22 JP

254058/2007 2007. 09. 28 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 04. 02

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2007/069563 2007. 10. 05

(87) PCT申请的公布数据

W02008/044633 JA 2008. 04. 17

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 奥石公 小林典之 米田滋

花轮健一 田原慈 杉本胜

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

H01L 21/3065(2006. 01)

H01L 21/768(2006. 01)

H05H 1/46(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2000-311890 A, 2000. 11. 07, 1-10.

JP 特开 2002-110647 A, 2002. 04. 12, 1-28.

JP 特开平 8-17807 A, 1996. 01. 19, 1-15.

JP 特开平 11-340213 A, 1999. 12. 10, 1-14.

JP 特开平 11-3879 A, 1999. 01. 06, 1-4.

JP 特开 2000-12524 A, 2000. 01. 14, 1-5.

WO 2005/124844 A1, 2005. 12. 29, 1-213.

审查员 杨海波

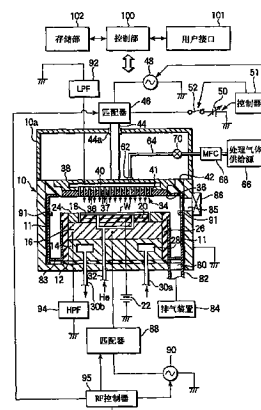
权利要求书 6 页 说明书 19 页 附图 15 页

(54) 发明名称

等离子体蚀刻装置和等离子体蚀刻方法

(57) 摘要

本发明提供一种等离子体蚀刻装置和等离子体蚀刻方法。在能够真空排气的处理容器(10)内将上部电极(34)和下部电极(16)以相对的方式配置,上部电极(34)与供给等离子体形成用的高频电力的第一高频电源(48)连接,下部电极(16)与施加离子引入偏压用的高频电力的第二高频电源(90)连接,在第二高频电源(90)设置有控制器(95),该控制器(95)控制第二高频电源(90),使其在功率调制模式下工作,该功率调制模式为在聚合物被堆积在晶片W的规定膜上的第一功率与对晶片W的规定膜实施蚀刻的第二功率之间以规定的周期进行功率调制。



1. 一种等离子体蚀刻装置,其采用在基底膜上形成有被蚀刻膜的结构 of 基板作为被处理基板,蚀刻该被蚀刻膜,之后进行过蚀刻,其特征在于,包括:

能够真空排气的处理容器;

配置在处理容器内的第一电极;

支承与所述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;

向所述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;

向所述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;

向所述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元;和

控制所述第二高频电力供给单元 of 控制器,

所述控制器进行如下控制:在所述蚀刻时,使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的连续模式下工作,在进入所述过蚀刻之前切换至功率调制模式,所述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板 of 规定膜上的第一功率与对被处理基板 of 规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。

2. 根据权利要求 1 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器进行如下控制:当被蚀刻膜被蚀刻进入过蚀刻 of 时刻,在所述基底膜上的聚合物的厚度比离子侵入深度厚的条件下,在所述第一功率与所述第二功率之间对所述第二高频电力进行功率调制。

3. 根据权利要求 2 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器控制所述第一功率、所述第二功率、功率调制的频率、功率调制的占空比、和从所述连续模式向所述功率调制模式切换 of 时刻中的至少一个。

4. 一种等离子体蚀刻装置,其特征在于,包括:

能够真空排气的处理容器;

配置在处理容器内的第一电极;

支承与所述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;

向所述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;

向所述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;

向所述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元;和

控制所述第二高频电力供给单元 of 控制器,

所述第二高频电力供给单元具有第二高频电源与第二匹配器,

所述控制器进行如下控制:使所述第二高频电力供给单元在以规定周期在 first 功率与第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作,这时,使所述第二匹配器的匹配工作与所述功率调制同步切换。

5. 根据权利要求 4 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器,当使所述第二高频电力供给单元在所述功率调制模式下工作时,按照以下方式进行控制:在 first 功率时使所述第二匹配器的工作不进行,在第二功率时所述第二匹配器进行如下工作:使所述第二高频电源的内部阻抗与包括所述处理容器的等离子体的负载阻抗一致。

6. 根据权利要求 5 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器,当使所述第二高频电力供给单元在所述功率调制模式下工作时,按照以下方式控制所述第二高频电源:在第一功率时,所述第二高频电源输出的功率值与通过包括所述处理容器的等离子体的负载阻抗反射的功率值的差,即被供给到所述第二电极的功率值恒定。

7. 根据权利要求 1 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

还具备对所述第一电极施加直流电压的可变直流电源。

8. 一种等离子体蚀刻装置,其特征在于,包括:

能够真空排气的处理容器;

配置在处理容器内的第一电极;

支承与所述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;

向所述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;

向所述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;

向所述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元;和

控制所述第二高频电力供给单元的控制器,

所述控制器,当使所述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率与第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作时,按照如下方式进行控制:当等离子体激发时,最初使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作,之后切换至所述功率调制模式。

9. 根据权利要求 8 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器进行如下控制:当使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作后,在规定时间之后开始基于所述第一高频电力供给单元的电力供给,然后,在规定时间之后将所述第二高频电力供给单元切换至所述功率调制模式。

10. 根据权利要求 9 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器进行如下控制:在基于所述第二高频电力供给单元的以同一功率供给连续的高频电力开始的时刻,以比规定功率低的功率进行电力供给,在基于所述第一高频电力供给单元供给高频电力开始的时刻,也以比规定功率低的功率进行电力供给,在规定时间后,提高来自所述第一和第二高频电力供给单元的功率,之后,在规定时间后,将所述第二高频电力供给单元切换至所述功率调制模式。

11. 根据权利要求 9 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述等离子体蚀刻装置还具备对所述第一电极施加直流电压的可变直流电源,所述控制器进行如下控制:在开始基于所述第一高频电力供给单元的电力供给的时刻,开始基于所述可变直流电源的电压施加。

12. 根据权利要求 11 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器,在开始基于所述可变直流电源的电压施加时,使电压逐渐增大。

13. 根据权利要求 8 所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:

所述控制器进行如下控制:使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作,之后将其切换至功率调制模式时,使功率逐渐增大。

14. 根据权利要求 1 至权利要求 13 中任一项所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:所述第一高频电力的频率是 27 ~ 100MHz。
15. 根据权利要求 1 至权利要求 13 中任一项所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:所述第二高频电力的频率是 400kHz ~ 13.56MHz。
16. 根据权利要求 1 至权利要求 13 中任一项所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:当所述第二高频电力供给单元为所述功率调制模式时,所述第一功率在 10 ~ 500W 的范围,第二功率在 100 ~ 5000W 的范围。
17. 根据权利要求 1 至权利要求 13 中任一项所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:当所述第二高频电力供给单元为所述功率调制模式时,功率调制的频率是 0.25 ~ 100Hz 的范围。
18. 根据权利要求 1 至权利要求 13 中任一项所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:当所述第二高频电力供给单元为所述功率调制模式时,作为功率调制的占空比的第二功率时间 / 一个周期的整体时间是 1 ~ 99%。
19. 根据权利要求 1 至权利要求 13 中任一项所述的等离子体蚀刻装置,其特征在于:所述控制器进行如下控制:与所述第二高频电力供给单元的功率调制模式同步,使所述第一高频电力供给单元以规定周期在第三功率和第四功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作。
20. 一种等离子体蚀刻方法,其使用等离子体蚀刻装置,在第一电极和第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的规定的膜,所述等离子体蚀刻装置包括:
能够真空排气的处理容器;
配置在处理容器内的第一电极;
支承与所述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;
向所述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;
向所述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;和
向所述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元,所述等离子体蚀刻方法的特征在于:
使所述第二高频电力供给单元在功率调制模式下工作,所述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定膜上的第一功率与对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。
21. 根据权利要求 20 所述的等离子体蚀刻方法,其使用在基底膜上形成有被蚀刻膜的结构基板作为被处理基板,在所述第一电极和所述第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的被蚀刻膜,之后进行过蚀刻,所述等离子体蚀刻方法的特征在于:
在所述蚀刻时,使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的连续模式下工作,在进入所述过蚀刻之前,切换至功率调制模式,所述功率调制模式为在聚合物被堆积在被处理基板的规定膜上的第一功率和对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间以规定周期进行功率调制。
22. 根据权利要求 21 所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:
在被蚀刻膜被蚀刻进入过蚀刻的时刻,在所述基底膜上的聚合物的厚度比离子侵入深

度厚的条件下,在所述第一功率和所述第二功率之间对所述第二高频电力进行功率调制。

23. 根据权利要求 22 所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:

通过控制所述第一功率、所述第二功率、功率调制的频率、功率调制的占空比、和从所述连续模式向所述功率调制模式切换的时刻中的至少一个,形成所述基底膜上的聚合物厚度比离子侵入深度厚的条件。

24. 根据权利要求 21 所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:

被处理基板的被蚀刻膜为 SiOC 类低介电率膜,基底膜为 SiC 膜。

25. 权利要求 20 所述的等离子体蚀刻方法,其使用在被蚀刻膜上形成有掩模层的结构的基板作为被处理基板,将该掩模层作为掩模蚀刻被蚀刻膜,该等离子体蚀刻方法的特征在于:

当蚀刻所述被蚀刻膜时,将所述第二高频电力供给单元切换至功率调制模式,所述功率调制模式为在聚合物被堆积在被处理基板的规定膜上的第一功率和对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间以规定周期进行功率调制。

26. 一种等离子体蚀刻方法,其使用等离子体蚀刻装置,在第一电极和第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的规定的膜,所述等离子体蚀刻装置包括:

能够真空排气的处理容器;

配置在处理容器内的第一电极;

支承与所述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;

向所述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;

向所述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;和

向所述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元,

其中,所述第二高频电力供给单元具备第二高频电源和第二匹配器,所述等离子体蚀刻方法的特征在于:

当使所述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率和第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作时,使所述第二匹配器的匹配工作与所述功率调制同步进行切换。

27. 根据权利要求 26 所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:

当使所述第二高频电力供给单元在所述功率调制模式下工作时,在第一功率时使所述第二匹配器的工作不进行,在第二功率时所述第二匹配器进行如下工作:使所述第二高频电源的内部阻抗与包括所述处理容器的等离子体的负载阻抗一致。

28. 根据权利要求 27 所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:

当使所述第二高频电力供给单元在所述功率调制模式下工作时,在第一功率时,所述第二高频电源输出的功率值与通过包括所述处理容器的等离子体的负载阻抗反射的功率值的差,即被供给到所述第二电极的功率值恒定。

29. 根据权利要求 20 所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:

所述等离子体处理装置还具备对所述第一电极施加直流电压的可变直流电源。

30. 一种等离子体蚀刻方法,其使用等离子体蚀刻装置,在第一电极和第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的规定的膜,所述等离子体蚀刻装置包括:

能够真空排气的处理容器；

配置在处理容器内的第一电极；

支承与所述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极；

向所述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元；

向所述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元；和

向所述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元，所述等离子体蚀刻方法的特征在于：

当使所述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率和第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作时，在等离子体激发时，最初使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续供给高频电力的模式下工作，然后切换至所述功率调制模式。

31. 根据权利要求 30 所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：

在使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作后，在规定时间后开始基于所述第一高频电力供给单元的电力供给，之后，在规定时间后将所述第二高频电力供给单元切换至所述功率调制模式。

32. 根据权利要求 31 所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：

在基于所述第二高频电力供给单元的以同一功率供给连续的高频电力开始的时刻，以比规定功率低的功率进行电力供给，在基于所述第一高频电力供给单元供给高频电力开始的时刻，也以比规定功率低的功率进行电力供给，在规定时间后，提高来自所述第一和第二高频电力供给单元的功率，之后，在规定时间后，将所述第二高频电力供给单元切换至所述功率调制模式。

33. 根据权利要求 31 所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：

所述等离子体处理装置还具备在所述第一电极上施加直流电压的可变直流电源，在基于所述第一高频电力供给单元开始电力供给的时刻，开始基于所述可变直流电源的电压施加。

34. 根据权利要求 33 所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：

在基于所述可变直流电源开始施加电压时使电压逐渐增大。

35. 根据权利要求 30 所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：

使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作，之后将其切换至所述功率调制模式时，使功率逐渐增大。

36. 根据权利要求 20～权利要求 35 中任一项所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：所述第一高频电力的频率是 27～100MHz。

37. 根据权利要求 20～权利要求 35 中任一项所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：所述第二高频电力的频率是 400kHz～13.56MHz。

38. 根据权利要求 20～权利要求 35 中任一项所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：当所述第二高频电力供给单元为所述功率调制模式时，所述第一功率在 10～500W 的范围，第二功率在 100～5000W 的范围。

39. 根据权利要求 20～权利要求 35 中任一项所述的等离子体蚀刻方法，其特征在于：当所述第二高频电力供给单元为所述功率调制模式时，功率调制的频率为 0.25～

100Hz 的范围。

40. 根据权利要求 20 ~ 权利要求 35 中任一项所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:
当所述第二高频电力供给单元为所述功率调制模式时,作为功率调制的占空比的第二功率时间 / 一个周期的整体时间为 1 ~ 99%。

41. 根据权利要求 20 ~ 权利要求 35 中任一项所述的等离子体蚀刻方法,其特征在于:
与所述第二高频电力供给单元的功率调制模式同步,使所述第一高频电力供给单元以规定周期在第三功率和第四功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作。

等离子体蚀刻装置和等离子体蚀刻方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种对半导体基板等被处理基板实施等离子体蚀刻的等离子体蚀刻装置、等离子体蚀刻方法以及计算机能够读取的存储介质。

背景技术

[0002] 例如,在半导体器件的制造工艺中,为了在形成于作为被处理基板的半导体晶片上的规定的层上形成规定图形,多数情况下采用将抗蚀剂作为掩模利用等离子体进行蚀刻的等离子体蚀刻处理。

[0003] 作为用于进行这种等离子体蚀刻的等离子体蚀刻装置,使用各种各样的装置,其中,电容耦合型平行平板等离子体蚀刻装置是主流。

[0004] 电容耦合型平行平板等离子体蚀刻装置在腔室内配置一对平行平板电极(上部电极和下部电极),将处理气体导入腔室内,并且向电极的至少一方施加高频电力在电极间形成高频电场,利用该高频电场形成处理气体的等离子体,对半导体晶片的规定的层实施等离子体蚀刻。

[0005] 具体来讲,公知的有通过向上部电极施加等离子体形成用的高频电力形成等离子体,并且向下部电极施加离子引入用的高频电力,从而形成适当的等离子体状态的等离子体蚀刻装置,这样,就能够以高选择比进行再现性高的蚀刻处理(例如特开 2000-173993 号公报(专利文献 1))。

[0006] 但是,根据近来半导体器件的高速化、配线图形的微细化、高集成化的要求,为了降低配线寄生电容,推广低介电率的层间绝缘膜的利用。在这种低介电率膜(Low-k 膜)中,在传统的 SiO_2 膜的 Si-O 键中导入甲基($-\text{CH}_3$),混合有 Si-CH_3 键的 SiOC 类膜备受关注。

