

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200380104293.8

[45] 授权公告日 2008 年 4 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100380605C

[22] 申请日 2003.11.25

[21] 申请号 200380104293.8

[30] 优先权

[32] 2002.11.26 [33] JP [31] 341949/2002

[32] 2003.10.17 [33] JP [31] 358417/2003

[86] 国际申请 PCT/JP2003/015028 2003.11.25

[87] 国际公布 WO2004/049418 日 2004.6.10

[85] 进入国家阶段日期 2005.5.26

[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 兴石公 广瀬润 小笠原正宏

平野太一 佐佐木宽充 吉田哲雄

斋藤道茂 石原博之 大薮淳

沼田幸治

[56] 参考文献

JP2001-17852A 2001.1.23

JP10-134995A 1998.5.22

JP11-260596A 1999.9.24

WO02/067313A1 2002.8.29

JP2001-15495A 2001.1.19

审查员 高莺然

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 龙 淳

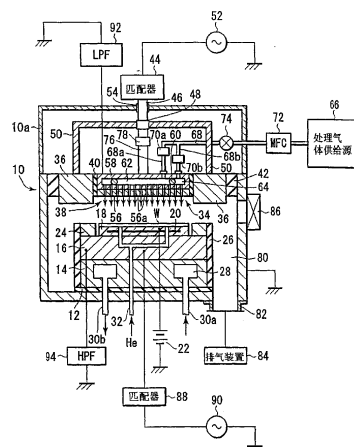
权利要求书 7 页 说明书 31 页 附图 26 页

[54] 发明名称

等离子体处理装置和方法以及等离子体处理装置的电极板

[57] 摘要

本发明的等离子体处理装置包括可以设置成有真空气氛的处理容器(10)。第一上部电极(36)被配置成与配置在处理容器(10)内的被处理基板(W)相面对并成环状。在第一上部电极(36)的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置第二上部电极(38)。第一供电部(50)把来自第一高频电源(52)的第一高频以第一功率值提供给第一上部电极(36)。从第一供电部(50)分出的第二供电部(76)把来自第一高频电源的所述第一高频,以比第一功率值小的第二功率值提供给所述第二上部电极(38)。



1. 一种等离子体处理装置，其特征在于，具有：  
可以设置成有真空气氛的处理容器；  
与在所述处理容器内配置在规定位置的被处理基板相对向而环状地配置的第一上部电极；  
在所述第一上部电极的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置的第二上部电极；  
向所述处理容器内提供处理气体的处理气体供给部；  
输出第一高频的第一高频电源；  
把来自所述第一高频电源的所述第一高频以第一功率值提供给所述第一上部电极的第一供电部；  
把来自所述第一高频电源的所述第一高频，从所述第一供电部分出，以比所述第一功率值小的第二功率值提供给所述第二上部电极的第二供电部；和  
电连接于所述第二上部电极和接地电位的可变直流电源。
2. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，  
所述第一上部电极用低电阻的导电体或半导体构成。
3. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，  
在与所述基板相面对的面上，所述第一上部电极具有所述第二上部电极的面积的大约 1/4 倍～约 1 倍的平面面积。
4. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，  
所述第一上部电极具有连接于所述第一供电部的第一电极部件、  
以及与所述基板相对向地可装卸地安装在所述第一电极部件下面的第二电极部件。
5. 如权利要求 4 所述的装置，其特征在于，  
所述第一电极部件具有用于通过冷却介质的冷却介质通路。

6. 如权利要求4所述的装置，其特征在于，还具有：  
设置在所述第一电极部件和所述第二电极部件之间的、用于降低热阻的膜或薄片。

7. 如权利要求1所述的装置，其特征在于，  
在从所述第二供电分支的部位到所述第一上部电极的区间中的所述第一供电部的电感被设定成比所述第二供电部的电感小。

8. 如权利要求1所述的装置，其特征在于，  
所述第一供电部具有在圆周方向连续地连接于所述第一上部电极的第一筒形导电部件。

9. 如权利要求8所述的装置，其特征在于，还具有：  
被配置在所述第一筒形导电部件的半径方向外侧而且连接接地电位的第二筒形导电部件。

10. 如权利要求9所述的装置，其特征在于，  
作为所述第二筒形导电部件的半径对所述第一筒形导电部件的半径之比的半径比被设定在1.2~2.0的范围内。

11. 如权利要求10所述的装置，其特征在于，  
所述半径比被设定在1.5~1.7的范围内。

12. 如权利要求1所述的装置，其特征在于，  
所述第一上部电极用一个环形电极构成。

13. 如权利要求1所述的装置，其特征在于，  
所述第二供电部具有可变电容器。

14. 如权利要求1所述的装置，其特征在于，  
为了使所述第一高频电源的输出阻抗和负荷阻抗匹配，还具有连接在所述第一高频电源的输出端子上的第一匹配器，负荷阻抗对从所

述第一匹配器的输出端子看的第一高频电源的电抗为电容性。

15. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，还具有：  
配置在所述第一上部电极和所述第二上部电极之间的间隙中的介电体。

16. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，  
在所述第二供电部周围配置导体部件。

17. 如权利要求 16 所述的装置，其特征在于，  
所述导体部件被配置成在其中流过用于使第二供电部的电感变小的感应电流。

18. 如权利要求 17 所述的装置，其特征在于，  
所述导体部件在所述第二供电部的周围，形成与由于在所述第二供电部流动的电流生成的磁通交链的闭合路。

19. 如权利要求 18 所述的装置，其特征在于，  
所述导体部件被环形配置成围在所述第二供电部周围。

20. 如权利要求 19 所述的装置，其特征在于，  
所述导体部件用一个环形导体构成。

21. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，还具有：  
填充用所述第一筒形导电部件和所述第一上部电极围住的空间的  
1/10~1/3 的导体部件。

22. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，  
所述第一上部电极具有比所述第二上部电极的下面还向下方突出的突出部分。

23. 如权利要求 22 所述的装置，其特征在于，

相对于所述第二上部电极的下面，所述突出部分向下方的突出量被设定在 25mm 以下。

24. 如权利要求 22 所述的装置，其特征在于，  
所述突出部分的内径部分被配置在相比于所述基板的外周端向半径方向外侧离开 24mm~30mm 的位置上。

25. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，还具有：  
配置在所述第一上部电极的下面的密封部件。

26. 如权利要求 22 所述的装置，其特征在于，还具有：  
覆盖所述突出部分的下面的密封部件。

27. 如权利要求 25 所述的装置，其特征在于，  
所述密封部件用导体或半导体构成。

28. 如权利要求 25 所述的装置，其特征在于，  
所述密封部件从所述第一上部电极的下面延伸到所述处理容器的内壁。

29. 如权利要求 25 所述的装置，其特征在于，  
所述密封部件与被从所述第一上部电极实施电分离而且被接地的所述处理容器进行电连接。

30. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，  
在所述第二上部电极的上方配置气体导入室，在所述第二上部电极上形成用于从所述气体导入室向所述基板喷射所述处理气体的多个气体喷出孔。

31. 如权利要求 30 所述的装置，其特征在于，  
所述气体导入室被用环形隔板部件分割成内侧的中心气体室和外侧的外围气体室，可以按规定的流量比向所述中心气体室和所述外围

气体室导入所述处理气体。

32. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，还具有：

在所述处理容器内用于载置所述基板的与所述第一和第二上部电极相面对配置的下部电极；和

把比所述第一高频的频率低的第二高频提供给所述下部电极的第二高频电源，

所述第二上部电极通过使所述第一高频不通过而使所述第二高频通过的所述第二低通滤波器而与接地电位进行电连接。

33. 一种等离子体处理装置，其特征在于，具有：

可以设置成有真空气氛的处理容器；

与在所述处理容器内配置在规定位置的被处理基板相对向而环状地配置的第一上部电极；

在所述第一上部电极的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置的第二上部电极；

向所述处理容器内提供处理气体的处理气体供给部；

输出第一高频的第一高频电源；

把来自所述第一高频电源的所述第一高频以第一功率值提供给所述第一上部电极的第一供电部；

把来自所述第一高频电源的所述第一高频，从所述第一供电部分出，以比所述第一功率值小的第二功率值提供给所述第二上部电极的第二供电部；和

电连接于所述第二上部电极和接地电位的、使直流通过的第一低通滤波器，所述第一低通滤波器具有用于调节在所述第二上部电极生成的直流电位的、包括可变电阻器的电阻。

34. 如权利要求 33 所述的装置，其特征在于，

所述可变电阻器的电阻值可以根据所述第一和第二功率值的不同而改变。

35. 一种等离子体处理方法，其特征在于，该方法包括：

在可以设置成有真空气氛的处理容器内把被处理基板放置在规定位置的工序；

通过第一供电部，向在所述处理容器内与所述基板相对向地环状配置的第一上部电极，以第一功率值提供来自第一高频电源的第一高频的工序；

在向所述第一上部电极提供所述第一高频的同时，在所述第一上部电极的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置的第二上部电极上，以比所述第一功率值小的第二功率值，通过从所述第一供电部分出的第二供电部，向所述第二上部电极提供来自所述第一高频电源的所述第一高频的工序；