[0007] 在对 SiOC 类膜等有机类的 Low-k(低介电率)膜实施等离子体蚀刻的情况下,能够充分确保基底膜和掩模层的选择比非常重要。通常情况下,作为与基底膜的选择性较高的处理气体,使用氟碳化合物类气体的混合气体,但是,仅以此难以获得充分的选择比。因此,提出了一种蚀刻方法,在 SiOC 类膜的蚀刻中,当将作为 Cu 配线的势垒层的氮化硅膜用作基底蚀刻阻止层对 SiOC 类层间绝缘膜进行等离子体蚀刻时,为了提高与基底膜的选择比,使用 Ar 的流量比在 80% 以上的 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}/\text{N}_2$ 作为处理气体,以提高与氮化硅膜的选择比(例如,特开 2002-270586 号公报(专利文献 2))。

[0008] 此外还提出了一种蚀刻方法,与上述专利文献 2 同样,在将氮化硅膜用作基底蚀刻阻止层对 SiOC 类层间绝缘膜进行等离子体蚀刻时,进行使用 $\text{CHF}_3/\text{Ar}/\text{N}_2$ 作为处理气体的第一步骤蚀刻和使用 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}/\text{N}_2$ 作为处理气体的第二步骤蚀刻,以提高对掩模和氮化硅膜双方的选择比(例如,特开 2004-87875 号公报(专利文献 3))。

[0009] 但是,如上所述,虽然作为 Cu 配线的势垒层所使用的氮化硅的势垒性良好但是介电常数偏高为 7.0,因此,为了充分利用 SiOC 类膜等的 Low-k 膜的低介电率特性,要求介电常数更低的势垒层,其中一个为介电常数为 3.5 的碳化硅(SiC)。

[0010] 当作为基底蚀刻阻止层使用这种低介电率势垒层的 SiC ,蚀刻作为上层的被蚀刻

层的 Low-k 膜时,也必需确保足够的蚀刻选择比。但是,由于在这种 SiC 膜中通常含有 10% 左右的氧,组成与 SiOC 类的 Low-k 膜接近,因此,即使采用在前述专利文献 2 和专利文献 3 中记载的使用氟碳化合物类的处理气体的等离子体蚀刻,能够确保 Low-k 膜与 SiC 层的蚀刻选择比的限制范围也狭窄,难以以高选择比和高蚀刻速率蚀刻 SiOC 类 Low-k 膜。

[0011] 另一方面,在使用电容耦合型平行平板等离子体蚀刻装置对通孔和接触孔等进行蚀刻的情况下,存在因孔尺寸不同蚀刻速率各异的所谓的微负载效应问题,以及难以控制蚀刻深度这样的问题。特别是在引导环 (GR) 这样大的区域,多数情况下蚀刻速度快,在 CF 类自由基难以进入的小孔中,多数情况下蚀刻速率慢。

[0012] 在没有蚀刻阻止层的情况下,由于上述微负载问题,蚀刻的深度参差不齐,因此,在下一个工序中也会出现参差不齐,导致电气特性出现参差不齐这样的问题。即使在有蚀刻阻止层的情况下,也不得不相应地延长过蚀刻的时间,因此,基底损失增大,也会出现参差不齐,因此,电气特性将会受到影响。

[0013] 为了防止发生这种情况,现有技术中采用一种通过降低蚀刻时的腔室内压力以进行低压、低流量工艺等的促进小孔的蚀刻的方法。但是,低压、低流量的工艺的方向是难以获得掩模、基底选择比的方向,因此,工艺有可能受到限制。

发明内容

[0014] 本发明的目的在于提供一种能够以高选择比和高蚀刻速率蚀刻被蚀刻膜的等离子体蚀刻装置、等离子体蚀刻方法。

[0015] 另外,本发明的目的在于提供一种能够控制微负载效应的等离子体蚀刻装置、等离子体蚀刻方法。

[0016] 另外,本发明的目的在于提供一种能够执行前述等离子体蚀刻方法的计算机能够读取的存储介质。

[0017] 根据本发明的第一观点,提供一种等离子体蚀刻装置,其包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第一电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的高频电力的第二高频电力供给单元;向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元;和控制前述第二高频电力供给单元的控制器,前述控制器进行如下控制:使前述第二高频电力供给单元在功率调制模式下工作,前述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定膜上的第一功率与对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。

[0018] 在上述第一观点中是一种等离子体蚀刻装置,其采用在基底膜上形成有被蚀刻膜的结构基板作为被处理基板,蚀刻该被蚀刻膜,之后进行过蚀刻,前述控制器能够进行如下控制:在前述蚀刻时,使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的连续模式下工作,在进入前述过蚀刻之前切换至功率调制模式,前述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定膜上的第一功率与对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。

[0019] 在这种构造中,前述控制器能够进行如下控制:当被蚀刻膜被蚀刻进入过蚀刻的时刻,在前述基底膜上的聚合物的厚度比离子侵入深度厚的条件下,在前述第一功率与前

述第二功率之间对前述第二高频电力进行功率调制。在此情况下,前述控制器控制前述第一功率、前述第二功率、功率调制的频率、功率调制的占空比、和从前述连续模式向前述功率调制模式切换的时刻中的至少一个。

[0020] 另外,在上述第一观点中是一种等离子体蚀刻装置,其采用在被蚀刻膜上形成有掩模层的结构的基板作为被处理基板,将该掩模层作为掩模蚀刻被蚀刻膜,前述控制器能够进行如下控制:在蚀刻前述被蚀刻膜时,将前述第二高频电力供给单元切换至功率调制模式,前述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定膜上的第一功率与对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。

[0021] 根据本发明的第二观点,提供一种等离子体蚀刻装置,其包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第一电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元;和控制前述第二高频电力供给单元的控制器,前述第二高频电力供给单元具有第二高频电源与第二匹配器,前述控制器进行如下控制:使前述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率与第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作,这时,使前述第二匹配器的匹配工作与前述功率调制同步切换。

[0022] 在上述第二观点中,前述控制器,当使前述第二高频电力供给单元在前述功率调制模式下工作时,能够按照以下方式进行控制:在第一功率时使前述第二匹配器的工作不进行,在第二功率时前述第二匹配器进行如下工作:使前述第二高频电源的内部阻抗与包括前述处理容器的等离子体的负载阻抗一致。在此情况下,按照以下方式控制前述第二高频电源:在第一功率时,前述第二高频电源输出的功率值与通过包括前述处理容器的等离子体的负载阻抗反射的功率值的差,即被供给到前述第二电极的功率值恒定。

[0023] 在上述第一、第二观点中,优选还具备对前述第一电极施加直流电压的可变直流电源。

[0024] 根据本发明的第三观点,提供一种等离子体蚀刻装置,其特征在于,包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第一电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元;和控制前述第二高频电力供给单元的控制器,前述控制器,当使前述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率与第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作时,按照如下方式进行控制:当等离子体激发时,最初使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作,之后切换至前述功率调制模式。

[0025] 在上述第三观点中,前述控制器能够进行如下控制:当使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作后,在规定时间之后开始基于前述第一高频电力供给单元的电力供给,然后,在规定时间之后将前述第二高频电力供给单元切换至前述功率调制模式。

[0026] 在此情况下,前述控制器进行如下控制:在基于前述第二高频电力供给单元的以

同一功率供给连续的高频电力开始的时刻,以比规定功率低的功率进行电力供给,在基于前述第一高频电力供给单元供给高频电力开始的时刻,也以比规定功率低的功率进行电力供给,在规定的时间内,提高来自前述第一和第二高频电力供给单元的功率,之后,在规定的时间内,将前述第二高频电力供给单元切换至前述功率调制模式。

[0027] 另外,前述等离子体蚀刻装置还具备对前述第一电极施加直流电压的可变直流电源,前述控制器进行如下控制:在开始基于前述第一高频电力供给单元的电力供给的时刻,开始基于前述可变直流电源的电压施加。

[0028] 在此情况下,优选在开始基于前述可变直流电源的电压施加时,使电压逐渐增大。而且,前述控制器进行如下控制:使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作,之后将其切换至功率调制模式时,使功率逐渐增大。

[0029] 在上述第一~第三观点中,前述第一高频电力的频率优选是 27 ~ 100MHz,前述第二高频电力的频率优选是 400kHz ~ 13.56MHz。另外,当前述第二高频电力供给单元为前述功率调制模式时,前述第一功率优选在 10 ~ 500W 的范围,第二功率优选在 100 ~ 5000W 的范围,功率调制的频率优选在 0.25 ~ 100Hz 的范围,作为功率调制的占空比的第二功率时间 / 一个周期的整个时间优选是 1 ~ 99%。并且,前述控制器进行如下控制:与前述第二高频电力供给单元的功率调制模式同步,使前述第一高频电力供给单元以规定周期在第三功率和第四功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作。

[0030] 根据本发明的第四观点,提供一种等离子体蚀刻方法,其使用等离子体蚀刻装置,在第一电极和第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的规定的膜,前述等离子体蚀刻装置包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;和向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元,前述等离子体蚀刻方法,使前述第二高频电力供给单元在功率调制模式下工作,前述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定的膜上的第一功率与对被处理基板的规定的膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。

[0031] 在上述第四观点中,其使用在基底膜上形成有被蚀刻膜的结构 of 的基板作为被处理基板,在所述第一电极和所述第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的被蚀刻膜,之后进行过蚀刻,在所述蚀刻时,使所述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的连续模式下工作,在进入所述过蚀刻之前,切换至功率调制模式,前述功率调制模式为在聚合物被堆积在被处理基板的规定的膜上的第一功率和对被处理基板的规定的膜进行蚀刻的第二功率之间以规定周期进行功率调制。

[0032] 在这种构造中,在被蚀刻膜被蚀刻进入过蚀刻的时刻,在所述基底膜上的聚合物的厚度比离子侵入深度厚的条件下,在所述第一功率和所述第二功率之间对所述第二高频电力进行功率调制。在此情况下,通过控制前述第一功率、前述第二功率、功率调制的频率、功率调制的占空比、和从所述连续模式向所述功率调制模式切换的时刻中的至少一个,能够形成所述基底膜上的聚合物厚度比离子侵入深度厚的条件。上述第四观点的离子体蚀刻方法最适合被处理基板的被蚀刻膜是 SiOC 类低介电率 (Low-k) 膜,基底膜是 SiC 膜的情况。

[0033] 在上述第四观点中,使用在被蚀刻膜上形成有掩模层的结构的基板作为被处理基板,将该掩模层作为掩模蚀刻被蚀刻膜,当蚀刻前述被蚀刻膜时,将前述第二高频电力供给单元切换至功率调制模式,前述功率调制模式为在聚合物被堆积在被处理基板的规定膜上的第一功率和对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间以规定周期进行功率调制。

[0034] 根据本发明的第五观点,提供一种等离子体蚀刻方法,其使用等离子体蚀刻装置,在第一电极和第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的规定的膜,前述等离子体蚀刻装置包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;和向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元,其中,前述第二高频电力供给单元具备第二高频电源和第二匹配器,前述等离子体蚀刻方法,当使前述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率和第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作时,使前述第二匹配器的匹配工作与前述功率调制同步进行切换。

[0035] 在上述第五观点中,当使前述第二高频电力供给单元在功率调制模式下工作时,在第一功率时使前述第二匹配器的工作不进行,在第二功率时前述第二匹配器进行如下工作:使前述第二高频电源的内部阻抗与包括前述处理容器的等离子体的负载阻抗一致。在此情况下,在第一功率时,前述第二高频电源输出的功率值与通过包括前述处理容器的等离子体的负载阻抗反射的功率值的差,即被供给到前述第二电极的功率值恒定。

[0036] 在上述第四、第五观点中,前述等离子体处理装置优选还具备对前述第一电极上施加直流电压的可变直流电源。

[0037] 根据本发明的第六观点,提供一种等离子体蚀刻方法,其使用等离子体蚀刻装置,在第一电极和第二电极之间生成处理气体的等离子体蚀刻被处理基板的规定的膜,前述等离子体蚀刻装置包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的第一高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的第二高频电力的第二高频电力供给单元;和向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元,前述等离子体蚀刻方法,当使前述第二高频电力供给单元在以规定周期在第一功率和第二功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作时,在等离子体激发时,最初使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续供给高频电力的模式下工作,然后切换至前述功率调制模式。

[0038] 在上述第六观点中,在使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作后,在规定时间内开始基于前述第一高频电力供给单元的电力供给,之后,在规定时间内将前述第二高频电力供给单元切换至前述功率调制模式。

[0039] 在此情况下,在基于前述第二高频电力供给单元的以同一功率供给连续的高频电力开始的时刻,以比规定功率低的功率进行电力供给,在基于前述第一高频电力供给单元供给高频电力开始的时刻,也以比规定功率低的功率进行电力供给,在规定时间内,提高来自前述第一和第二高频电力供给单元的功率,之后,在规定时间内,将前述第二高频电力供给单元切换至前述功率调制模式。

[0040] 另外,前述等离子体处理装置还具备在前述第一电极上施加直流电压的可变直流电源,在基于前述第一高频电力供给单元开始电力供给的时刻,开始基于前述可变直流电源的电压施加。

[0041] 在此情况下,优选在开始基于前述可变直流电源施加电压时使电压逐渐增大。而且,优选使前述第二高频电力供给单元在以同一功率连续地供给高频电力的模式下工作,之后将其切换至前述功率调制模式时,使功率逐渐增大。

[0042] 在上述第四~第六观点中,前述第一高频电力的频率优选是 27 ~ 100MHz,前述第二高频电力的频率优选是 400kHz ~ 13.56MHz。另外当前述第二高频电力供给单元为前述功率调制模式时,前述第一功率优选在 10 ~ 500W 的范围,第二功率优选在 100 ~ 5000W 的范围,功率调制的频率优选是 0.25 ~ 100Hz 的范围,作为功率调制的占空比的第二功率时间 / 一个周期的整个时间优选是 1 ~ 99%。而且,也能够与前述第二高频电力供给单元的功率调制模式同步,使前述第一高频电力供给单元以规定周期在第三功率和第四功率之间进行功率调制的功率调制模式下工作。

[0043] 根据本发明的第七观点,提供一种计算机能够读取的存储介质,其存储有在用于控制等离子体蚀刻装置的计算机上运行的控制程序,前述等离子体蚀刻装置包括:能够真空排气的处理容器;配置在处理容器内的第一电极;支承与前述第一电极相对设置的被处理基板的第二电极;向前述第一电极或者第二电极供给用于形成等离子体的高频电力的第一高频电力供给单元;向前述第二电极供给用于离子引入的高频电力的第二高频电力供给单元;和向前述处理容器内供给处理气体的处理气体供给单元,前述控制程序在计算机中控制前述等离子体蚀刻装置,当运行程序时,使前述第二高频电力供给单元在功率调制模式下工作,前述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定膜上的第一功率与对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制。