在向所述第一和第二上部电极提供所述第一高频的同时，向所述处理容器内提供规定的处理气体，在所述第一和第二上部电极的正下方附近把所述处理气体等离子体化的工序；

用所述等离子体在所述基板上实施规定的等离子体处理的工序；  
和

通过选定或调整电连接于所述第二上部电极与接地电位的电阻的电阻值，或者，通过利用电连接于所述第二上部电极与接地电位的可变直流电源进行直接控制，把所述第二上部电极上生成的直流电位的值设定在适当的范围内的工序。

36. 如权利要求 35 所述的方法，其特征在于，

所述第一供电部具有在圆周方向连续地连接于所述第一上部电极上的第一筒形导电部件。

37. 如权利要求 35 所述的方法，其特征在于，

在从所述第二供电部分支的部位到所述第一上部电极的区间中的所述第一供电部的电感被设定成比所述第二供电部的电感小。

38. 如权利要求 37 所述的方法，其特征在于，

用所述第一筒形导电部件和设在所述第一筒形导电部件的半径方向外侧的接地电位的第二筒形导电部件，构成以所述第一筒形导电部件为波导路的同轴线路。

39. 如权利要求 35 所述的方法，其特征在于，  
利用设在所述第二供电部上的可变电容器，调整所述第一和第二的功率值的比例。

40. 如权利要求 35 所述的方法，其特征在于，  
在设在所述第二供电部的周围的导体部件上流过使所述第二供电部的电感减小的感应电流。

41. 如权利要求 35 所述的方法，其特征在于，  
所述第一上部电极具有比所述第二上部电极的下面还向下方突出的突出部分。

42. 如权利要求 41 所述的方法，其特征在于，  
用密封部件覆盖所述突出部分的下面。

43. 如权利要求 35 所述的方法，其特征在于，  
在所述第二上部电极的上方配置气体导入室，在所述第二上部电极上形成用于从所述气体导入室向所述基板喷射所述处理气体的多个气体喷出孔。

44. 如权利要求 43 所述的方法，其特征在于，  
所述气体导入室被用环形隔板部件分割成内侧的中心气体室和外侧的外围气体室，可以按规定的流量比向所述中心气体室和所述外围气体室导入所述处理气体。

## 等离子体处理装置和方法以及等离子体处理装置的电极板

### 技术领域

本发明涉及在被处理基板上实施等离子体处理的技术，特别是涉及把高频提供给电极生成等离子体的方式的等离子体处理技术。本发明涉及用于制造半导体器件的半导体处理中的等离子体处理技术。其中所谓的半导体处理是指通过在半导体晶片和 LCD(Liquid crystal display: 液晶显示器)和 FPD (Flat Panel Display: 平面显示器)等用的玻璃基板等的被处理基板上，用规定的图案形成半导体层、绝缘层、导电层等，实施用于在此被处理基板上制造半导体器件、或包括连接半导体器件的配线、电极等结构件的各种处理。

### 背景技术

在半导体器件和 FPD 的制造工艺中的蚀刻、堆积、氧化、溅射等处理中，为了在处理气体中在比较低的温度下进行良好的反应，大多使用等离子体。在单片式等离子体处理装置中，电容耦合型的平行平板等离子体处理装置是主要使用的装置。

一般在电容结合型的平行平板等离子体处理装置中，在可以减压的处理容器或反应室内平行配置上部电极和下部电极。下部电极接地，在它的上面放置被处理基板（半导体晶片、玻璃基板等）。通过匹配器向上部电极和/或下部电极提供高频电压。与此同时用设在上部电极的浇淋头喷射处理气体。用在上部电极和下部电极之间形成的电场加速电子，通过电子和处理气体的冲撞电离生成等离子体。然后利用等离子体中的中性自由基和离子等对基板表面进行规定的微细加工。其中两个电极起到电容器的作用。

最近随着在制造工艺中的设计规则的细化，在等离子体处理中要求在低压下生成高密度的等离子体。因此在上述电容结合型的平行平板等离子体处理装置中，变成对上部电极提供比现有（一般为小于或等于 27MHz）高得多的高频区域（例如大于或等于 50MHz）的高频。

可是如提供给上部电极的高频的频率变高，从高频电源通过供电棒提供给电极背面的高频由于集肤效应在电极表面传输，集中在电极下面（等离子体接触面）的中央部分。因此电极下面的中央部分的电场强度变得比外围部分的电场强度高，生成的等离子体的密度也是电极中央部分比电极外围部分高。此外由于等离子体在半径方向从高密度空间向低密度空间扩散，等离子体密度越来越变成在电极中央部分相对高、在电极外围部分相对低的分布。

为了消除此问题，大家知道用高电阻部件构成上部电极的下面中央部分（例如参照特开 2000 - 323456 号公报）。在此技术中用高电阻部件构成上部电极的下面中央部分，在那里以焦尔热消耗更多的高频电力。这样使上部电极的下面（等离子体接触面）的电场强度与电极外围相比在电极中央部分相对降低。来修正上述的等离子体密度的不均匀性。

可是在用高电阻部件构成上部电极的下面中央部分的结构中，存在有用焦尔热消耗高频电力（能量损失）变多的可能性。此外 RF 频率越高，构成对上部电极供电线的供电棒等的感应性电抗成分的影响越大。因此在供电线到上部电极的不确定部位之间产生共振点，在此共振点附近有可能出现异常的大电流流动。

此外在最近的等离子体处理装置中，上部电极有多个气体通气孔，大多同时用作为从这些通气孔把处理气体向下部电极喷射的所谓的浇淋头。这样的浇淋头兼用型上部电极由于受到来自等离子体的离子的攻击而被溅射，作为消耗品使用。特别是由于气体通气孔的出口（角部）使电场集中，容易溅射。如气体出口被切削，气体扩展成喇叭形，不能稳定地生成等离子体。因此气体出口的溅射进行程度（扩展的情况）成为电极寿命的指标。如在这样的浇淋头结构的上部电极上要实现上述的等离子体的高密度化，电极寿命有可能越来越短。

## 发明内容

本发明的目的是提供使生成等离子体的高频传输效率提高的等离子体处理装置和方法。

本发明的另一个目的是提供容易实现等离子体密度均匀化的等离

子体处理装置和方法。

本发明的另外的目的是提供可以延长生成等离子体用的高频的高频电极的寿命的等离子体处理装置和方法、以及等离子体处理装置的电极板。

本发明的第一个技术方案是在等离子体处理装置中具有  
可以设定成有真空气氛的处理容器；

配置成面对在上述处理容器内规定位置处配置的被处理基板并成环状的第一上部电极；

在上述第一上部电极的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置的第二上部电极；

向上述处理容器内提供处理气体的处理气体供给部；

输出第一高频的第一高频电源；

把来自上述第一高频电源的上述第一高频以第一功率值提供给上述第一上部电极的第一供电部；

把来自上述第一高频电源的上述第一高频从上述第一供电部分出，以比上述第一功率值小的第二功率值提供给上述第二上部电极的第二供电部。

本发明的第二个技术方案是在等离子体处理方法中具有：

在可以设置成有真空气氛的处理容器内把被处理基板配置在规定位置的工序；

以第一功率值通过第一供电部，向在上述处理容器内与上述基板对向地环状配置的第一上部电极提供来自第一高频电源的第一高频的工序；

在向上述第一上部电极提供上述第一高频的同时，在上述第一上部电极的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置的第二上部电极上，以比上述第一功率值小的第二功率值，通过从上述第一供电部分出的第二供电部，向上述第二上部电极提供来自上述第一高频电源的上述第一高频的工序；

在向上述第一和第二上部电极提供上述第一高频的同时，向上述处理容器内提供规定的气体，在上述第一和第二上部电极的正下方附近把所述处理气体等离子体化的工序；

用上述等离子体在上述基板上实施规定的等离子体处理的工序。

本发明的第三个技术方案是在等离子体处理装置的处理容器中，以与放置在规定位置上的被处理基板相面对的方式设置的、用于生成等离子体的电极板，具有：

环状的第一上部电极；和

在上述第一上部电极的半径方向内侧以与其电绝缘状态配置的第二上部电极，

来自高频电源的高频通过第一供电部，提供给上述第一上部电极，同时通过从上述第一供电部分出的第二供电部，提供给上述第二上部电极。

如采用上述的第一至第三技术方案，主要在配置在外侧的环状的第一上部电极的正下方生成等离子体。生成的等离子体主要在内侧或中心一侧扩散，这样等离子体的密度在半径方向被均匀化。用这样得到的等离子体在基板（例如支撑在下部电极上）的被处理面进行规定的处理。通过适当调整相对基板的第一上部电极的尺寸、与下部电极的电极间距离、等离子体生成率等，当然更可以实现等离子体密度的均匀化。