[0044] 根据本发明,通过使离子引入用的第二高频电力供给单元在功率调制模式下工作,前述功率调制模式为以规定周期在聚合物被堆积于被处理基板的规定膜上的第一功率与对被处理基板的规定膜进行蚀刻的第二功率之间进行功率调制,由此不仅能够形成在规定膜上堆积有适当的聚合物层的状态,并且能够抑制蚀刻的进行,因此,能够以高选择比和高蚀刻速率进行蚀刻。例如,当在基底膜上形成有被蚀刻膜的结构被处理基板上,在蚀刻被蚀刻膜后开始过蚀刻时,或者,作为被处理基板采用在被蚀刻膜上形成有掩模层的结构的基板,将该掩模层用作掩模蚀刻被蚀刻膜时,通过采用这种功率调制模式,由此能够以高选择比和高蚀刻速率蚀刻被蚀刻膜。

[0045] 通过采用前述功率调制模式,不仅能够抑制如蚀刻速率大的引导环 (GR) 那样的较大区域的蚀刻速率,而且不必改变工艺条件,能够抑制微负载效应。

附图说明

[0046] 图 1 是本发明的第一实施方式的等离子体蚀刻装置的概略断面图。

[0047] 图 2 是在图 1 的等离子体蚀刻装置中与第一高频电源连接的匹配器的构造图。

[0048] 图 3 是第二高频电源的功率调制模式的典型例子以及此时的设定电压的图。

[0049] 图 4 是第二高频电源的功率调制模式时的输出电压波形图。

[0050] 图 5 是图 1 的等离子体蚀刻装置中与第二高频电源连接的匹配器的构造图。

[0051] 图 6 是表示在通常模式下施加偏压时的作为被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜与作为蚀刻阻挡膜的 SiC 膜的蚀刻特性的图表。

[0052] 图 7 表示在作为蚀刻阻止膜的 SiC 膜上形成有作为被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜的构造中,在蚀刻 SiOC 类 Low-k 膜后,在连续模式下施加偏压的情况下与在功率调制模式下施加偏压的情况下,比较过蚀刻时的蚀刻状态的示意图。

[0053] 图 8 是表示横坐标为偏压功率,纵坐标为聚合物层的厚度,在连续模式下施加偏压的情况下与在功率调制模式下施加偏压的情况下,比较聚合物的厚度与离子侵入深度的关系的图表。

[0054] 图 9 是表示在功率调制模式下施加偏压时的作为被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜与作为蚀刻阻止膜的 SiC 膜的蚀刻特性的图表。

[0055] 图 10 表示在各个离子照射能量中聚合物膜厚与离子 (Ar 离子) 的吸收能量两者关系的模拟结果的图表。

[0056] 图 11 表示确认本实施方式的效果的实验结果的图表。

[0057] 图 12 表示在为了提高被蚀刻膜的相对于掩模的选择比,在下部电极的高频偏压中使用功率调制模式的例子中应用的半导体晶片的构造断面图。

[0058] 图 13 表示在为了缓解微负载效应在下部电极的高频偏压中使用功率调制模式的例子中应用的半导体晶片的构造断面图。

[0059] 图 14A 表示在用于确认缓解微负载效应的效果的蚀刻中所使用的孔形状及尺寸。

[0060] 图 14B 表示在用于确认缓解微负载效应的效果的蚀刻中所使用的孔洞形状及尺寸。

[0061] 图 14C 表示在用来确认缓解微负载效应的效果的蚀刻中所使用的孔洞形状及尺寸。

[0062] 图 15 表示为了缓解微负载效应,在下部电极的高频偏压中使用功率调制模式时和使用连续模式时的图 14 的孔形状的蚀刻速率标准化后的图表。

[0063] 图 16 表示高频电力和直流电压的优选施加时刻和施加方法的例子。

[0064] 图 17 表示高频电力和直流电压的优选施加时刻和施加方法的其它例子。

[0065] 图 18 表示高频电力和直流电压的优选施加时刻和施加方法的其它例子。

[0066] 图 19A 是表示第二高频电源与第一高频电源均处于功率调制模式的例子

[0067] 图 19B 是表示第二高频电源与第一高频电源均处于功率调制模式的例子。

[0068] 图 20 是本发明的第二实施方式的等离子体蚀刻装置的概略断面图。

具体实施方式

[0069] 下面,参照附图,对本发明的实施方式进行具体的说明。

[0070] 首先,对本发明的第一实施方式进行说明。

[0071] 图 1 是本发明的第一实施方式的等离子体蚀刻装置的概略截面图。

[0072] 该等离子体蚀刻装置作为电容耦合型平行平板等离子体蚀刻装置构成,具有例如表面被阳极氧化处理的铝构成的略呈圆筒状的腔室 (处理容器) 10。该腔室 10 被安全接地。

[0073] 在腔室 10 的底部隔着陶瓷等构成的绝缘板 12 配置有圆柱状的基座支承台 14,在

该基座支承台 14 上设置有例如由铝构成的基座 16。基座 16 构成下部电极,在其上载置有作为被处理基板的半导体晶片 W。

[0074] 在基座 16 的上表面设置有通过静电力吸附保持半导体晶片 W 的静电卡盘 18。该静电卡盘 18 具有用一对绝缘层或者绝缘片夹持由导电膜构成的电极 20 的构造,电极 20 与直流电源 22 电气连接。并且利用来自直流电源 22 的直流电压所产生的库仑力等静电力,半导体晶片 W 被静电卡盘 18 吸附保持。

[0075] 在静电卡盘 18(半导体晶片 W) 的周围,在基座 16 的上表面配置有用于提高蚀刻均一性的,例如由硅构成的导电性聚焦环(修正环)24。在基座 16 和基座支承台 14 的侧面,设置有例如由石英构成的圆筒状的内壁部件 26。

[0076] 在基座支承台 14 的内部,例如在圆周上设置有冷介质室 28。从设在外部的图中未示的冷却单元通过配管 30a、30b 向该冷介质室循环供给规定温度的冷介质例如冷却水,通过冷介质的温度能够控制基座上的半导体晶片 W 的处理温度。

[0077] 而且,从图中未示的传热气体供给机构供给的传热气体例如 He 气体通过气体供给管 32 被供给到静电卡盘 18 的上表面与半导体晶片 W 的背面之间。

[0078] 在作为下部电极的基座 16 的上方,与基座 16 平行相对地设置有上部电极 34。并且,上部和下部电极 34、16 之间的空间成为等离子体生成空间。上部电极 34 形成与作为下部电极的基座 16 上的半导体晶片 W 相对并且与等离子体生成空间接触的面即相对面。

[0079] 该上部电极 34 通过绝缘性遮挡部件 42 被支承在腔室 10 的上部,其由构成与基座 16 相对的相对面并且具有多个喷出孔 37 的电极板 36、和以自由拆卸的方式支承该电极板 36,并且采用导电性材料例如表面被阳极氧化处理的铝构成的水冷构造的电极支承体 38 构成。电极板 36 优选是焦耳热少的低阻抗的导电体或半导体,此外,如后所述,基于强化抗蚀剂的观点,优选是含硅物质。基于这种观点,电极板 36 优选由硅、SiC 构成。在电极支承体 38 的内部设置气体扩散室 40,从该气体扩散室 40 与气体喷出孔 37 连通的多个气体流通孔 41 向下方延伸。

[0080] 在电极支承体 38 上形成有向气体扩散室 40 导入处理气体的气体导入口 62,该气体导入口 62 与气体供给管 64 连接,气体供给管 64 与处理气体供给源 66 连接。气体供给管 64 上,从上流一侧依次设置有质量流量控制器(MFC)68 和开关阀 70(也可以取代 MFC 设置 FCN)。并且作为蚀刻用的处理气体,例如 C_4F_8 气体这样的氟碳化合物气体(C_xF_y)从处理气体供给源 66 通过气体供给管 64 到达扩散室 40,然后通过气体流通孔 41 和气体喷出孔 37 以喷淋状向等离子体生成空间喷出。即,上部电极 34 具有用作供给处理气体的喷淋头的功能。

[0081] 上部电极 34 通过第一匹配器 46 和供电棒 44 与第一高频电源 48 电连接。第一高频电源 48 输出 27 ~ 100MHz 的频率例如 60MHz 的高频电力。第一匹配器 46 的功能在于,用于使负载阻抗匹配于第一高频电源 48 的内部(或者输出)阻抗,所以当在腔室 10 内生成等离子体时发挥作用使第一高频电源 48 的输出阻抗与负载阻抗看起来一致。第一匹配器 46 的输出端子与供电棒 44 的上端连接。

[0082] 另一方面,在上部电极 34,除第一高频电源 48 之外还与可变直流电源 50 电连接。可变直流电源 50 也可以是双极电源。具体来讲,该可变直流电源 50 通过上述第一匹配器 46 和供电棒 44 与上部电极 34 连接,利用导通·断开开关 52 能够实现供电的导通·断开。

可变直流电源 50 的极性和电流 • 电压以及导通 • 断开开关 52 的导通 • 断开被控制器 51 所控制。

[0083] 如图 2 所示,第一匹配器 46 具有从第一高频电源 48 的供电线 49 分支设置的第一可变电容器 54、和在供电线 49 的该分支点的下流侧设置的第二可变电容器 56,由此能发挥上述功能。此外,为了能将直流电压电流(以下简称直流电压)有效地供给到上部电极 34,在第一匹配器 46 中设置有用陷波(trap)来自第一高频电源 48 的高频电力(例如 60MHz)和后述的来自第二高频电源的高频电力(例如 2MHz)的滤波器 58。即,来自可变直流电源 50 的直流电流通过滤波器 58 与供电线 49 连接。该滤波器 58 由线圈 59 和电容器 60 构成,这样,来自第一高频电源 48 的高频电力和来自后述的第二高频电源的高频电力被陷波。

[0084] 按照从腔室 10 的侧壁延伸到上部电极 34 的高度位置的上方的方式设置有圆筒状的接地导体 10a,该圆筒状接地导体 10a 的顶壁部分通过筒状的绝缘部件 44a 与上部供电棒 44 电绝缘。

[0085] 在作为下部电极的基座 16 通过第二匹配器 88 与第二高频电源 90 电连接。高频电力从该第二高频电源 90 被供给到下部电极基座 16,由此,偏压被施加在半导体晶片 W 上,离子被引入半导体晶片 W。第二高频电源 90 输出 400kHz ~ 13.56MHz 范围内的频率,例如输出 2MHz 的高频电力。该第二高频电源 90 与控制第二高频电源 90 的 RF 控制器 95 连接。该 RF 控制器 95 进行功率控制,使得来自第二高频电源 90 的高频电力在半导体晶片 W 的被蚀刻膜上堆积沉积膜的第一功率与进行半导体晶片 W 的被蚀刻膜的蚀刻的第二功率之间按照规定的周期进行功率调制,能够在通常的连续模式与功率控制模式之间进行切换。作为功率调制的典型例子,可以列举图 3 所示的脉冲状,但是并非局限于此。此外,在此例子中,脉冲的占空比是 50%。此外,此时的输出电压波形如图 4 所示。一个周期中的最大电压值与最小电压值之差为 V_{pp} 。另外,图 4 中的 P_{set} 表示设定电压。

[0086] 此外,该 RF 控制器 95 也与第二匹配器 88 连接,第二匹配器 88 也受其控制。RF 控制器 95 也与第一高频电源 48 和第一匹配器 46 连接,也能够控制它们。

[0087] 第二匹配器 88 用来使负载阻抗匹配于第二高频电源 90 的内部(或者输出)阻抗,所以当在腔室 10 内生成等离子体时发挥作用,使第二高频电源 90 的内部阻抗与包括腔室 10 内的等离子体的负载阻抗看起来一致。如图 5 所示,该第二匹配器 88 具有从第二高频电源 90 的供电线 96 分支设置的第一可变电容器 97、在供电线 96 的分支点的第二高频电源 90 一侧设置的第二可变电容器 98、和在分支点的相反一侧设置的线圈 99。在本实施方式的情况下,与通常的等离子体蚀刻不同,第二高频电源 90 在高频电力按照规定的周期被调制功率的功率调制模式下工作,因此,在该功率调制模式时,RF 控制器 95 以使第二匹配器 88 中的匹配工作与前述功率调制同步切换的方式进行控制。在此情况下,RF 控制器 95,当使第二高频电力供给单元 90 在功率调制模式下工作时,在第一功率时按照使第二匹配器 88 的工作不进行的方式进行控制,在第二功率时按照使第二匹配器 88 进行第二高频电源 90 的内部阻抗与包括腔室 10 内的等离子体的负载阻抗变得一致的工作的方式进行控制。具体来讲,仅在功率相对大的第二功率时,独立控制第一可变电容器 97 的电容 C1 与第二可变电容器 98 的电容 C2,当在第一功率时,使电容 C1、电容 C2 分别固定。在此情况下,如普通的匹配器那样,由于只在顺方向的功率 P_f 的控制中产生振荡,因此,作为第二匹配器 88,使用附带也添加反射功率 P_r 的负载功率 $PL (= P_f - P_r)$ 控制的匹配器。具体来讲,控制第二高

频电源 90,使得在第一功率时,作为第二高频电源 90 输出的功率值 P_f 、与被包括腔室 10 内的等离子体的负载阻抗所反射的功率值 P_r 之差的,且被供给到作为下部电极的基座 16 的功率值 P_L 通常固定。对于第一高频电源 46,由于受到来自第二高频电源的高频电力被调制功率的影响,因此,优选也同样地作为附带负载功率控制的电源进行同样的控制。

[0088] 上部电极 34 与低通滤波器 (LPF) 92 电连接,该低通滤波器用于不使来自第一高频电源 48 的高频电力 (60MHz) 通过而使来自第二高频电源 90 的高频电力 (2MHz) 接地的。该低通滤波器 (LPF) 92 用 LR 滤波器或者 LC 滤波器构成最佳,但是,仅用 1 根导线就能够向来自第一高频电源 48 的高频电力 (60MHz) 提供足够大的电抗,所以,这样做也可行。另一方面,作为下部电极的基座 16 与用于使来自第一高频电源 48 的高频电力 (60MHz) 接地的高通滤波器 (HPF) 94 电连接。

[0089] 在腔室 10 的底部设置有排气口 80,该排气口 80 通过排气管 82 与排气装置 84 连接。排气装置 84 具有涡轮分子泵等真空泵,能够将腔室 10 内减压至预期的真空度。此外,在腔室 10 的侧壁上设置有半导体晶片 W 的搬入搬出口 85,该搬入搬出口 85 通过闸阀 86 能够开关。沿着腔室 10 的内壁,以自由拆装的方式设置有用于防止蚀刻副产物(沉积物)附着在腔室 10 上的沉积屏障 11。即,沉积屏障 11 构成腔室壁。另外,沉积屏障 11 也被设置在内壁部件 26 的外周。在腔室 10 底部的腔室壁一侧的沉积屏障 11 与内壁部件 26 一侧的沉积屏障 11 之间设置排气板 83。作为沉积屏障 11 和排气板 83,优选能够使用在铝部件上覆盖 Y_2O_3 等陶瓷的部件。

[0090] 在沉积屏障 11 的构成腔室内壁的的部分的与晶片 W 高度基本相同的部分,设置 DC 接地的导电性部件 (GND 块) 91,由此,能够发挥后述的防止异常放电的效果。此外,只要该导电性部件 91 被设置在等离子体生成区域中,其位置并非局限于图 1 的位置,例如,也可以设置在基座 16 的周围等、设置在基座 16 一侧,或者以环状设置在上部电极 34 的外侧等、设置在上部电极附近。