第一上部电极的材质优选的是对于来自第一高频电源的第一高频电压，电压降低或功率损失小的低电阻的导电体或半导体。此外在与基板相面对的面上，第一上部电极的平面面积优选的是选择是第二上部电极的面积的大约 1/4 倍～约 1 倍。

为了有效地向第一上部电极提供来自第一高频电源的第一高频，设置有第一供电部。此第一供电部具有在圆周方向上连续地连接在第一上部电极上的第一筒形导电部件。这种情况下，为了使第一筒形导电部件成为同轴线路的波导路，优选的是在它的半径方向外侧设置连接接地电位的第二筒形导电部件。此第二筒形导电部件可以与处理容器构成一体。

为了更正确地进行等离子体密度的均匀化，在处理容器内面对被处理基板，在第一上部电极的半径方向内侧进行绝缘，设置第二上部电极。通过从第一供电部分出的第二供电部，把来自第一高频电源的第一高频电压提供给第二上部电极，在第二上部电极的正下方附近也

把处理气体等离子体化。由于把用此第二上部电极生成等离子体作为辅助的方式，所以第二供电部的结构优选的是，在从分支的部位到第一上部电极的区间中的第一供电部的电感比第二供电部的电感小。

优选的是在第二供电部设置可变的电容器。通过调整此可变电容器的电容，可以自由地在一定条件 ( $P_1 > P_2$ ) 下控制第一上部电极附近的电场强度或功率的投入量 ( $P_1$ ) 和第二上部电极附近的电场强度或功率的投入量 ( $P_2$ ) 的比例 ( $P_1 : P_2$ )。这样可以自由地控制第一上部电极附近的等离子体生成量 (或生成率) 和第二上部电极附近的等离子体生成量 (或生成率) 的比例。

也可以把第一高频电源的输出阻抗和负荷阻抗用第一匹配器匹配。优选的是从第一匹配器的输出端子使第一高频电压分支成第一供电部和第二供电部，可以并联提供给第一上部电极和上述第二上部电极。这种情况下，通过使相对从第一匹配器的输出端子看的第一高频电源的负荷阻抗的电抗成为电容性，可以避免在构成负荷电路的波导内产生共振点。

此外在采用浇淋头方式的情况下，优选的是从被处理基板一侧看第二上部电极的上方 (背面部分或背后)，可以设置用于导入来自处理气体供给部的处理气体的气体导入室。这种情况下，在第二上部电极上可以形成用于从气体导入室向下部电极喷出处理气体的多个通气孔。如上所述，由于主要依靠第一上部电极生成等离子体，第二上部电极受到来自等离子体离子的攻击少，因此即使是兼作浇淋头使用，也可以延长电极寿命。优选的是把上述气体导入室用环状隔板部件分割成内侧的中心气体室和外侧的外围气体室，可以按规定比例向中心气体室和外围气体室导入处理气体。这样可以任意调整中心部和外围部喷出气体流量的比例，可以控制在半径方向的气体分子或自由基密度的空间分布。把这样控制自由基密度分布的功能和控制上述第一上部电极和第二上部电极之间生成等离子体比例而控制等离子体密度的功能进行组合，也可以实现使等离子体处理最佳化。

在第二供电部周围导体部件优选的是流过为了使第二供电部的电感变小的感应电流的导体部件。这种情况下，通过使第二供电部的电感变小，可以提高上述由可变电容器造成的的第一和第二上部电极之

间的电场强度或投入功率平衡调整的幅度。为了提高降低电感的效果，优选的是把此导体部件配置成包围第二供电部件的四周的环状，而且配置成比第一供电部更靠向半径方向内侧。

第一供电电极可以具有比第二上部电极的下面向下突出的突出部分。利用此第一上部电极上的突出部分，通过对于等离子体生成空间产生从周边一侧向半径方向内侧的电场，把等离子体封闭，可以有效地实现提高等离子体密度和使其均匀化。特别是在第一上部电极上的突出部分的突出量和在半径方向上的与基板的相对位置关系，是影响等离子体密度的空间分布特性的重要因素。优选的是可以把突出部分的突出量设定在小于或等于 25mm。优选的是突出部分的内径部分配置成在半径方向外侧距离基板外围端部 24mm~30mm 的位置。

可以在第一上部电极下面设置密封部件。如上所述，在第一上部电极上设置突出部分的情况下，可以以覆盖此突出部分的下面的方式配置密封部件。如采用此密封部件，在生成等离子体空间的外侧，隔断或封住第一上部电极附近的高频放电路径，可以控制在它的正下方的等离子体生成。这样更进一步提高把等离子体封闭在基板正上方的效果，同时可以有效地防止不希望的重合膜向处理容器上堆积。

第二上部电极通过至少流过直流的低通滤波器，可以与接地电位进行电连接。此低通滤波器具有用于调节在第二上部电极上生成的直流电位的电阻。在用可变电阻器构成此电阻的情况下，优选的是根据提供给第一和第二的上部电极的整体的高频功率值可以改变它的电阻值。此外把第二上部电极通过可变直流电源接在地线上，也可以用电源电压直接控制第二上部电极的直流电位。

如采用上述的第一至第三观点的方式，可以提高提供给上部电极的生成等离子体用高频的传输效率。如采用其他方式，容易实现等离子体密度的均匀化。如再采用其他方式，可以延长生成等离子体用的提供高频的高频电极的寿命。