[0091] 等离子体处理装置的各个构成部例如电源系统、气体供给系统、驱动系统、以及 RF 控制器 95 等构成为与控制部(整体控制装置)100 连接并受其控制。控制部 100 与用户接口 101 连接,用户接口 101 由工艺管理者为了管理等等离子体处理装置而进行命令输入操作等的键盘、将等离子体处理装置的工作情况可视化进行显示的显示器等构成。

[0092] 控制部 100 还与存储部 102 连接,在存储部 102 中收纳有用于在控制部 100 的控制下实现在等离子体处理装置中实施的各种处理的控制程序、根据处理条件使在等离子体处理装置的各个构成部中实施处理的程序即方案。方案被存储在存储部 102 中的存储介质中。存储介质既可以是硬盘、半导体存储器,也可以是 CDROM、DVD、闪存等可移动存储介质。或者从其它装置,例如通过专用线路适当地传送方案。

[0093] 并且,在必要的情况下,根据用户接口 101 发出的指令等,从存储部 102 中读取任意的方案并在控制部 100 中执行,由此能够在控制部 100 的控制下,实行在等离子体处理装置中的预期的处理。此外,在本发明的实施方式中所述的等离子体处理装置(等离子体蚀刻装置)包括该控制部 100。

[0094] 当在如上所述方式构成的等离子体处理装置中进行蚀刻处理时,首先,打开闸阀 86,通过搬入搬出口 85 将作为蚀刻对象的半导体晶片 W 搬入腔室 10 内,并将其载置在基座 16 上。接着,从处理气体供给源 66 按照规定的流量将用于蚀刻的处理气体供给到气体扩散

室 40, 通过气体流通孔 41 和气体喷出孔 37 向腔室 10 内供给, 同时, 利用排气装置 84 对腔室 10 内进行排气, 使其内部的压力变成例如 0.1 ~ 150Pa 范围内的设定值。此处, 作为处理气体, 能够采用现有技术中使用的各种气体, 例如, 能够使用 C_4F_8 气体这样的氟碳化合物气体 (C_xF_y) 为代表的含有卤素的气体。此外, 也可以包含 Ar 气体和 O_2 气体等其它气体。

[0095] 如上所述, 在将蚀刻气体导入腔室 10 内的状态下, 从第一高频电源 48 将等离子体生成用的高频电力施加在上部电极 34 上, 并且从第二高频电源 90 将引入离子用的高频电力施加在作为下部电极的基座 16 上。并且, 从可变直流电源 50 将规定的直流电压施加在上部电极 34 上。而且, 从用于静电卡盘 18 的直流电源 22 将直流电压施加在静电卡盘 18 的电极 20 上, 将半导体晶片 W 固定在静电卡盘 18 上。

[0096] 从在上部电极 34 的电极板 36 上形成的气体喷出孔 37 喷出的处理气体, 在由高频电力产生的在上部电极 34 与作为下部电极的基座 16 之间的辉光放电中等离子体化, 半导体晶片 W 的被处理面被由该等离子体生成的自由基和离子蚀刻。此外, 如上所述, 由于将等离子体形成用的第一高频电力供给到上部电极 34, 将离子引入用的第二高频电力供给到作为下部电极的基座 16, 因此, 能够扩大等离子体的控制限制范围。

[0097] 在本实施方式中, 当根据上述方式形成等离子体时, 将 27MHz 以上的高频区域的高频电力供给到上部电极 34, 因此, 不仅能够在优选的状态下使等离子体成为高密度等离子体, 并且在压力更低的条件下, 也能够形成高密度等离子体。

[0098] 当根据上述方式形成等离子体时, 通过控制器 51 控制从可变直流电源 50 施加在上部电极 34 上的直流电压的极性和大小, 可使作为施加电极的上部电极 34 的表面即电极板 36 的表面的自偏压电压 V_{dc} 变深, 达到能够在上述表面获得规定的 (适当的) 溅射效果的程度, 即可使上部电极 34 表面的 V_{dc} 的绝对值增大。在从第一高频电源 48 施加的高频电力的功率低的情况下, 聚合物附着在上部电极 34 上, 但是, 通过从可变直流电源 50 施加适当的直流电压, 由此能够溅射附着在上部电极 34 上的聚合物并清洗上部电极 34 的表面, 并且, 能够在半导体晶片 W 上供给最适量的聚合物。由此, 不仅能够消除光致抗蚀剂膜的表面粗糙, 并且, 能够提高与基底膜之间的蚀刻选择比。

[0099] 此外, 通过对上部电极 34 施加直流电压, 溅射上部电极 34 本身在光致抗蚀剂膜表面形成碳化物强化光致抗蚀剂膜、通过自偏压电压 V_{dc} 加深, 在上部电极 34 一侧形成的等离子体层的厚度变厚等离子体被缩小导致的、半导体晶片 W 上的实际驻留时间增加以及等离子体在晶片 W 上集中导致的离解空间的减少, 由此, 伴随抑制氟碳化合物类的处理气体的离解同时提高光致抗蚀剂膜的耐蚀刻性这样的效果也能够获得。另外, 通过在上部电极 34 上施加直流电压, 在上部电极 34 附近生成的电子向处理空间的铅直方向加速, 也能够获得抑制阴影 (shading) 效应得到没有弯曲的良好的加工形状这样的效果。此外, 除控制来自可变直流电源 50 的施加电压之外, 也可以控制施加电流或者施加电力。

[0100] 如上所述, 通过在上部电极 34 上施加直流电压, 能够获得各种效果, 特别是通过向作为被处理基板的半导体晶片 W 适当地供给聚合物的效果, 能够增大被蚀刻膜与基底的蚀刻阻止膜的选择比, 但是, 当将作为低介电率势垒膜的 SiC 膜用作基底蚀刻阻止膜, 蚀刻作为上层的被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜的情况下, 由于两者的组成成分极其接近, 因此, 即使按照上述方式施加直流电压, 能够确保足够蚀刻选择比的条件的限制范围也极狭窄。

[0101] 具体来讲, 图 6 是横坐标为从第二高频电源 90 施加的偏压用高频电力 (13.56MHz)

的自偏压电压 V_{dc} ，纵坐标为蚀刻速率时，SiOC 类 Low-k 膜与 SiC 膜的蚀刻特性的坐标图。此时，作为处理气体使用 C_4F_8 、Ar、 N_2 ，它们的流量分别是 10mL/min(sccm)、500mL/min(sccm)、100mL/min(sccm)，压力为 6Pa，作为第一高频电源 48 使用频率为 60MHz 的电源，其功率为 1000W，作为第二高频电源 90 使用频率为 13.56MHz 的电源，其功率为 2000W。当在腔室内生成等离子体时，那么就会从上部电极对半导体晶片供给聚合物，如果未施加偏压，那么就会产生沉积，但是如果提高自偏压电压 V_{dc} 的绝对值，那么蚀刻继续进行。此时，为了高精度地蚀刻 SiOC 类 Low-k 膜，求出 SiOC 类膜 Low-k 被蚀刻，且基底的 SiC 膜未被蚀刻的 V_{dc} 。但是，由于 SiOC 类 Low-k 膜与 SiC 膜的组成成分接近，因此，如图所示，蚀刻动态类似，在通常的蚀刻中，能够实施用以获得高选择比的蚀刻的限制范围极小，难以提高蚀刻速率。

[0102] 通过在蚀刻对象膜上施加偏压并引入离子进行蚀刻，但是，如上所述，聚合物被供给并堆积在蚀刻对象膜上，因此，为了继续进行蚀刻，必需选择 V_{dc} （入射晶片的离子能量），以使离子侵入的深度大于聚合物的厚度。另一方面，在蚀刻对象膜被蚀刻后，如果被堆积在基底膜上的聚合物的厚度比离子侵入深度厚，那么，基底膜的蚀刻就会停止，实现选择性高的蚀刻。但是，如图 6 所示，当蚀刻动态在被蚀刻膜与基底膜中接近的情况下，如果以高蚀刻速率蚀刻被蚀刻膜后连续实施过蚀刻，那么在被蚀刻膜脱落的时刻，基底膜上的聚合物的厚度变得比离子侵入深度薄，基底膜被蚀刻。

[0103] 因此，在本实施方式中，在被蚀刻膜上堆积聚合物的第一功率与蚀刻被处理基板的被蚀刻膜的第二功率之间按照规定的周期进行功率调制，使得在被蚀刻膜脱落的时刻，即在被蚀刻膜被蚀刻进入过蚀刻的时刻，使聚合物的厚度比离子侵入的深度厚。此时，根据控制部 100 的指令，RF 控制器 95 将第二高频电源 90 从通常的模式切换至功率调制模式。由此，用第一功率堆积聚合物，用第二功率进行蚀刻，在过蚀刻开始时形成厚度比离子侵入深度厚的聚合物层，于是，不会使蚀刻阻挡膜受到很大侵蚀，能够使蚀刻停止。

[0104] 参照附图，对以上情况进行详细的说明。

[0105] 此处，关于在 Cu 配线层 201 上形成有作为蚀刻阻挡膜的 SiC 膜 202，在其上形成有作为被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜 203，将光致抗蚀剂膜 204 作为掩模对 SiOC 类 Low-k 膜 203 进行蚀刻的情况进行说明。

[0106] 首先，在现有技术的连续模式下，从图 7(a) 所示的主蚀刻末期的状态至图 7(b) 所示的 SiOC 类 Low-k 膜 203 脱落的瞬间（开始过蚀刻的瞬间），在孔洞底的基底的 SiC 膜 202 上形成的聚合物层 205 的厚度薄，SiC 膜 202 被蚀刻侵蚀。接着，如图 7(c) 所示，在 SiC 膜 202 膜受到很大侵蚀的时刻，过蚀刻达到饱和状态（过蚀刻 25%）。

[0107] 相对于此，通过在图 7(a) 所示的主蚀刻末期的状态下切换为功率调制模式，在图 7(d) 所示的过蚀刻瞬间的第一功率时，孔洞底的 SiC 膜 202 上的聚合物层 205 的厚度变厚，如图 7(e) 所示，即使之后变成第二功率的蚀刻模式，离子侵入深度也变得比聚合物层 205 的厚度小，因此，如图 7(f) 所示，作为蚀刻阻挡膜的 SiC 膜 202 几乎不会受到侵蚀。

[0108] 图 8 是横坐标为偏压功率且纵坐标为聚合物层厚度，示意性地概括表示上述现象的坐标图。在图 8 中也画出离子侵入聚合物层 205 或者 SiC 膜 202 中的深度（比例尺与聚合物深度相同）。如该图所示，在连续模式下，在 SiOC 类 Low-k 膜 203 与 SiC 膜 202 的蚀刻特性类似的关系的基础上，如上所述，离子的侵入深度比 SiC 膜 202 上的聚合物层 205 的厚度小，SiC 膜 202 未被侵蚀的区域极窄，而且，必需减小偏压功率降低 SiOC 类 Low-k 膜 203

的蚀刻速率,但是,如果在紧接着过蚀刻之前对偏压功率进行功率调制的情况下,那么,就能够扩大 SiC 膜 202 未被侵蚀的区域,而且,能够增大偏压功率,提高 SiOC 类 Low-k 膜 203 的蚀刻速率。

[0109] 与图 6 所示的连续模式相比,图 9 表示使用上述偏压的功率调制时的工艺限制范围。如该图所示,通过在紧接着过蚀刻之前使用功率调制,工艺限制范围扩大,而且即使 Vdc 是接近 -800V 附近的高蚀刻速率的蚀刻,也能够几乎不会蚀刻基底的 SiC 膜地蚀刻作为蚀刻对象膜的 SiOC 类 Low-k 膜。即,能够在相对于基底膜的选择比高且以高蚀刻速率的条件下蚀刻作为蚀刻对象膜的 SiOC 类 Low-k 膜。

[0110] 图 10 是针对每种离子照射能量表示聚合物膜厚与离子 (Ar 离子) 的吸收能量两者关系的模拟结果的图表。可知在通常的蚀刻情况下,离子照射能量分布大部分在 500eV ~ 1keV 的范围,由图 10 可知,由于聚合物的厚度为 1keV 时离子能量吸收范围不超过大约 5nm,因此,如果聚合物的厚度为数 nm 以上,最好是 5nm 以上,那么,就能使离子的侵入深度比聚合物层的厚度小。

[0111] 在本实施方式中,作为对来自第二高频电源 90 的高频电力进行功率调制时的波形的典型例子,可以列举上述的脉冲状。但是,并非局限于此,如果用第一功率和第二功率进行调制,那么,也可以是正弦曲线等其它的波形。

[0112] 当功率调制时,优选功率低的第一功率大于 0。与功率为 0 相比,保持一定程度的功率能够有效地供给聚合物的沉积。第一功率和第二功率是根据其它的蚀刻条件和膜的条件等适当设定的,但是,第一功率优选是 10 ~ 500W 的范围,第二功率优选是 100 ~ 5000W 的范围。而且,第二功率更为优选的是 100 ~ 1000W 的范围。

[0113] 功率调制的频率优选是 0.25 ~ 100Hz。在此范围,聚合物层的生成是适当的范围。即,在功率调制(脉冲)的占空比为 50% 的情况下,如果频率超过 100Hz,那么产生聚合物的沉积的第一功率的时间在一个周期未满足 10ms,有可能难以形成充分的沉积,如果频率未满足 0.25Hz,那么每一个周期的第一功率的时间超过 2s,聚合物层有可能过厚。

[0114] 作为功率调制(脉冲)的占空比(第二功率的时间 / 一个周期的全部时间)的典型例子,可以列举 50%,但是,也可以根据蚀刻条件和被蚀刻膜以及基底膜的条件等,在 1 ~ 99% 之间适当调整。

[0115] 当进行蚀刻时,首先,在不调制偏压功率的通常模式下,按照高蚀刻速率蚀刻被蚀刻膜,在被蚀刻膜的蚀刻结束前,将偏压功率切换至上述的功率调制模式,但是,必需在被蚀刻膜被蚀刻而能够看到基底膜时形成适量的聚合物层的时刻进行这种切换。如果在马上将要进入过蚀刻之前切换至功率调制模式,那么在过蚀刻时聚合物的厚度就会不够充分,反之,在过早切换的情况下,蚀刻速率就会降低。因此,为了确保在能看见基底膜时能够形成适量的聚合物层的时间,优选在尽可能接近进入过蚀刻的时刻的时刻,也优选根据蚀刻条件等,在被蚀刻膜的残膜变成 20 ~ 30nm 的时刻进行切换。

[0116] 在这种功率调制模式下进行蚀刻时,通过从可变直流电源 50 对上部电极 34 施加直流电压,这样就能够获得上述聚合物供给的效果,因此,从确保聚合物层的观点来看非常有利。另外在未施加直流电压时,通过调制偏压功率,从第一高频电源施加在上部电极 34 上的等离子体生成用的高频电力的反射波增大,等离子体有可能变得不稳定。在此,通过从可变直流电源 50 对上部电极 34 施加直流电压,在上部电极 34 一侧形成的等离子体层

(sheath) 的厚度固定,因此,被施加在上部电极 34 上的等离子体生成用的高频电力的反射波减少,能够使等离子体稳定。由此,能够提高工艺的稳定性和第一高频电源 48 的寿命,从这一点来看施加直流电压也非常有利。

[0117] 被施加在上部电极 34 上的直流电压根据蚀刻条件被适当设定,但是,通常的连续模式的情况下与功率调制模式情况下都优选在 $-300 \sim -2\text{kV}$ 的范围。

[0118] 此外,从第一高频电源 48 施加在上部电极 34 上的高频电力的频率,和从第二高频电源 90 施加在基座 16 上的高频电力的频率的优选范围,并不受通常的连续模式的情况和功率调制模式的情况的影响,如上所述,前者优选在 $27 \sim 100\text{MHz}$ 的范围,后者优选在 $400\text{kHz} \sim 13.56\text{MHz}$ 的范围。此外,无论是在通常的连续模式下,还是在功率调制模式下,从第一高频电源 48 供给的高频电力的功率都优选为 $500 \sim 5000\text{W}$ 的范围。并且,在通常的连续模式下,来自第二高频电源 90 的偏压用高频电力的功率优选是 $500 \sim 5000\text{W}$ 的范围。

[0119] 下面,对确认本实施方式的效果的实验进行说明。

[0120] 此处,在形成 30nm 的作为基底膜的 SiC 膜后,在其上形成 300nm 的作为蚀刻对象膜的 SiOC 类 Low-k 膜,在其上形成 BARC 和被形成图形的 ArF 抗蚀剂膜,利用该样品,首先,在将 ArF 抗蚀剂膜用作掩模蚀刻 BARC 后,蚀刻 SiOC 类 Low-k 膜形成通孔。

[0121] 蚀刻时的条件如下所述。此外,关于过蚀刻,对于按照本实施方式在功率调制模式下施加的情况(实施例)、和如现有技术那样在连续模式下施加偏压的情况下(比较例)进行。

[0122] (1) 主蚀刻(连续模式)

[0123] 腔室内压力 : 6.65Pa (50mT)

[0124] 上部施加高频功率 (60MHz) : 400W

[0125] 下部施加高频功率 (400kHz) : 500W

[0126] 处理气体和流量 : $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}/\text{N}_2 = 4/1000/500\text{mL}/\text{min}(\text{sccm})$

[0127] 上部直流电压 : -900V

[0128] 时间 : 60sec

[0129] (2) 过蚀刻

[0130] (a) 实施例

[0131] 腔室内压力 : 6.65Pa (50mT)

[0132] 上部施加高频功率 (60MHz) : 400W

[0133] 下部施加高频功率 (400kHz) : 按照 $100\text{W}/800\text{W}$ 调制

[0134] 功率调制时的脉冲参数

[0135] 频率 : 15.0Hz

[0136] 占空比 : 50%

[0137] V_{pp} : 1.4V

[0138] 处理气体和流量 : $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}/\text{N}_2 = 8/1000/80\text{mL}/\text{min}(\text{sccm})$

[0139] 上部直流电压 : -900V

[0140] (b) 比较例

[0141] 腔室内压力 : 6.65Pa (50mT)

[0142] 上部施加高频功率 (60MHz) : 400W

[0143] 下部施加高频功率 (400kHz) :800W

[0144] 处理气体和流量 : $C_4F_8/Ar/N_2 = 4/1000/500\text{mL/min (sccm)}$

[0145] 上部直流电压 : -900V

[0146] (3) 公共条件

[0147] 温度 : 上部电极 / 晶片 / 下部电极 = 60/60/0℃

[0148] 在这些条件下实施蚀刻后,将样品在 1% 的 HF 水溶液中浸泡 30 秒,掌握 SiC 的侵蚀量。此外,从实施例中的偏压功率施加的通常模式切换至功率调制模式设定为从过蚀刻开始时的 30sec 前。

[0149] 图 11 表示结果。图 11 是横坐标为过蚀刻的时间,纵坐标为 SiC 膜的侵蚀量 (nm) 的实施例与比较例的对比图。如该图所示,可以确认,在比较例的情况下,过蚀刻开始后即刻侵蚀至 9nm 左右,与此相对在实施例的情况下,在初期被侵蚀 3nm 左右后,在过蚀刻至 40% 为止基本一定为饱和状态。由此可以确认本实施方式的偏压的功率调制模式的效果。

[0150] 在本实施方式中,作为被蚀刻膜举例表示了 SiOC 类 (有机类) 的 Low-k 膜,但是,当然也可以是无机类的 Low-k 膜。另外,作为基底膜举例表示了 SiC 膜,但例如也可以是氮化硅膜 (SiN)。此外,在本实施方式中,举例表示了作为被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜,作为基底膜的 SiC 膜的组合,但是,在被蚀刻膜相对于基底膜难以取得选择比的全部情况下均能适用。另外,在上述实施方式中,表示了将偏压从连续模式切换至功率调制模式的情况,但是,只要能够获得充分的蚀刻速率,也可以只采用功率调制模式。

[0151] 下面,对本实施方式中的其它应用例子进行说明。

[0152] 此处,关于为了提高相对于被蚀刻膜的掩模的选择比,使用上述功率调制模式的例子进行说明。

[0153] 图 12 是表示用于在本例中应用的半导体晶片的构造的断面图。符号 301 是 Low-k 膜,在其上形成作为硬质掩模层的 TiN 膜 302,在其上形成无机牺牲膜 303 和光致抗蚀剂膜 304。作为硬质掩模,也可以取代 TiN 而使用 Ti 膜。在这种构造中,在将 TiN 膜 302 用作掩模蚀刻 Low-k 膜 301 形成孔 305 的情况下,优选相对于 TiN 膜 302 以大的选择比进行蚀刻。为此,按照成为相对于 Low-k 膜 301 进行蚀刻,相对于 TiN 膜 302 聚合物的堆积多蚀刻难以进行的这样条件下的功率调制模式的方式,控制第二高频电源 90 同时进行蚀刻非常有效。

[0154] 下面,对本实施方式的其它应用例子进行说明。

[0155] 此处,关于为了缓解微负载效应而使用上述功率调制模式的例子进行说明。

[0156] 如图 13 所示,在基底膜 401 上形成作为蚀刻阻止膜的 SiC 膜 402,在其上形成作为被蚀刻膜的 SiOC 类 Low-k 膜 403,将光致抗蚀剂膜 404 作为掩模,在 SiOC 类 Low-k 膜 403 上蚀刻小尺寸的通孔 405 与例如引导环 (GR) 等大区域的沟道 406,在此情况下,具有由于微负载效应,CF 类自由基难以进入尺寸小的通孔 405,其蚀刻速率变慢,相反,在尺寸大的沟道 406 中蚀刻速度加快的趋势。

[0157] 为了抑制这种微负载效应,在上述功率调制模式下,施加偏压同时进行蚀刻的方法很有效。通过在这种功率调制模式下施加偏压,仅大区域的沟道 406 的蚀刻速率受到抑制,从而能够缓解微负载效应。具体来讲,如上所述,以在功率调制模式中作为高功率的第二功率实施蚀刻,以作为低功率的第一功率堆积 CF 类前驱体 (precursor) 抑制蚀刻,但是,这种蚀刻抑制效果在蚀刻区域大的沟道 406 中更大地发挥,因此,通孔 405 和沟道 406 的蚀

刻速率之差变小,微负载效应得以缓解。

[0158] 下面,对实际应用本应用例的结果进行说明。

[0159] 此处,作为蚀刻对象膜使用 SiOC 类 Low-k 膜,蚀刻图 14A、图 14B、图 14C 所示的尺寸的椭圆形通孔、圆形小通孔、沟道 (GR)。接着,对下部施加高频电力功率调制模式下的情况与连续模式下的情况进行比较。此时的条件如下所述。

[0160] (1) 公共条件

[0161] 腔室内压力 :6.65Pa (50mT)

[0162] 上部施加高频功率 (60MHz) :400W

[0163] 上部直流电压 : -900V

[0164] 温度 :上部电极 / 晶片 / 下部电极 = 60/60/0℃

[0165] 处理气体和流量 :C₄F₈/Ar/N₂ = 10/1000/100mL/min (sccm)

[0166] 时间 :30sec

[0167] (2) 功率调制模式

[0168] 下部施加高频功率 (13.56MHz) :按照 100W/700W 调制

[0169] 功率调制时的脉冲参数

[0170] 频率 :15.0Hz

[0171] 占空比 :50%

[0172] (3) 连续模式

[0173] 下部施加高频功率 (13.56MHz) :连续施加 700W

[0174] 表 1 概括表示进行这些蚀刻时的中心和边缘的蚀刻速率。另外,表 2 表示图 14A 的椭圆形通孔的蚀刻速率为 1.0 时的标准化结果。图 15 表示将表 2 制成图表后的结果。

[0175] 【表 1】

[0176] 单位 :nm/min

[0177]

		孔洞形状		
		(a)	(b)	(c)
连续模式 (700W)	中心	143	152	241
	边缘	117	117	207
功率调制模式 (100/700W)	中心	94	80	81
	边缘	84	64	117

[0178] 【表 2】

[0179] 单位 :nm/min

[0180]

		孔形状			最大-最小
		(a)	(b)	(c)	
连续模式	中心	1.0	1.1	1.7	0.69
(700W)	边缘	1.0	1.0	1.8	0.77
功率调制 模式 (100/700 W)	中心	1.0	0.9	0.9	0.15
	边缘	1.0	0.8	1.4	0.63

[0181] 由表中可以确认,当在连续模式下向下部电极施加高频偏压的情况下,大区域的沟道 (GR) 的蚀刻速率与椭圆形通孔和小通孔相比变大,产生微负载效应,通过将高频偏压切换成功率调制模式,由此,沟道 (GR) 的蚀刻速率与其它相比下降很多,确认微负载效应得以缓解。

[0182] 但是,在本实施方式中,在使第二高频电源 90 处于功率调制模式下形成等离子体的情况下,为了进一步可靠地维持等离子体,优选在等离子体激发时,在同一功率的连续模式下使第二高频电源 90 工作,在此之后使其在功率调制模式下工作。在该情况下,高频电力和直流电压的施加时机和施加方法也会成为问题。下面,参照图 16 ~ 图 18,对高频电力和直流电压的优选施加时机和施加方法进行说明。

[0183] 在图 16 的例子中,从第二高频电源 90 以比高功率的第二功率低的功率在连续模式下开始向作为下部电极的基座 16 供给高频电力,在经过规定时间后的时刻 T1,从第一高频电源 48 对上部电极 34 施加高频电力。与此同时,从可变直流电源 50 对上部电极 34 施加直流电压。在该状态下,等离子体激发,在等离子体变得稳定的时刻 T2,将第二高频电源 90 变成功率调制模式。由此,由于在等离子体变得稳定后采用功率调制模式,因此,即使在供给如功率调制模式中的第一功率那样的低功率的情况下,也能够可靠地维持等离子体。此外,这些控制是通过 RF 控制器 95 进行。在以下的图 17 和图 18 的例子中也同样。

[0184] 在图 17 的例子中,使第二高频电源 90 的功率缓慢上升至高功率的第二功率值,然后转变成功率调制模式。此外,也缓慢上升可变直流电源 50 的直流电压。于是,通过缓慢上升,能够降低对晶片和电源的损伤。此外,也可以缓慢上升它们中的任意一个。

[0185] 在图 18 的例子中,首先,从第二高频电源 90 以比高功率的第二功率低的功率在连续模式下开始向作为下部电极的基座 16 供给高频电力,在经过规定时间后的时刻 T1',从第一高频电源 48 对上部电极 34 施加低于设定值的高频电力。与此同时,从可变直流电源 50 对上部电极 34 施加直流电压。在该状态下,等离子体激发,在等离子体变得稳定的时刻 T2',使第一高频电源 48 升高至设定值,使第二高频电源 90 的功率升高至规定值 (例如第二功率的值)。在该情况下,如图所示,优选缓慢上升第二高频电源 90 的功率。然后,在时刻 T2' 以后的规定时刻,使第二高频电源 90 转变成功率调制模式。由此,由于在等离子体变得稳定后采用功率调制模式,因此,即使在供给如功率调制模式中的第一功率那样的低功率的情况下,也能可靠地维持等离子体。此外,在本例子中,也可以缓慢上升可变直流电

源 50 的直流电压。

[0186] 下面,关于第二高频电源 90 和第一高频电源 48 均使用功率调制模式的例子进行说明。

[0187] 从等离子体的稳定性等观点来看也考虑以下情况,当第二高频电源 90 使用功率调制模式时,第一高频电源 48 优选也使用功率调制模式。此时,RF 控制器 95 进行控制不仅使第二高频电源 90 进行功率调制,也使第一高频电源 48 进行功率调制。具体的控制方式是,使第一高频电源 48 与第二高频电源 90 的功率调制模式同步,在第三功率与第四功率之间进行功率调制。在该情况下,既可以如图 19A 所示,在第一高频电源 48 与第二高频电源 90 中,使高功率与低功率成为相同的时刻,也可以如图 19B 所示,在第一高频电源 48 与第二高频电源 90 中,使高功率与低功率成为相反的时刻。

[0188] 下面,对本发明的第二实施方式进行说明。

[0189] 图 20 是表示本发明的第二实施方式中的等离子体蚀刻装置的概略断面图。

[0190] 该等离子体蚀刻装置,在等离子体生成用的高频电力被施加在作为下部电极的基座上这一点与上述第一实施方式中的等离子体蚀刻装置不同,关于其它的构造,基本上与第一实施方式的等离子体蚀刻装置相同,在图 20 中,对于与图 1 相同的构件标注相同的符号,并省略其说明。

[0191] 在本实施方式中,作为下部电极的基座 16 与用于生成等离子体的第一高频电源 48' 和用于施加偏压引入离子的第二高频电源 90 两者连接。第一高频电源 48' 通过第一匹配器 89 与基座 16 连接,第一匹配器 89 具有与第二匹配器 88 相同的构造,其功能在于,当在腔室 10 内生成等离子体时,使第一高频电源 48' 的输出阻抗与负载阻抗看起来一致。第一高频电源 48' 具有与第一实施方式的第一高频电源 48 相同的功能,其频率优选在 27 ~ 100MHz 的范围。

[0192] 另一方面,上部电极 34 不与高频电源连接,可变直流电源 50 通过低通滤波器 (LPF) 46a 与上部电极 34 连接。低通滤波器 (LPF) 46a 用于阻止来自第一以及第二高频电源的高频,适当的是由 LR 滤波器或者 LC 滤波器构成。

[0193] 在本实施方式中,表示出对下部电极施加等离子体形成用的第一高频 (RF) 电力和离子引入用的第二高频 (RF) 电力的下部 RF 双频施加型等离子体蚀刻装置,与其它的电容器耦合型等离子体蚀刻装置相比,其优点可以列举以下几点。

[0194] 首先,在本实施方式中,通过对下部电极施加等离子体形成用的高频电力,能够在更接近晶片的位置形成等离子体,并且,等离子体不会扩散至较广的区域,能够抑制处理气体的离解,因此,即使在处理容器内的压力高等离子体密度低这样的条件下,也能够提高对于晶片的蚀刻速率。此外,即使在等离子体形成用的高频电力的频率高的情况下,也能够确保比较大的离子能量,因此效率很高。与此相对,如第一实施方式所述,在对上部电极施加等离子体形成用的高频电力的情况下,由于在上部电极附近生成等离子体,因此,在处理容器内的压力高等离子体密度低这样的条件下,提高对于晶片的蚀刻速率比较困难。