## 附图说明

图 1 为表示本发明的第 1 实施方式中的等离子体蚀刻装置的纵截面图。

图2为表示图1所示的等离子体蚀刻装置主要部分的局部放大截面图。

图3为表示第1实施方式中的等离子体生成装置的主要部分的等效电路的电路图。

图4为表示第1实施方式中的利用调整电场强度平衡功能的电场强度（相对值）分布特性的图。

图5为表示第1实施方式中的利用调整电场强度平衡功能的电场强度（相对值）比例特性的图。

图6A和图6B为表示第1实施方式中的电子密度的空间分布特性的图。

图7A和图7B为表示第1实施方式中的蚀刻速率的空间分布特性的图。

图8为表示本发明的第2实施方式中的等离子体蚀刻装置的截面图。

图9A和图9B为表示第2实施方式中的蚀刻速率的空间分布特性的图。

图10A和图10B为表示第2实施方式中的蚀刻速率的空间分布特性的图。

图11为表示第2实施方式中的可变电容器内侧投入功率特性的图。

图12为表示第2实施方式中的等离子体生成用的高频供电电路的等效电路的电路图。

图13为表示在第2实施方式中设置在上部供电棒周围的导体部件的作用的图。

图14为表示在第2实施方式中得到的可变电容器底部本身偏置电压特性的图。

图15A和图15B为表示第2实施方式中的低通滤波器电路结构的图。

图16为表示第2实施方式中的低通滤波器内的电阻的作用的图。

图17为表示第2实施方式中的低通滤波器内的电阻值最佳范围的图。

图 18 为表示第 2 实施方式的等离子体蚀刻装置的主要部分的纵截面图。

图 19A~图 19E 为表示把第 2 实施方式中的上部电极突出部分的内径和突出量作为参数的电子密度空间分布特性的图。

图 20 A 和图 20B 为表示把第 2 实施方式中的上部电极突出部分的内径和突出量作为二维参数的电子密度均匀性的特性曲线的图。

图 21 为表示本发明的第 3 实施方式的等离子体蚀刻装置的主要部分的纵截面图。

图 22 A 和图 22B 为表示用于证实第 3 实施方式中的密封部件的作用的电子密度的空间分布特性的图。

图 23 为把表示本发明的第 4 实施方式中的内侧/外侧投入功率比作为参数的电子密度的空间分布特性的图。

图 24 为把表示本发明的第 4 实施方式中的内侧/外侧投入功率比作为参数的重合膜堆积速度的空间分布特性的图。

图 25 为把表示本发明的第 4 实施方式中的内侧/外侧投入功率比作为参数的蚀刻深度的空间分布特性的图。

图 26 为表示把本发明的第 5 实施方式中的中心/周边气体流量比作为参数的  $\text{CF}_2$  自由基密度的空间分布特性的图。

图 27 为表示把第 5 实施方式中的中心/周边气体流量比作为参数的 Ar 自由基密度的空间分布特性的图。

图 28 为表示把第 5 实施方式中的中心/周边气体流量比作为参数的  $\text{N}_2$  自由基密度的空间分布特性的图。

图 29 为表示把第 5 实施方式中的中心/周边气体流量比作为参数的  $\text{SiF}_4$  反应生成物的空间分布特性的图。

图 30 为表示把第 5 实施方式中的中心/周边气体流量比作为参数的 CO 反应生成物的空间分布特性的图。

图 31 为表示第 5 实施方式的模拟中的自由基生成（离解）的结构图。

图 32A~图 32C 为表示本发明的第 6 实施方式中的 BARC 蚀刻的评价模型和测定数据的图。

图 33A~图 33C 为表示本发明的第 7 实施方式中的  $\text{SiO}_2$  蚀刻的评

价模型和测定数据的图。

图 34 为用图表示的等离子体密度分布和自由基密度分布的两个系统独立控制的适用例子的图。

## 具体实施方式

下面参照图对本发明的实施方式进行说明。在下面的说明中，具有大体相同功能和结构的结构要素采用相同的符号，仅在必要的情况下进行重复的说明。

### （第 1 实施方式）

图 1 为表示本发明的第 1 实施方式中的等离子体蚀刻装置的纵截面图。此等离子体蚀刻装置的结构为电容结合型平行平板等离子体蚀刻装置。此装置具有例如由表面进行铝阳极化处理（阳极氧化处理）的铝构成的圆筒形的腔体（处理容器）10。腔体 10 为保证安全被接地。

圆柱形的基座支撑台 14 通过陶瓷板等绝缘板 12 配置在腔体 10 的底部。在基座支撑台 14 上例如配置由铝构成的基座 16。基座 16 构成下部电极，作为被处理基板例如半导体晶片 W 放置在它上面。

在基座 16 的上面配置有用静电吸附力保持半导体晶片 W 的静电吸盘 18。静电吸盘 18 是把由导电膜构成的电极 20 夹在一对绝缘层或绝缘片之间的。直流电源 22 与电极 20 进行电连接。利用来自直流电源 22 的直流电压，半导体晶片 W 被用库仑力吸附保持在静电吸盘 18 上。在静电吸盘 18 的周围在基座 16 的上面，为了提高蚀刻的均匀性，例如配置由硅构成的聚焦环 24。在基座 16 和基座支撑台 14 的侧面，粘贴例如由石英构成的圆筒形的内壁部件 26。

在基座支撑台 14 的内部，配置例如在圆周方向延伸的冷却介质室 28。在冷却介质室 28 中利用装在外面的冷机设备（图中没有表示）通过配管 30a、30b 循环提供规定温度的冷却介质，例如冷却水。用冷却介质的温度可以控制基座 16 上的半导体晶片 W 的处理温度。此外从传热气体供给机构（图中没有表示）来的传热气体例如 He 气，通过气体供给管线 32 提供到静电吸盘 18 的上面和半导体晶片 W 的背面之间。

上部电极 34 被配置成在基座 16 的上方与此基座平行并与其面对。两个电极 16、34 之间的空间是等离子体生成空间。上部电极 34 形成

与基座（下部电极）16 上的半导体晶片 W 相面对并与等离子体生成空间接触的面，也就是形成对向面。上部电极 34 由环形或圈饼形外侧（outer）上部电极 36 和圆板形内侧（inner）上部电极 38 构成，外侧（outer）上部电极 36 是被配置成与基座 16 相隔规定间隔，内侧（inner）上部电极 38 是被配置成与外侧上部电极 36 的半径方向内侧绝缘。这些所谓的外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 关于等离子体生成具有以前者（36）为主、后者（38）为辅的关系。

图 2 为表示图 1 所示的等离子体蚀刻装置主要部分的局部放大截面图。如图 2 所示，在外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 之间形成例如 0.25~2.0mm 的环形空隙（间隙），在此空隙中设置例如由石英构成的介电体 40。也可以在此空隙中设置陶瓷 96。把介电体 40 夹在两个电极 36、38 之间形成电容器。此电容器的电容  $C_{40}$  根据此空隙的尺寸和介电体 40 的介电率选定或调整到规定值。在外侧上部电极 36 和腔体 10 的侧壁之间，例如由氧化铝（ $Al_2O_3$ ）构成的环形的绝缘性遮挡部件 42 被安装成气体密封状态。

外侧上部电极 36 优选的是由焦耳热少的低电阻的导电体或半导体例如硅构成。第一高频电源 52 通过匹配器 44、上部供电棒 46、连接器 48 和供电筒 50，与外侧上部电极 36 进行电连接。第一高频电源 52 输出 13.5MHz 以上的频率的高频电压，例如 60MHz 的高频电压。匹配器 44 是用于使负荷阻抗和高频电源 52 内部（或输出）阻抗匹配的设备。匹配器 44 具有在腔体 10 内生成等离子体时，使高频电源 52 的输出阻抗和负荷阻抗表观上一致的功能。匹配器 44 的输出端子被连接在上部供电棒 46 的上端。

供电筒 50 是由圆筒形或圆锥形或与其接近形状的导电板构成，例如由铝板或钢板构成。供电筒 50 的下端在圆周方向连续连接在外侧上部电极 36 上。供电筒 50 的上端用连接器 48 与上部供电棒 46 的下端进行电连接。在供电筒 50 的外侧，腔体 10 的侧壁延伸到上部电极 34 的高度位置的上方，构成圆筒形的接地导体 10a。圆筒形接地导体 10a 的上端用筒形绝缘部件 54 与上部供电棒 46 实施电绝缘。在这样的结构中，在从连接器 48 看的负荷电路中，用供电筒 50、外侧上部电极 36 和圆筒形接地导体 10a 形成以前者（36、50）为波导路的同轴线路。

在图 1 中, 内侧上部电极 38 具有电极板 56 和电极支撑体 58, 电极板 56 有多个气体通气孔 56a, 电极支撑体 58 可以装拆地支撑电极板 56。电极板 56 例如由 Si、SiC 等的半导体材料构成, 电极支撑体 58 由导电材料, 例如表面进行钝化处理(阳极氧化处理: alumite 处理)的铝构成。在电极支撑体 58 的内部, 配置例如用由 O 型圈构成的环形隔板部件 60 分割而成的两个气体导入室, 也就是中心气体导入室 62 和周围气体导入室 64。用中心气体导入室 62 和设在它下面的多个气体喷出孔 56a 构成中心浇淋头。用周围气体导入室 64 和设在它下面的多个气体喷出孔 56a 构成周围浇淋头。

按规定的流量比从共同的处理气体供给源 66 向气体导入室 62、64 提供处理气体。更详细地说, 来自处理气体供给源 66 的气体供给管 68 在中途分成两支, 连接在气体导入室 62、64 上, 在支管 68a、68b 上分别配置流量控制阀 70a、70b。由于从处理气体供给源 66 到气体导入室 62、64 的流路的流导相同, 所以通过流量控制阀 70a、70b 的调整, 可以任意调整提供给两个气体导入室 62、64 的处理气体流量。此外在气体供给管 68 上配置质量流量控制器(MFC) 72 和开关阀 74。

这样调整导入中心气体导入室 62 和周围气体导入室 64 的处理气体的流量比。这样可以任意调整从对应于中心气体导入室 62 的电极中心部分的气体通气孔 56a、也就是从中心浇淋头喷出的气体流量  $F_C$  与从对应于周围气体导入室 64 的电极周围部分的气体通气孔 56a、也就是从周围浇淋头喷出的气体流量  $F_E$  的比例( $F_C/F_E$ )。可使从中心浇淋头和周围浇淋头分别喷出的处理气体的单位面积的流量不同。此外可单独或个别选定从中心浇淋头和周围浇淋头分别喷出的处理气体的气体种类或气体混合比。

第一高频电源 52 通过匹配器 44、上部供电棒 46、连接器 48 和下部供电筒 76 与内侧上部电极 38 的电极支撑体 58 进行电连接。在下部供电筒 76 的中间配置可以可变调整电容量的可变电容器 78。

图中省略了, 在外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 上也可以设置适当的冷却介质室或冷却套(图中没有表示)。通过从外部的冷机设备把冷却介质提供给此冷却介质室或冷却套, 可以控制电极的温度。

在腔体 10 的底部设置排气口 80, 排气装置 84 通过排气管 82 连接

在排气口 80 上。排气装置 84 有涡轮分子泵等的真空泵，可以把腔体 10 内的等离子体处理空间的压力降低到规定的真空度。此外在腔体 10 的侧壁上安装有开关半导体晶片 W 的装入取出口的闸阀 86。