[0195] 另外,如本实施方式所述,通过分别对下部电极施加等离子体形成用的高频电力与离子引入用的高频电力,与对下部电极施加单一频率的高频电力类型的装置不同,能够独立地控制等离子体蚀刻所需的等离子体形成的功能和离子引入的功能。因此,能够满足要求高精细加工性的蚀刻的条件。

[0196] 在本实施方式中,以具有上述这种功能的双频施加型等离子体蚀刻装置作为基本,通过向上部电极施加直流电压发挥上述功能,所以,能够实现适合于近几年的蚀刻精细加工的更高性能的蚀刻,并且与第一实施方式同样,通过进行偏压用的高频的功率调制,由此,即使如 SiOC 类 Low-k 膜与 SiC 膜的组合那样在被蚀刻膜与基底膜中组成接近的情况下,也能够以高选择比和高蚀刻速率进行蚀刻。

[0197] 在本实施方式中,与第一实施方式同样,在将 SiC 膜用作基底膜蚀刻 SiOC 膜的情况等希望提高被蚀刻膜与基底膜的选择比的情况下、或者将 TiN 膜用作掩模蚀刻 Low-k 膜的情况等对于掩模进行选择性的蚀刻的情况下能够应用,也能够缓解微负载效应的应用。此外,也能够用于图 16 ~ 图 18 中表示的等离子体激发程序,还能够使第一高频电源 48' 在功率调制模式下工作。此外,在本实施方式中,作为被蚀刻膜举例表示了 SiOC 类(有机类)的 Low-k 膜,当然也可以是无机类 Low-k 膜。另外,作为基底膜举例表示了 SiC 膜,例如也可以是氮化硅膜(SiN)。此外,在本实施方式中,举例表示了 SiOC 类 Low-k 膜用作被蚀刻膜, SiC 膜用作基底膜的组合,但是,在被蚀刻膜相对于基底膜难以获得选择比的全体情况下都能够应用。

[0198] 在上述任意一个实施方式中,举例表示上述第一高频电力和第二高频电力的使用频率,那么,作为第一高频电力可以列举 27MHz、40MHz、60MHz、80MHz、100MHz,作为第二高频电力可以列举 400kHz、800kHz、1MHz、2MHz、3.2MHz、12.88MHz、13.56MHz,也可以根据工艺使用适当的组合。

[0199] 以上对本发明的实施方式进行了说明,但是,本发明并非局限于上述实施方式,可以进行各种各样的变形。例如,在上述实施方式中,举例表示了对上部电极施加直流电压,但是,直流电压的施加不是必须的。