在此实施方式的等离子体蚀刻装置中，第二高频电源 90 通过匹配器 88 与作为下部电极的基座 16 进行电连接。第二高频电源 90 输出 2~27MHz 范围内的频率的高频电压，例如输出 2MHz 的高频电压。匹配器 88 是用于使负荷阻抗和高频电源 90 内部（或输出）阻抗匹配的设备。匹配器 88 具有在腔体 10 内生成等离子体时，使高频电源 90 的内部阻抗和负荷阻抗表观上一致的功能。

用于不使来自第一高频电源 52 的高频（60MHz）通过、使来自第二高频电源 98 的高频（2MHz）通向接地的低通滤波器（LPF）92 与内侧上部电极 38 进行电连接。低通滤波器（LPF）92 适合用 LR 滤波器或 LC 滤波器构成。可是由于即使用一根导线对于来自第一高频电源 52 的高频（60MHz），可以给定足够大的电抗，所以也能以此应付。另一方面用于把来自第一高频电源 52 的高频（60MHz）通向接地的高通滤波器（HPF）94 与基座 16 进行电连接。

在此等离子体蚀刻装置中，要进行蚀刻首先打开闸阀 86，把加工对象的半导体晶片 W 装入到腔体 10 内，放在基座 16 上。然后从处理气体供给源 66 以规定的流量和流量比把蚀刻气体（一般为混合气体）导入到气体导入室 62、64，利用排气装置 84 使腔体 10 内的压力、也就是蚀刻压力为设定值（例如几 mTorr~1Torr 的范围内）。用第一高频电源 52 以规定的功率把等离子体生成用的高频（60MHz）提供给上部电极 34（36、38），同时用第二高频电源 90 以规定的功率把高频（2MHz）提供给基座 16。此外用直流电源 22 把直流电压提供给静电卡盘 18 的电极 20，把半导体晶片 W 固定在基座 16 上。从内侧上部电极 38 的气体通气孔 56a 喷出的蚀刻气体，在上部电极 34（36、38）和基座 16 之间的辉光放电中被等离子体化。用此等离子体生成的自由基和离子，对半导体晶片 W 的被处理表面进行蚀刻。

在此等离子体蚀刻装置中，对上部电极 34 提供高频区域（离子不动的 5~10MHz 以上）的高频。这样以优选的解离状态使等离子体高密度化，即使在更低压的条件下也可以形成高密度的等离子体。

此外在上部电极 34 中, 与半导体晶片 W 正面相对的内侧上部电极 38 成为浇淋头兼用型, 用中心浇淋头 (62、56a) 和周围浇淋头 (64、56a) 可以任意调整气体喷出流量的比率。以此在半径方向控制气体分子或自由基密度的空间分布特性, 可以任意控制用自由基基体的蚀刻特性的空间的分布特性。

另一方面如后所述, 在上部电极 34 中作为用于生成等离子体的高频电极, 以外侧上部电极 36 为主, 以内侧上部电极 38 为辅, 利用两个高频电极 36、38 可以调整给予电极正下方的电子的电场强度的比例。因此在半径方向控制等离子体密度的空间分布, 可以任意而且精细地控制反应性离子蚀刻的空间特性。

其中重要的是等离子体密度空间分布的控制对自由基密度空间分布的控制不要有实质的影响。等离子体密度空间分布的控制利用改变外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 之间电场强度或投入功率的比例进行。自由基密度空间分布的控制利用改变中心浇淋头 (62、56a) 和周围浇淋头 (64、56a) 之间处理气体流量和气体密度或气体混合比的比例进行。

也就是从中心浇淋头 (62、56a) 和周围浇淋头 (64、56a) 喷出的处理气体的离解在内侧上部电极 38 的正下方的面积内进行。因此即使改变内侧上部电极 38 和外侧上部电极 36 之间的电场强度的平衡, 也几乎不会影响到内侧上部电极 38 (同一面积内) 的中心浇淋头 (62、56a) 和周围浇淋头 (64、56a) 之间的自由基生成量以至密度的平衡。这样等离子体密度的空间分布和自由基密度的空间分布实际上可以独立进行控制。

此外此等离子体蚀刻装置成为在外侧上部电极 36 的正下方, 生成大部分到过半数的等离子体, 向内侧上部电极 38 的正下方扩散的方式。如采用此方式, 兼作浇淋头的内侧上部电极 38 受到的来自等离子体的离子的攻击少。因此可以有效地抑制作为更换部件的电极板 56 的气体喷出口 56a 的溅射进行程度, 大幅度延长电极板 56 的寿命。另一方面外侧上部电极 36 没有电场集中的气体喷出口。因此离子的攻击少, 替代内侧上部电极 38, 电极寿命不变短。

如前所述, 图 2 表示此等离子体蚀刻装置主要部分 (特别是构成

等离子体生成装置的主要部分)的结构。图2中省略了内侧上部电极38的浇淋头部分(56a、62、64)的结构。图3为表示第1实施方式中的等离子体生成装置的主要部分的等效电路的电路图。在此等效电路中省略了各部分的电阻。

在此实施方式中如上所述,在从连接器48看的负荷电路中,用外侧上部电极36、供电筒50和圆筒形接地导体10a形成把前者(36、50)作为波导路 $J_0$ 的同轴线路。设供电筒(50)的半径(外径)为 $a_0$ ,圆筒形接地导体10a的半径为 $b$ ,此同轴线路的特性阻抗或电感 $L_0$ 可以近似用下述(1)式表示。

$$L_0 = K \cdot \ln(b/a_0) \quad \dots\dots (1)$$

其中 $K$ 是由导电路的变化性和介电率决定的常数。

另一方面在从连接器48看的负荷电路中,在下部供电棒76和圆筒形接地导体10a之间也形成以前者(76)为波导路 $J_i$ 的同轴线路。内侧上部电极38也在下部供电棒76的延长位置上,但是直径差别过大,下部供电棒76的阻抗成为起支配作用。其中如设下部供电棒76的半径(外径)为 $a_i$ ,此同轴线路的特性阻抗或电感 $L_i$ 可以近似用下述(2)式表示。

$$L_i = K \cdot \ln(b/a_i) \quad \dots\dots (2)$$

象从上述(1)、(2)式可以理解的那样,向内侧上部电极38传递高频的内侧波导路 $J_i$ 与现在一般的RF系统给出同样的电感 $L_i$ 。另一方面在向外侧上部电极36传递高频的外侧波导路 $J_0$ 仅在直径大的部分给定明显小的电感 $L_0$ 。这样从匹配器44看,在从连接器48之前的负荷电路中,用低阻抗的外侧波导路 $J_0$ 容易传播高频(电压降小)。因此向外侧上部电极36提供多的高频功率 $P_0$ ,可以在外侧上部电极36的下面(等离子体接触面)得到强的电场强度 $E_0$ 。另一方面用高阻抗的内侧波导路 $J_i$ ,难以传播高频(电压降大)。因此把比提供给外侧上部电极36的高频功率 $P_0$ 小的高频功率 $P_i$ 提供给内侧上部电极38,可以使在内侧上部电极38的下面(等离子体接触面)得到的电场强度 $E_i$ 比外侧上部电极36侧的电场强度 $E_0$ 小。

这样用上部电极34在外侧上部电极36的正下方以相对强的电场 $E_0$ 使电子加速,同时在内侧上部电极38的正下方以相对弱的电场 $E_i$

使电子加速。这样在外侧上部电极 36 的正下方生成大部分到超过一半的等离子体 P，在内侧上部电极 38 的正下方辅助产生一部分等离子体 P。然后通过在外侧上部电极 36 的正下方生成的高密度的等离子体向半径方向的内侧和外侧扩散，在上部电极 34 和基座 16 之间的等离子体处理空间中在半径方向上使等离子体密度变得均匀。

可是在用外侧上部电极 36、供电筒 50 和圆筒形接地导体 10a 形成的同轴线路中的最大传输功率  $P_{\max}$  与供电筒 50 的半径  $a_0$  和圆筒形接地导体 10a 的半径  $b$  有关，用下述 (3) 式给出。

$$P_{\max}/E_0^2 = a_0^2 [\ln(b/a_0)]^2 / 2Z_0 \quad \dots\dots (3)$$

其中  $Z_0$  为从匹配器 44 一侧看的此同轴线路的输入阻抗， $E_0$  为 RF 传输系统的最大电场强度。

在上述的 (3) 式中，最大传输功率  $P_{\max}$  在  $(b/a_0) \approx 1.65$  为极大值。也就是筒形接地导体 10a 与供电筒 50 的半径比  $(b/a_0)$  约为 1.65 时，外侧波导路  $J_0$  的功率传输效率最好。从此观点看，为了提高外侧波导路  $J_0$  的功率传输效率，优选的是选定供电筒 50 和/或筒形接地导体 10a 的半径，使比值  $(b/a_0)$  至少在 1.2~2.0 范围内来构成，更优选的是在 1.5~1.7 范围内来构成。