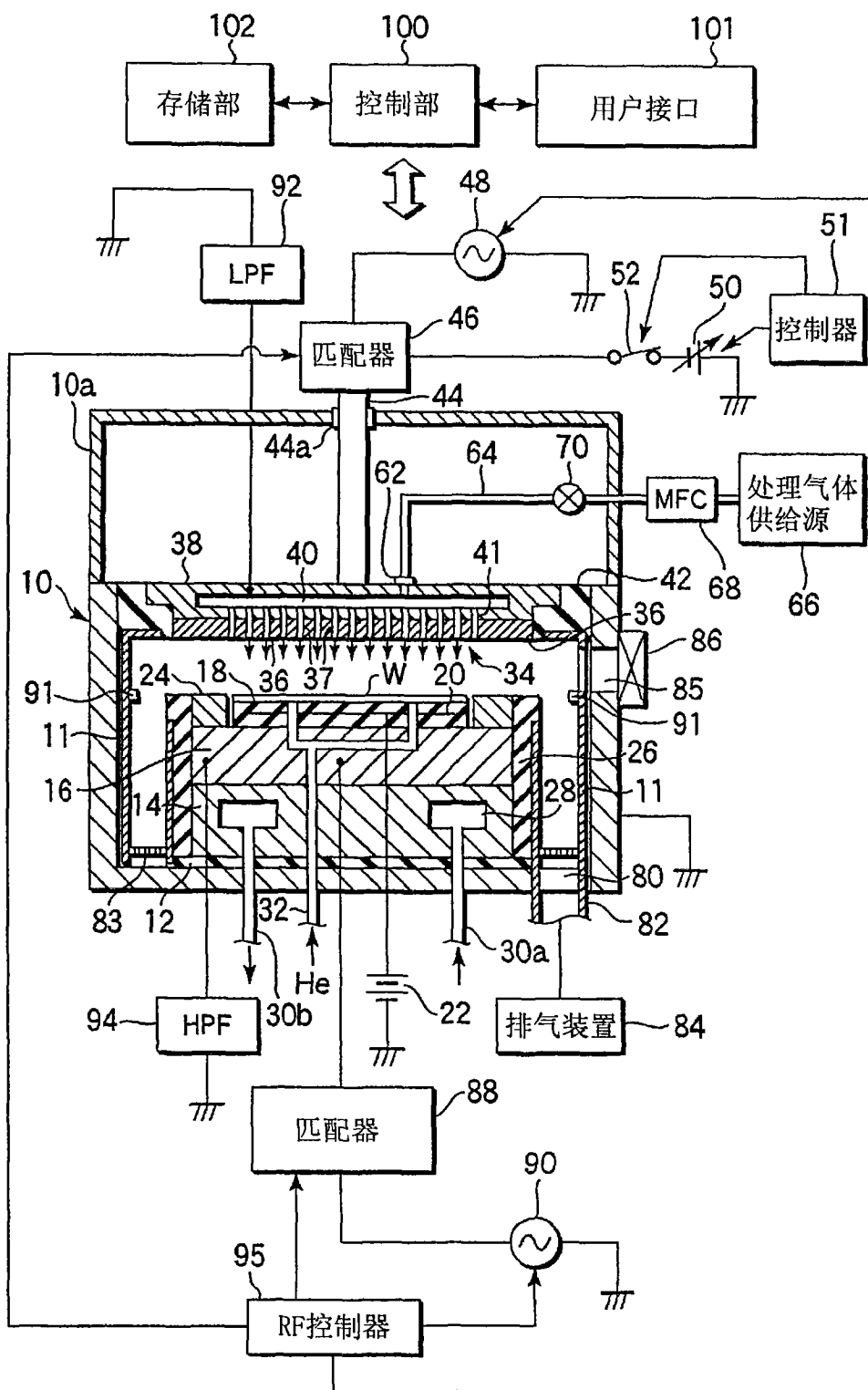


图 1

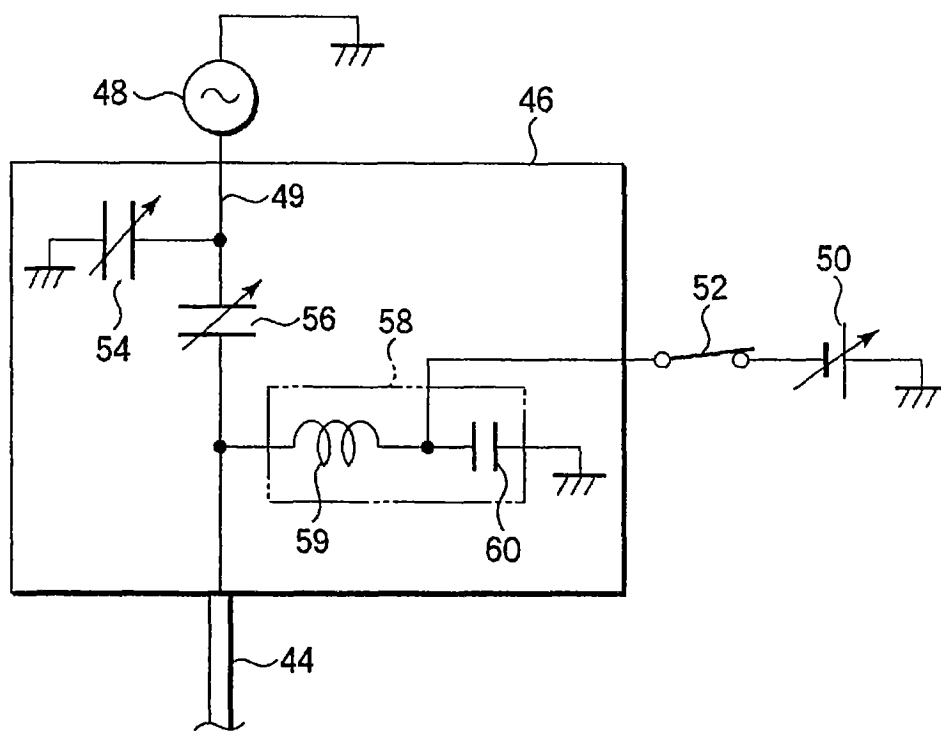


图 2

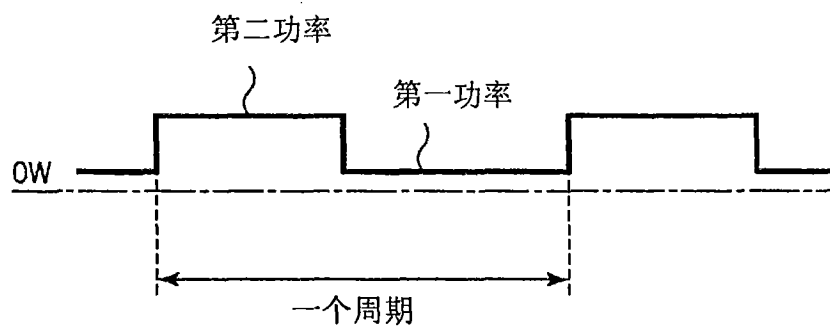


图 3

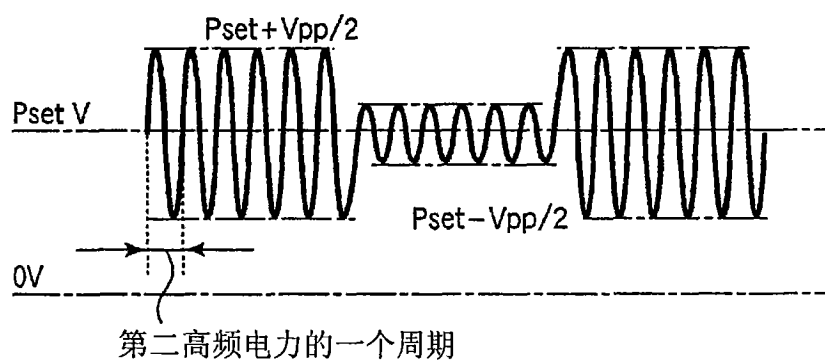


图 4

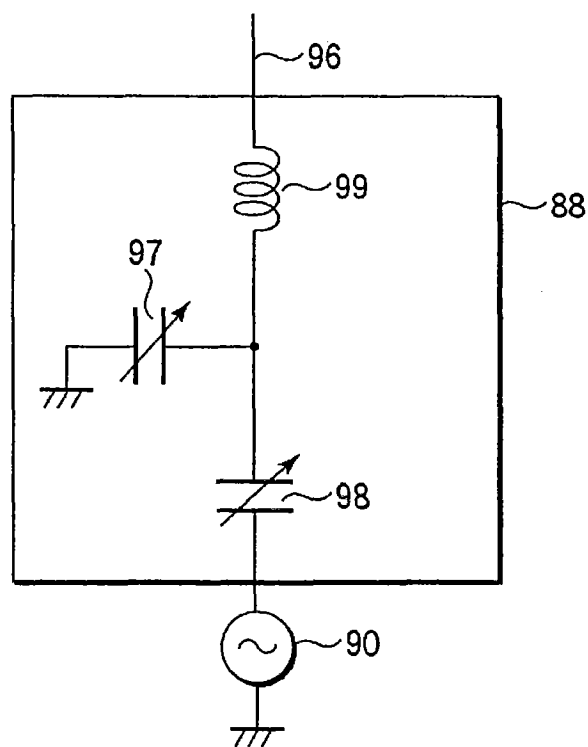


图 5

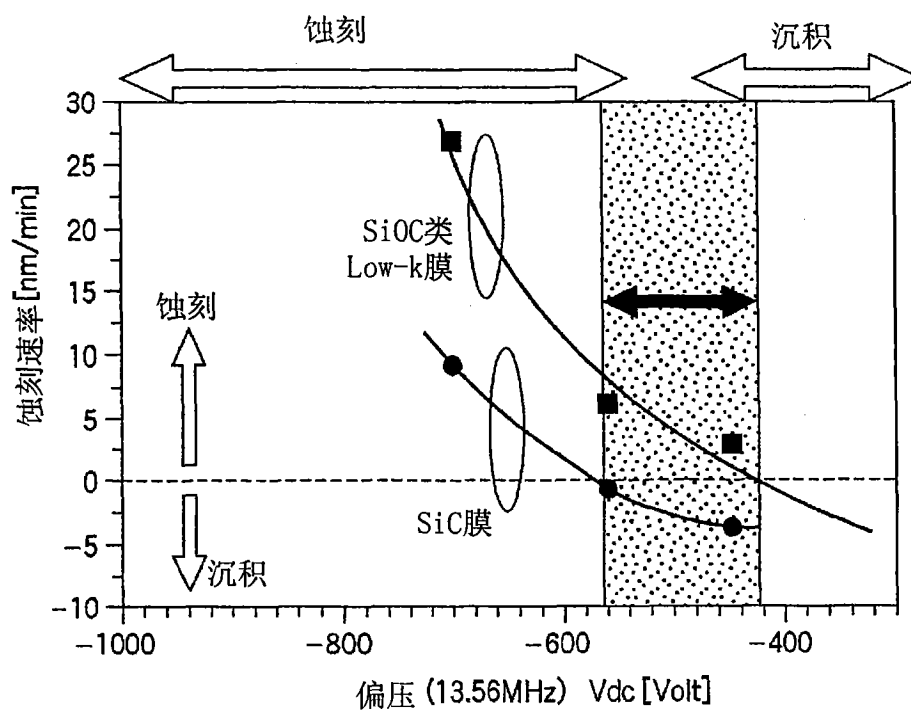


图 6

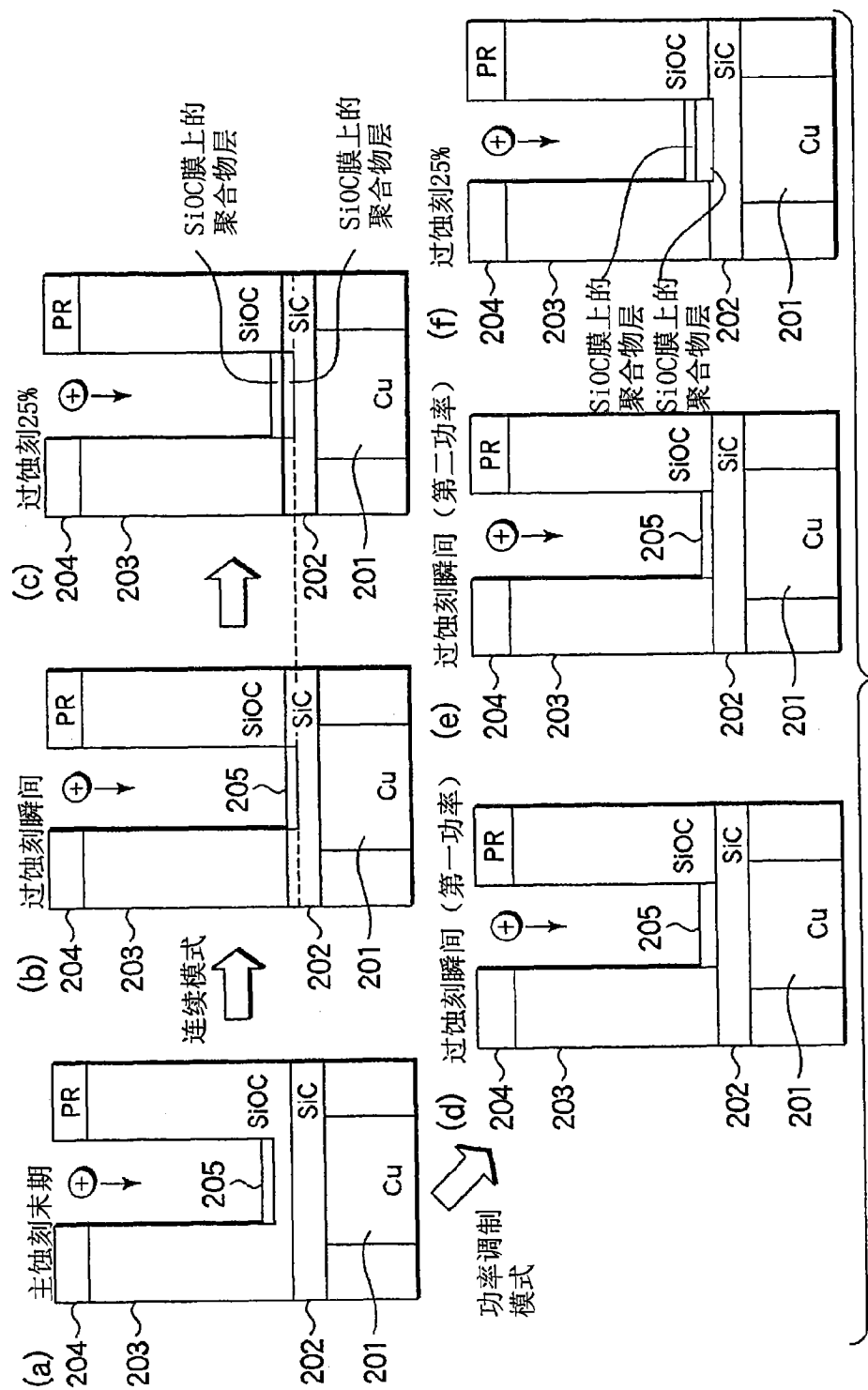


图7

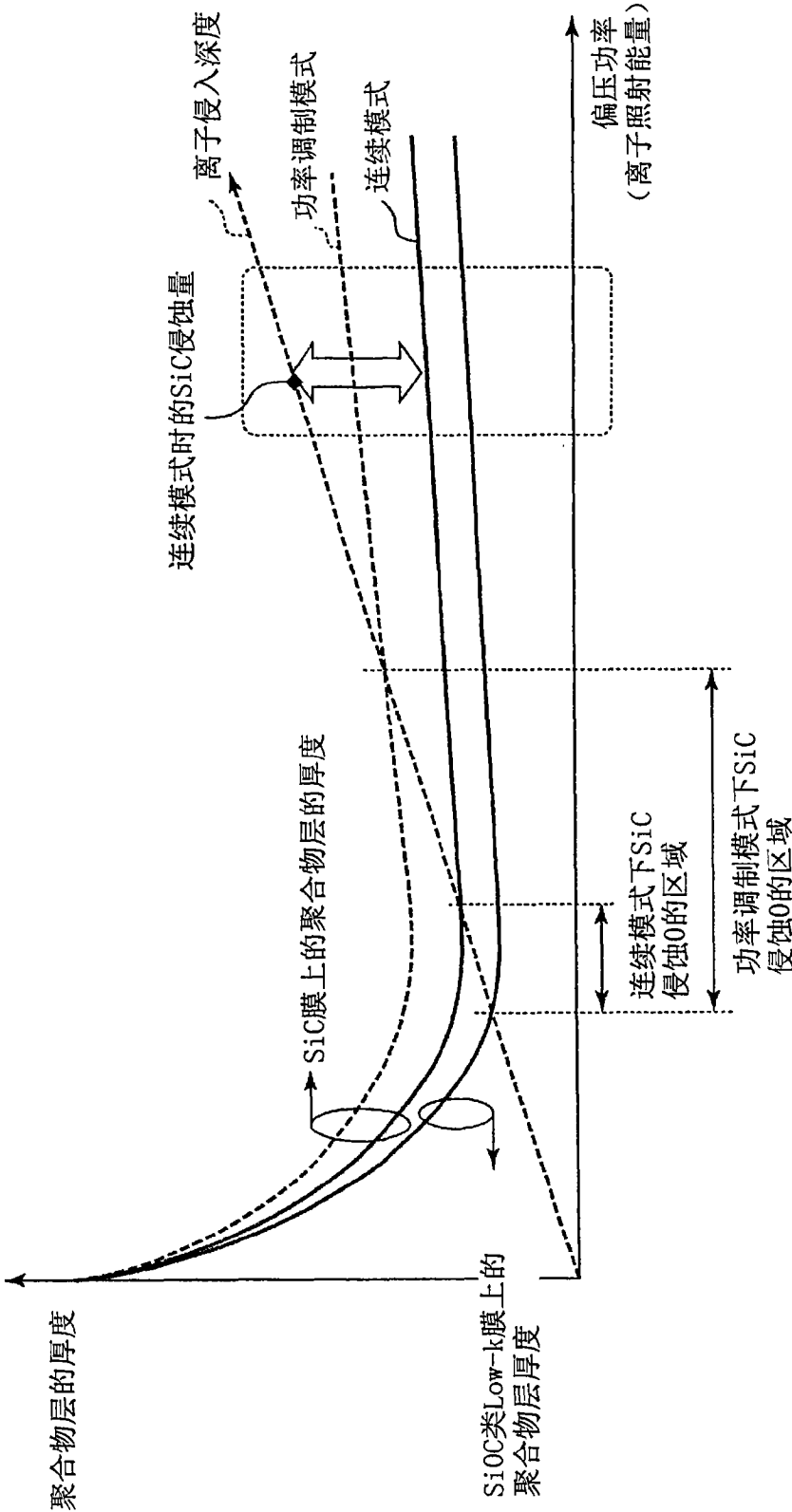


图8

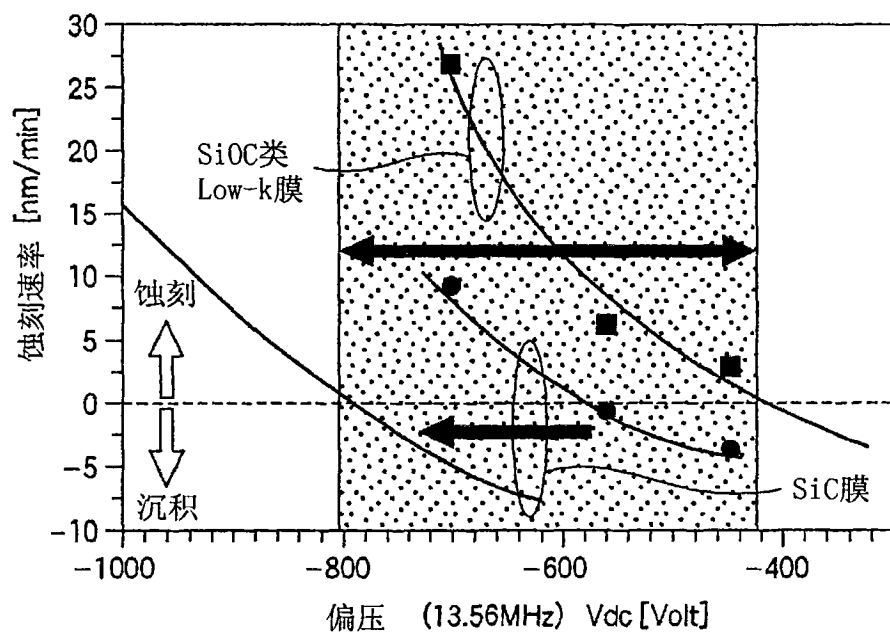


图 9

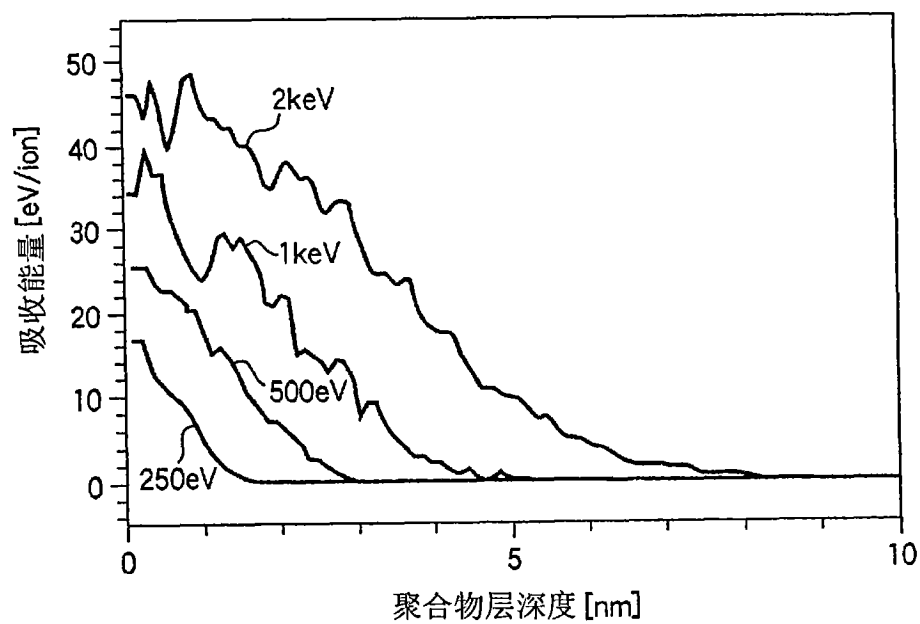


图 10

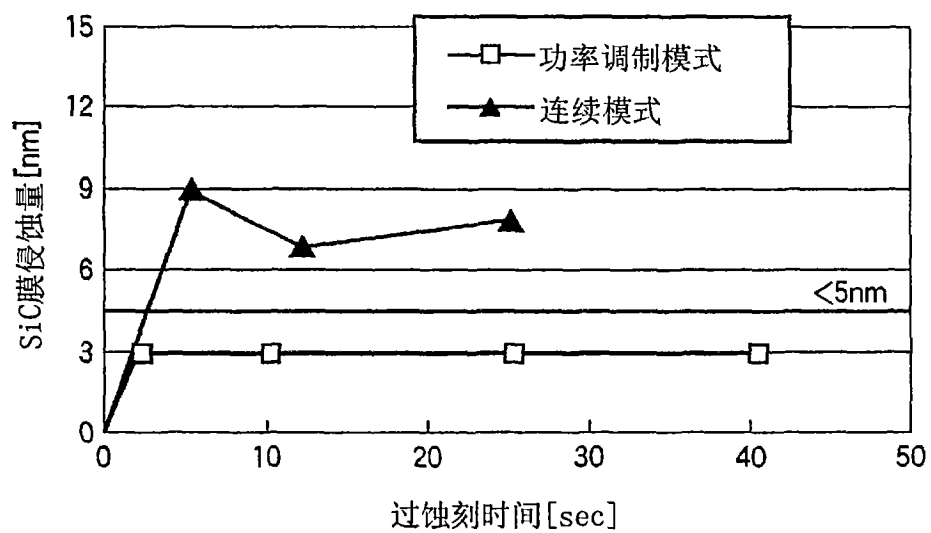


图 11