在此实施方式中，为了任意而且精细地控制等离子体密度的空间分布，作为用于调整外侧上部电极 36 正下方的外侧电场强度  $E_0$  (或向外侧上部电极 36 一侧投入的功率  $P_0$ ) 和内侧上部电极 38 正下方的内侧电场强度  $E_i$  (或向内侧上部电极 38 一侧投入的功率  $P_i$ ) 的比例的装置，也就是调整平衡的装置，在下部供电棒 76 的中间插入可变电容器 78。通过改变可变电容器 78 的电容  $C_{78}$ ，使内侧波导路  $J_i$  的阻抗或电抗增加或减少，可以改变外侧波导路  $J_0$  的电压降和内侧波导路  $J_i$  的电压降的相对比例。这样可以调整外侧电场强度  $E_0$  (外侧投入的功率  $P_0$ ) 和内侧电场强度  $E_i$  (内侧投入的功率  $P_i$ ) 的比例。

此外提供等离子体的电位降的离子层的阻抗一般是电容性的。在图 3 的等效电路中，假设 (假定) 在外侧上部电极 36 正下方的层阻抗的电容为  $C_{p0}$ 、内侧上部电极 38 正下方的层阻抗的电容为  $C_{pi}$ 。此外在外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 之间形成的电容器的电容  $C_{40}$  与可变电容器 78 的电容  $C_{78}$  组合，控制上述的外侧电场强度  $E_0$  (外侧投入

的功率  $P_0$ ) 和内侧电场强度  $E_i$  (内侧投入的功率  $P_i$ ) 的平衡。可以选定或调整电容  $C_{40}$ , 使用可变电容器 78 调整电场强度 (投入的功率) 平衡的功能最佳化。

图 4 和图 5 为表示检验利用此实施方式中的可变电容器 78 调整电场强度平衡功能的示例 (模拟数据)。图 4 为表示把可变电容器 78 的电容  $C_{78}$  作为参数, 在电极的半径方向上的电场强度 (相对值) 分布特性。图 5 为表示改变可变电容器 78 的电容  $C_{78}$  时的外侧电场强度  $E_0$  和内侧电场强度  $E_i$  的相对比例。

在此模拟中, 使半导体晶片 W 的口径为 200mm, 选定圆板形状的内侧上部电极 38 的半径为 100mm、环形的外侧上部电极 36 的内侧半径和外侧半径分别为 101mm、141mm。这种情况下, 相对于半导体晶片 W 的面积 ( $314\text{cm}^2$ ), 内侧上部电极 38 的面积为  $314\text{cm}^2$ , 与晶片 W 相同, 外侧上部电极 36 的面积为  $304\text{cm}^2$ , 比晶片 W 稍小。一般在与晶片 W 相面对的面上, 优选的是外侧上部电极 36 的平面面积为内侧上部电极 38 的平面面积的约 1/4 倍~约 1 倍。

如图 4 所示, 外侧上部电极 36 的正下方的外侧电场强度  $E_0$  比内侧上部电极 38 的正下方的内侧电场强度  $E_i$  大, 在两个电极 36、38 的界面附近电场强度产生大的台阶。特别是外侧上部电极 36 的正下方的外侧电场强度  $E_0$  在与内侧上部电极 38 的界面附近最大, 有越向半径方向的外侧越低的倾向。在此例子中如图 5 所示, 如在 180~350pF 范围内改变可变电容器 78 的电容  $C_{78}$ , 可以在约 10%~40% 范围内连续控制电场强度  $E_i$ 、 $E_0$  的比例  $E_i/E_0$ 。 $C_{78}=125\sim180\text{pF}$  是负荷电路共振的区域, 不能进行控制。在基本稳定区域使可变电容器 78 的电容  $C_{78}$  越大, 可以向如下的方向控制: 使内侧波导路  $J_i$  的电抗减少、使内侧上部电极 38 的正下方的内侧电场强度  $E_i$  相对增加、使外侧电场强度  $E_0$  和内侧电场强度  $E_i$  的比例  $E_i/E_0$  提高。

在此实施方式中, 由于可以使由供电筒 50 构成的外侧波导路  $J_0$  的电抗明显变小, 可以使从匹配器 44 的输出端子看的负荷电路的阻抗的电抗成为电容性的负值。这意味着从匹配器 44 的输出端子到电容性的离子层的波导路中, 不存在电抗从感应性的正值极性反转到负值的共振点。通过避免共振点的产生, 避免共振电流的产生, 可以降低高

频能量的损失，同时可以确保等离子体密度分布控制的稳定性。

在图 6A（偏置导通）、图 6B（偏置截止）和图 7A（X 方向）、图 7B（Y 方向）中表示此实施方式的等离子体蚀刻装置中得到的电子密度分布特性和蚀刻速率分布特性的一个例子（试验数据）。在此试验中，与图 4 和图 5 的电场强度分布特性相同，把可变电容器 78 的电容  $C_{78}$  作为参数。然后用等离子体吸收探针（PAP）测定了半径方向各位置上的电子密度。此外测定了蚀刻半导体晶片上的硅氧化膜在半径方向的各晶片位置上的蚀刻速度。在此试验中也选定内侧上部电极 38 的半径为 100mm、外侧上部电极 36 的内侧半径和外侧半径分别为 101mm、141mm。主要蚀刻条件如下所述。

晶片口径=200mm

腔体内的压力=15mTorr

温度（上部电极/腔体侧壁/下部电极）=60/50/20℃

传热气体（He 气）供给压力（中心部位/边缘部位）=15/25Torr

上部和下部电极间距离=50mm

工艺气体（ $C_5F_8$ /Ar/ $O_2$ ）≒流量 20/380/20sccm

高频功率（60MHz/2MHz）≒2200W/1500W（ $C_{78}$ =500pF、1000pF）、1800W（ $C_{78}$ =120 pF）

在图 6A 和图 6B 中，选定可变电容器 78 的电容  $C_{78}$  为 120pF 时是选定提高外侧电场强度  $E_0$  和内侧电场强度  $E_i$  的比例  $E_i/E_0$  的情况。在此情况下，可以得到电极中心附近最大，越向半径方向外侧越单调减少的电子密度、也就是等离子体密度的分布特性。这种情况下，认为这是由于等离子体的扩散率超过作为主等离子体生成部的外侧上部电极 36 的正下方的等离子体生成率和作为副等离子体生成部的内侧上部电极 38 的正下方的等离子体生成率的差，从所有方向集中的中心部分的等离子体密度与周围相比变得相对高的原因。

另一方面选定电容  $C_{78}$  为 1000pF 时，是选定降低外侧电场强度  $E_0$  和内侧电场强度  $E_i$  的比例  $E_i/E_0$  的情况。这种情况下，在半径方向与晶片内侧相比，使晶片外侧的位置（距中心 140mm 附近的位置）电子密度最大化，可以在晶片的内侧（0~100mm）得到大体均匀的电子密度分布。认为这是由于随内侧上部电极 38 的正下方的等离子体生成率的

增加，向半径方向外侧的扩散增强的缘故。无论怎么做，通过在适当范围内精细地可变调整可变电容器 78 的电容  $C_{78}$ ，可以自由而且精细地控制电子密度即等离子体密度的空间分布特性。

此外向下部电极 16 提供高频偏置（2MHz）的情况（图 6A）与不提供情况（图 6B）相比，各位置的电子密度有一定程度的增加，分布图形几乎不变。

根据图 7A 和图 7B 的试验数据，利用可变调整可变电容器 78 的电容  $C_{78}$ ，可以得到对应于图 6A 和图 6B 的电子密度空间分布特性的图形的蚀刻速率空间分布特性。也就是通过在适当范围内精细地可变调整可变电容器 78 的电容  $C_{78}$ ，晶片面内的蚀刻速率空间分布特性也可以自由而且精细地控制。

此外用此实施方式的等离子体蚀刻装置，在象上述那样在内侧上部电极 36 的浇淋头机构中，可以可变调整中心部和外围部的气体喷出流量的比例。利用此功能也可以同时进行用自由基基体（radical base）控制蚀刻速率的空间分布特性。