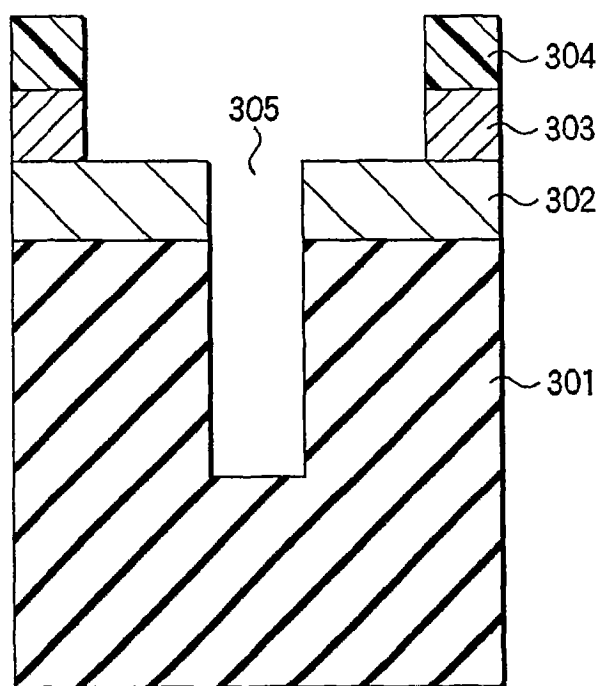


图 12

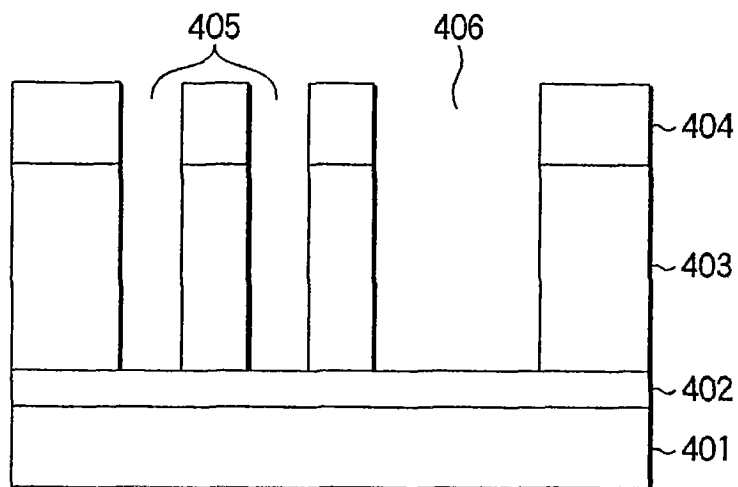


图 13

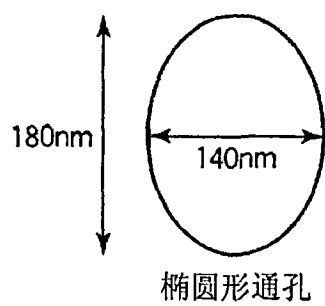


图 14A

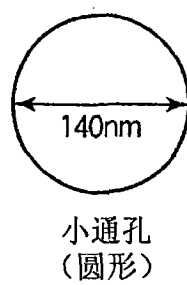


图 14B

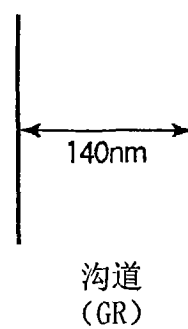


图 14C

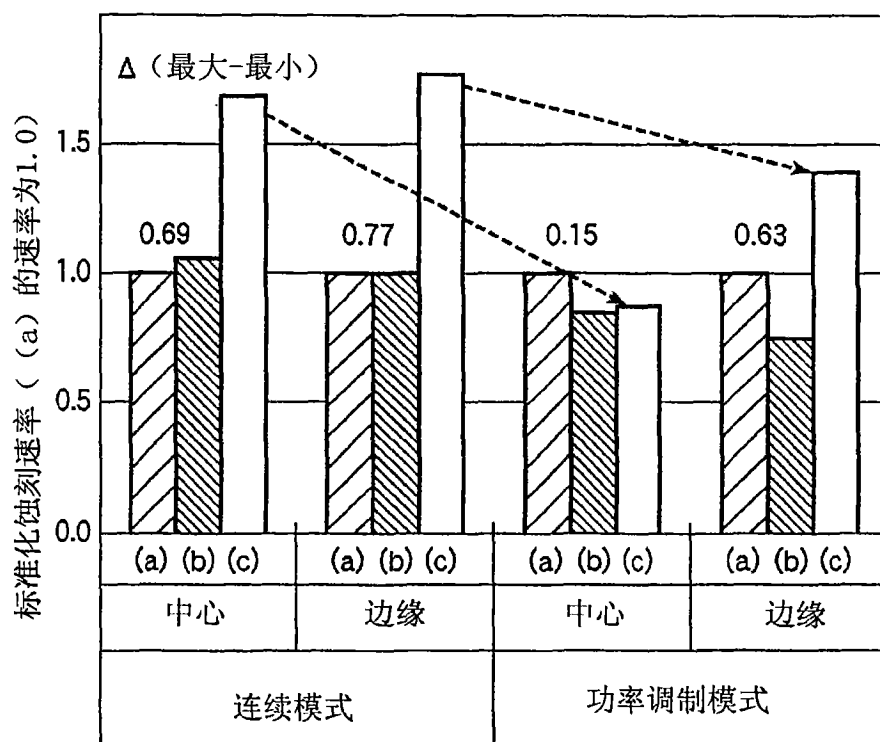


图 15

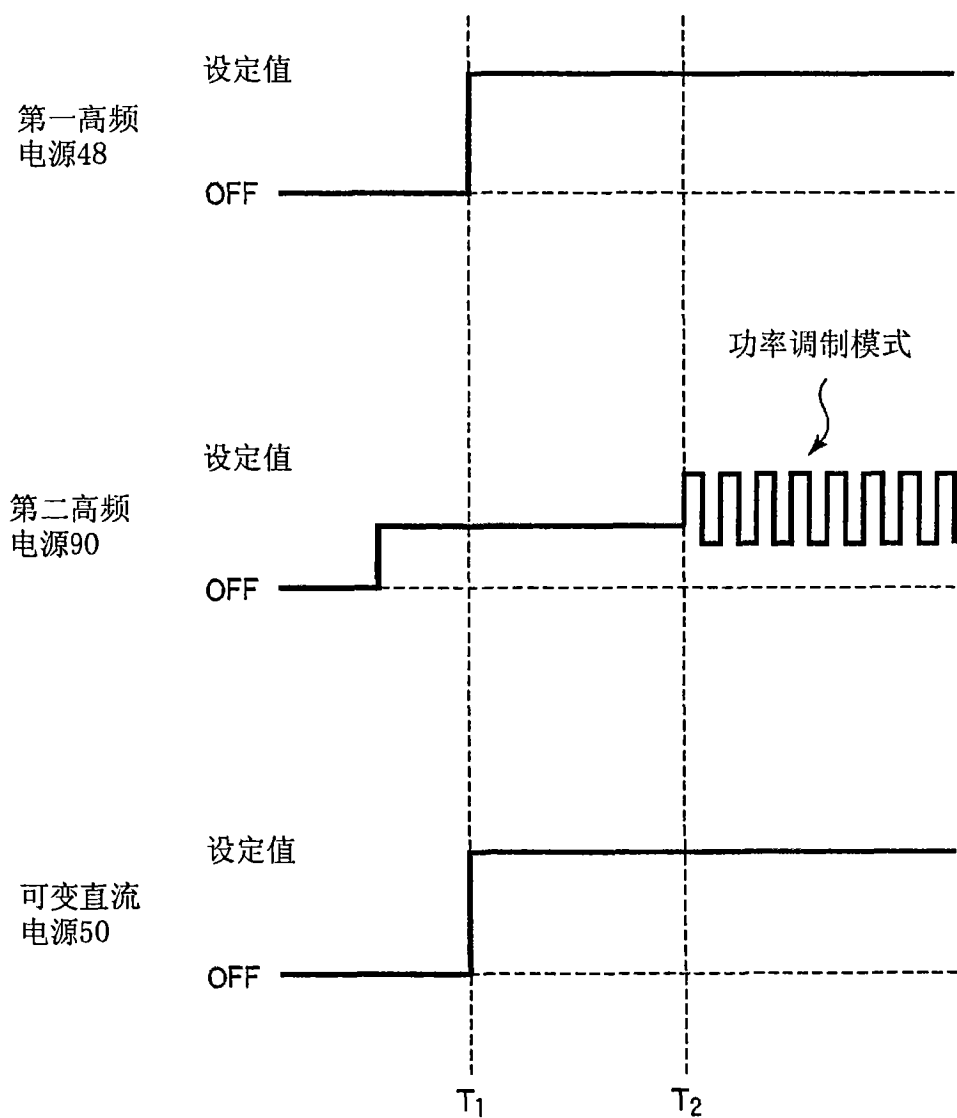


图 16

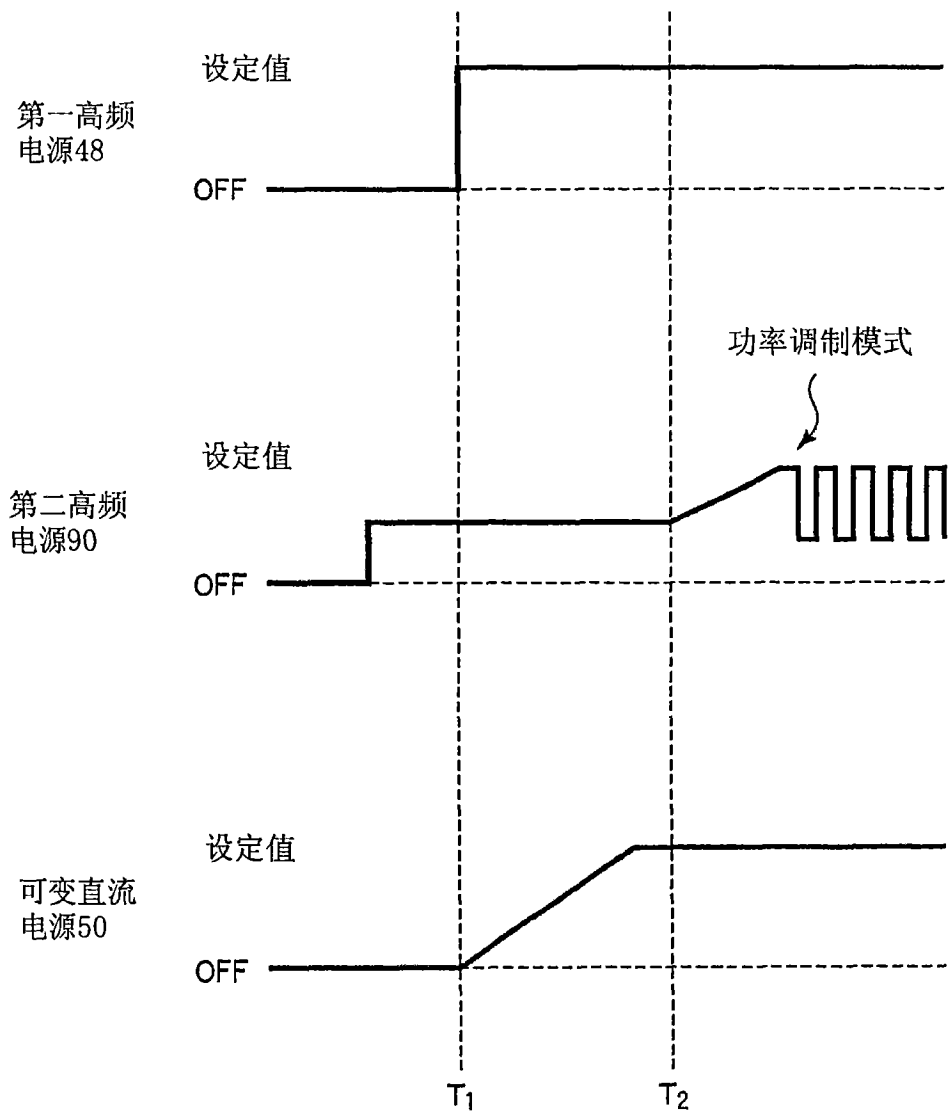


图 17

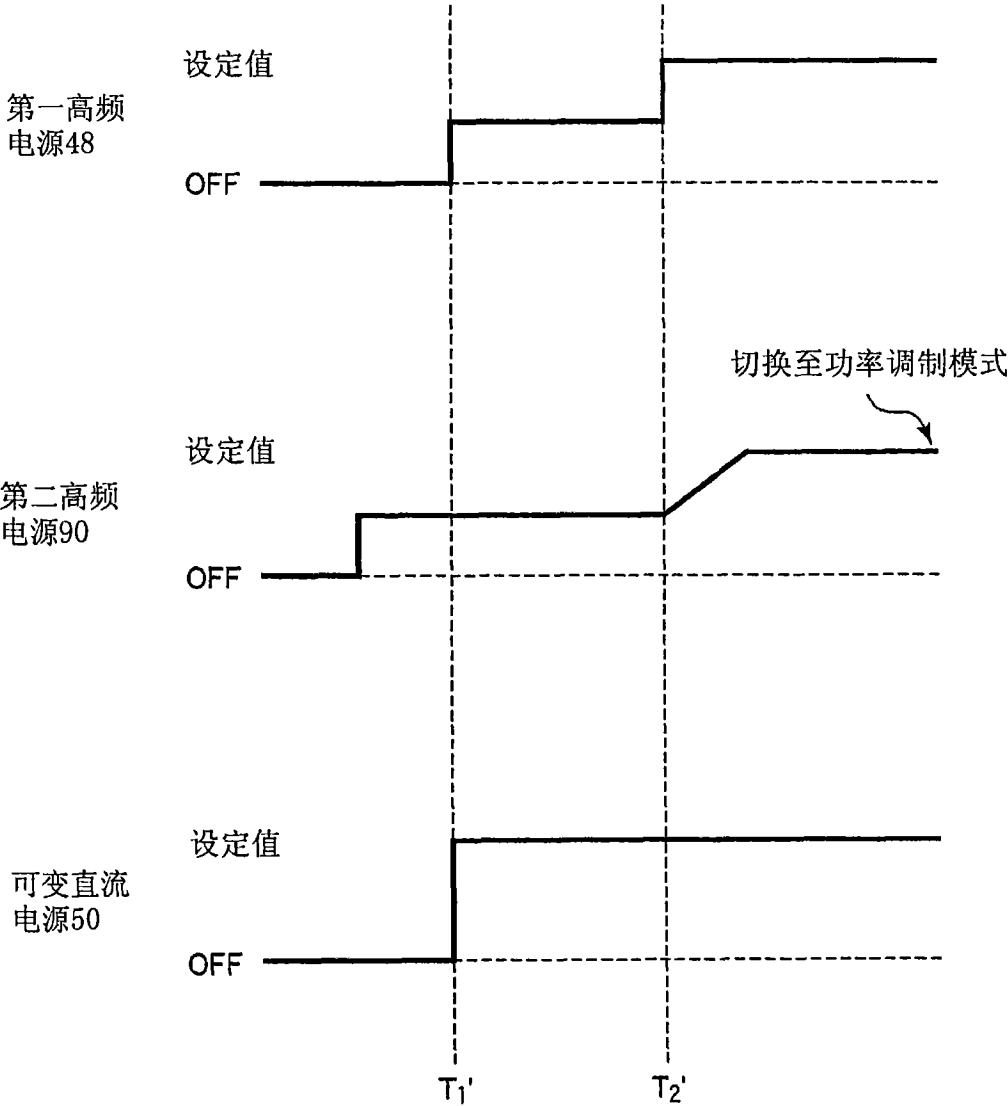


图 18

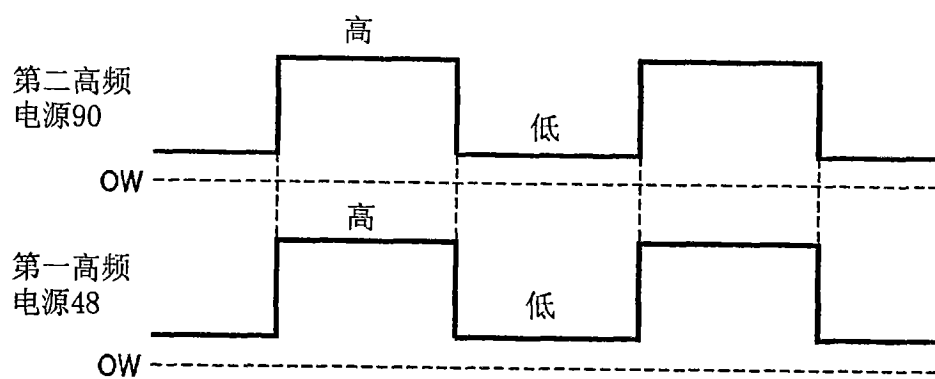


图 19A

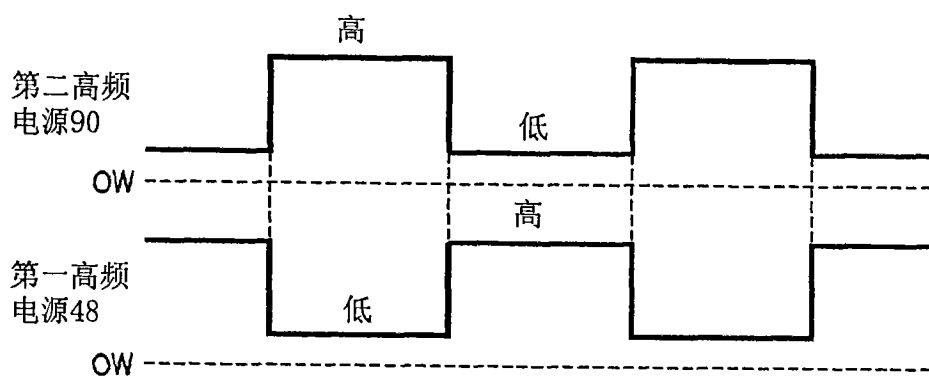


图 19B