## （第 2 实施方式）

图 8 为表示本发明的第 2 实施方式中的等离子体蚀刻装置的截面图。图 8 中具有与上述第 1 实施方式的装置（图 1）中相同的结构或功能的部分采用同一符号。

第 2 实施方式中的特征之一是用于把来自高频电源 52 的高频向外侧上部电极 36 传输的传输路径、也就是供电筒 50 是使用铸件的结构。此铸件的材质优选的是导电性和加工性优良的金属，例如可以用铝。铸件的优点之一是成本低，与板材制的相比可以抑制到 1/7 以下的成本。另外的优点是容易成为一个整体，由于可以减少 RF 接触面，可以使 RF 损失减小。

即使用铸件构成供电筒 50，也没有使高频传输效率降低。也就是象图 9A（铸件）、图 9B（板）和图 10A（铸件）、图 10B（板）的试验数据所示，可以确认供电筒 50 无论是用板材构成还是用铸件构成，蚀刻速率几乎没有差别。图 9A 和图 9B 表示硅氧化膜（ $\text{SiO}_2$ ）的蚀刻速率的空间分布特性，图 10A 和图 10B 表示光致抗蚀膜（PR）的蚀刻速率的空间分布特性。此验证例中的主要蚀刻条件如下。

晶片口径=300mm

腔体内的压力=25mTorr

温度（上部电极/腔体侧壁/下部电极）=60/60/20℃

传热气体（He 气）供给压力（中心部位/边缘部位）=15/40Torr

上部和下部电极间距离=45mm

工艺气体（C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>/Ar/O<sub>2</sub>）≡流量 30/750/50sccm

高频功率（60MHz/2MHz）≡3300W/3800W

测定时间=120 秒

第2实施方式中的第二个特征是在供电筒50内在供电棒76的周围设置环形的导体部件100的结构。如下所述，导体部件100的主要作用是使供电棒76的周围的电感减小，改善用可变电容器78调整外侧/内侧投入功率的调整功能的幅度。

在上述等离子体处理装置中如上所述，通过改变可变电容器78的电容C<sub>78</sub>，可以任意调节对外侧上部电极36的投入功率P<sub>0</sub>和对内侧上部电极38投入的功率P<sub>i</sub>的比例。一般在改变可变电容器78的电容C<sub>78</sub>的可变调整用步进电动机步进式进行。在此电容的可变调整中，有必要避开上述的不能控制的共振区域（在图5中的125pF<C<sub>78</sub><180pF的区域）。因此在上述第1实施方式中的试验验证例（图6A、图6B、图7A、图7B）中，主要使用共振区域右侧的稳定区域（C<sub>78</sub>≥180pF）。可是右侧稳定区域要提高内侧投入功率P<sub>i</sub>的比例有个限度，而且有功功率损失也大的一面。这一点从图4和图5也可以看出，共振区域左侧的区域（C<sub>78</sub>≤125pF）对提高内侧投入功率P<sub>i</sub>的比例有利，还有功率损失少的优点。但是在共振区域左侧，由于越提高内侧投入功率P<sub>i</sub>的比例，越接近共振区域，在图11的特性曲线A那样的变化率（倾斜）大的特性曲线下，存在有在靠近共振区域的微调非常困难的一面。

为了解决此问题，如图11的特性曲线B所示，在电容—内侧投入功率比例特性曲线中，减小共振区域左侧的区域的變化率，拓宽调整范围是有效的。而为了得到图11的特性曲线B那样的倾斜缓的宽的特性曲线，如下述那样减小供电棒76周围的电感L<sub>i</sub>是有效的。

图12为表示第2实施方式中的等离子体生成用的高频供电电路的等效电路的电路图。在供电棒76周围的电抗ωL<sub>i</sub>由于一般采用比电容

78 的电抗  $1/\omega C_{78}$  大的绝对值, 内侧波导路  $J_i$  的合成电抗  $X$  一般为感应性的, 可以表示成  $X=\omega L_a$ 。用此表观的电感  $L_a$  和电容  $C_{40}$  形成的并联电路成为共振状态时, 在电感  $L_a$  的电纳  $1/\omega L_a$  和电容  $C_{40}$  的电纳  $\omega C_{40}$  相互抵消为零时, 也就是  $1/\omega L_a = 1/(\omega L_i - 1/\omega C_{78}) = \omega C_{40}$  成立的时候。其中越减小  $L_i$ , 使上述共振条件成立的  $C_{78}$  的值越大, 靠近如图 11 的特性曲线 B 所示的共振区域, 得到倾斜缓的宽的特性曲线。为了用图 12 的等效电路进行简单的说明, 省略了外侧波导路  $J_0$  的电感  $L_0$ 。即使此等效电路中加入电感  $L_0$ , 原理也是相同的。

图 13 为表示在此实施方式中的导体部件 100 的作用。在供电棒 76 中流过随时间变化的电流  $I$  时, 在供电棒 76 的周围产生环状磁通  $B$ , 同时由于电磁感应在导体部件 100 的内部流过与磁通  $B$  交链的感应电流  $i$ 。于是由于感应电流  $i$  在导体部件 100 的内外生成环状的磁通  $b$ , 在导体部件 100 的内部仅仅磁通  $b$  的部分抵消磁通  $B$ 。这样通过在供电棒 76 的周围设置导体部件 100, 使供电棒 76 周围真正的磁通生成量减少, 可以使电感  $L_i$  减小。

导体部件 100 的外观结构优选的是在圆周方向连续的单一的环形体, 也可以是把多个导体部件 100 在圆周方向并排配置的结构。此外导体部件 100 的内部结构可以是图 13 所示的环形有空洞的中空体, 如图 8 所示的内部埋入的块体结构可以得到更大的降低电感的效果。优选的是导体材料 100 的容积越大越好, 理想的是最优选充满供电筒 50 内侧的空间。实际应用中, 优选的是供电筒 50 和外侧上部电极 36 围住的空间的  $1/10 \sim 1/3$  用导体部件 100 填充。导体部件 100 的材质可以是任意的导电材料, 例如可以用铝的铸件。导体部件 100 配置成与附近的导体, 也就是供电棒 76 和内侧上部电极 38 等电绝缘。

图 14 为表示用试验数据对在此实施方式中用导体部件 100 的上述拓宽效果进行验证的例子。在图 14 中, 特性曲线  $B'$  是用此实施方式的装置构造得到的, 特性曲线  $A'$  是用没有设置导体部件 100 的装置结构得到的。这些特性曲线  $A'$ 、 $B'$  分别对应于把图 11 的特性曲线 A、B 颠倒过来的曲线。也就是在这种平行平板型等离子体装置中, 存在有越增加向上部电极 34 的中央部分的投入功率 (内侧投入功率  $P_i$ ) 的比例, 在基座 16 一侧基板 W 附近的等离子体密度越高, 这样 (与

等离子体密度成反比)基座 16 一侧的偏置频率的  $V_{pp}$  越低的关系。根据此关系,可以改变可变电容器 78 的变化步进值(与电容  $C_{78}$  的值成比例的控制量),把在各个步进值得到的  $V_{pp}$  的测定值加以绘图得到的特性曲线  $A'$ 、 $B'$ (图 14)对应于把图 11 的特性曲线  $A$ 、 $B$  上下颠倒过来的曲线。如从图 14 的特性曲线  $B'$  证实的那样,如采用此实施方式,通过在供电棒 76 的周围设置导电部件 100,在用可变电容器 78 调整外侧/内侧投入功率平衡中,可以稳定而且精细地控制内侧投入功率  $P_i$  的比例成为在靠近共振区域的尽可能高的值。

第 2 实施方式的第三个特征是关于在内侧上部电极 38 和接地电位之间连接的低通滤波器 92。如图 15A 所示,在此实施方式中的低通滤波器 92 与可变电阻器 93 和线圈 95 串联,以不通过生成等离子体用的高频(60MHz),通过偏置用高频(2MHz)以下的交流频率和直流的方式构成。如采用低通滤波器 92,通过可变调整可变电阻器 93 的电阻值  $R_{93}$ ,可以调整内侧上部电极 38 的直流电位或本身偏置电压  $V_{dc}$ 。

更详细地说如图 16 所示,越减小电阻器 93 的电阻值  $R_{93}$ ,电阻器 93 的电压降越小,负的直流电位  $V_{dc}$  升高(接近接地电位)。相反,越增大电阻器 93 的电阻值  $R_{93}$ ,电阻器 93 的电压降越大,直流电位  $V_{dc}$  降低。不过如直流电位  $V_{dc}$  过高(一般如高于 -150V),等离子体电位升高,产生异常放电或电弧。另一方面如直流电位  $V_{dc}$  过低(一般如低于 -450V),离子向内侧上部电极 38 的冲击变强,电极的消耗快。

如采用其他的看法,如图 17 所示,在直流电位  $V_{dc}$  中存在对上述异常放电和电极消耗都可以防止以至抑制的适合的范围(-450V~-150V),存在有对应于此适合范围的电阻值  $R_{93}$  的范围( $R_a \sim R_b$ )。因此利用从电阻器 93 一侧选定或调整电阻值  $R_{93}$  在上述范围( $R_a \sim R_b$ )内可以把直流电位  $V_{dc}$  调整到上述适合的范围(-450V~-150V)。此外利用向上部电极 34 整体(外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38)提供的高频功率的值也可以改变电阻值  $R_{93}$  的适合范围( $R_a \sim R_b$ )。作为一个例子,对于 3000W 的高频功率,可以得到下限电阻值  $R_a \approx$  约 1M $\Omega$  的试验结果。

此外如图 15B 所示,通过可变直流电源 97 把内侧上部电极 38 接地,也可以利用电源电压直接控制直流电位  $V_{dc}$ 。优选的是可变直流电

源 97 用双极电源构成。

第 2 实施方式的第四个特征是在上部电极 34 中,使外侧上部电极 36 的下面比内侧上部电极 38 的下面还向下、即向基座 16 一侧突出的结构。图 18 为表示第 2 实施方式的等离子体蚀刻装置的主要部分的纵截面图。在此例子中,把外侧上部电极 36 作成由上侧的第一电极部件 36A 和下侧的第二电极部件 36B 构成的分成上下两部分的结构。主体的第一电极部件 36A 例如用进行了铝阳极化处理的铝构成,被连接在供电筒 50 上。更换部件的第二电极部件 36B 例如用硅构成,以比内侧上部电极 38 的下面仅突出规定值 H 的状态,用螺栓(图中没有表示)等紧密固定在第一电极部件 36A 上,可以装拆。在两个电极部件 36A、36B 之间,作为用于提高热导的部件 102,设置硅橡胶薄片等。此外利用把两个电极部件 36A、36B 的接触面用特氟隆(商品名)涂敷,可降低热阻。

在外侧上部电极 36 的突出部分 36B 的突出量 H 和内径(直径)  $\Phi$  规定从外侧上部电极 36 以至上部电极 34 给予等离子体生成空间的电场的强度和方向等,进而成为左右等离子体密度的空间分布特性的重要因素。

图 19A~图 19E 表示以突出部分 36B 的突出量 H 和内径(直径)  $\Phi$  为参数的电子密度空间分布特性的一个例子(试验数据)。在此试验中也用等离子体吸收探针(PAP)测定了在半径方向的各位置的电子密度。但是使半导体晶片的口径为 300mm。主要的参数  $\Phi$ 、H 在图 19A 的试验例子中为  $\Phi=329\text{mm}$ 、 $H=15\text{mm}$ ,在图 19B 的试验例子中为  $\Phi=329\text{mm}$ 、 $H=20\text{mm}$ ,在图 19C 的试验例子中为  $\Phi=339\text{mm}$ 、 $H=20\text{mm}$ ,在图 19D 的试验例子中为  $\Phi=349\text{mm}$ 、 $H=20\text{mm}$ ,在图 19E 的试验例子中为  $\Phi=359\text{mm}$ 、 $H=25\text{mm}$ 。此外其次的参数选定四种内侧投入功率  $P_i$  和外侧功率  $P_o$  的比例  $P_i/P_o$ (RF 功率比)为(30/70)、(27/73)、(20/80)、(14/86)。

在图 19A~图 19E 的试验数据中,越增加外侧上部电极 36 的突出部分 36B 的内径(直径)  $\Phi$ ,电子密度的急剧下跌的拐点 F 越向半径方向外侧移动,越增加突出部分 36B 的突出量 H,电子密度的急剧下跌的拐点 F 上升。理想的特性是拐点 F 位于晶片边缘位置(150mm 的

位置)的正上方,而且是在高的位置保持与中央部分一侧的平的关系的分布特性。在这一点上,在图19D的特性( $\Phi=349\text{mm}$ 、 $H=20\text{mm}$ )、特别是RF功率比 $P_i/P_0$ 选定30/70的情况下的特性最接近理想值。

图20A为表示以 $\Phi$ 、 $H$ 作为二维参数的电子密度空间分布的总体均匀性 $U_T$ 和边缘的均匀性 $U_E$ 的特性。其中所谓总体均匀性 $U_T$ 是如图20B所示,从晶片中心位置( $R_0$ )到晶片边缘位置( $R_{150}$ )的半径方向整个区域的面内的均匀性。此外边缘的均匀性 $U_E$ 是晶片边缘附近的区域、例如从半径130mm的位置( $R_{130}$ )到晶片边缘位置( $R_{150}$ )的区间的面内的均匀性。

如图20A的特性所示,突出部分36B的突出量 $H$ 在很大程度上左右总体的均匀性 $U_T$ ,对边缘的均匀性 $U_E$ 也有很大影响。另一方面突出部分36B的内径(直径) $\Phi$ 对边缘均匀性 $E$ 起作用的,对总体的均匀性 $T$ 几乎没有影响。总之突出部分36B的突出量 $H$ 优选的是25mm以下,特别优选的是设定在20mm左右。此外突出部分36B的内径(直径) $\Phi$ 优选的是设定在348mm~360mm的范围内,特别更优选的是设定在349mm附近。再有 $\Phi=348\text{mm}\sim 360\text{mm}$ 意味着突出部分36B配置在距晶片边缘在半径方向外侧24mm~30mm的位置。

重要的是在于外侧上部电极36的突出部分36B通过对于等离子体生成空间给予从周边一侧向半径方向内的电场,起到把等离子体封闭的作用方面。从这一点看,为了实现等离子体空间分布特性的均匀性,希望可以说突出部分36B必须位于晶片边缘更靠向半径方向外侧。另一方面突出部分36B的半径方向的宽度不重要,可以选择任意的宽度。

### (第3实施方式)

图21为表示本发明的第3实施方式的等离子体蚀刻装置的主要部分的纵截面图。特征以外的部分可以与上述第2实施方式的相同。第3实施方式的特征是在上述第2实施方式的外侧上部电极36的突出部分36B的周围设置密封部件104的结构。

密封部件104例如由进行了铝阳极化处理(alumite:氧化铝膜处理)的铝板构成,与处理容器10的侧壁进行物理的和电的结合。密封部件104从容器侧壁大致水平延伸到外侧上部电极36的突出部分36B的下面,以非接触或绝缘状态覆盖突出部分36B和环形遮挡部件42的下面。

外侧上部电极 36 的第 2 电极部件 36B 构成 L 形断面, 外围一侧的部分垂直向下形成突出部分。可以用与上述第 2 实施方式相同的数值条件设定此突出部分的突出量 H 和内径  $\Phi$ 。

密封部件 104 的功能是从外侧上部电极 36 的突出部分 36B 的下面和环形遮挡部件 42 的下面遮挡和封闭高频放电, 抑制在它的正下方的等离子体生成。这样可以进一步提高最初把等离子体封闭在晶片正上方的效果。

图 22A (有密封部件) 和图 22B (没有密封部件) 表示用密封部件 104 的封闭等离子体的效果的试验数据。不设置密封部件 104 的情况如图 22B 所示, 在半径方向上等离子体电子密度在晶片边缘位置 (150mm) 的外侧, 一度下跌后重新上升, 形成山字形。这是由于通过从外侧上部电极 36 的突出部分 36B 的下面和环形遮挡部件 42 的下面向垂直下方释放高频功率, 在它的正下方生成等离子体, 存在有电子和离子。这样由于在半径方向外侧离开晶片边缘位置相当距离的空间内, 存在有相当数量的等离子体, 晶片正上方的等离子体密度仅减小此部分。

与此相反, 象此实施方式那样设置密封部件 104 的情况如图 22A 所示, 在晶片边缘位置 (150mm) 的外侧, 电子密度 (等离子体密度) 实际向半径方向外侧单调减少, 相反在晶片正上方整体增加。这是由于由于存在有密封部件 104, 外侧上部电极 36 的突出部分 36B 的下面和环形遮挡部件 42 的下面不是高频的通路, 在它的正下方生成的等离子体大幅度减少。此外高频电源 52 的 RF 功率越大, 用密封部件 104 的封闭等离子体的效果以至防止等离子体扩散的效果也越大。

此外作为次要的效果, 象上述那样利用密封部件 104 在晶片边缘位置的外侧大幅度减弱生成等离子体, 在它的附近的自由基和离子等的蚀刻种也减少。因此可以有效地防止在容器内的各部位 (特别是密封部件 104 附近) 附着不希望有的重合膜。

例如现在在 Low - k 膜 (低介电率层间绝缘膜) 的蚀刻加工中, 在等离子体蚀刻后, 在同一腔体内使用  $O_2$  气进行灰化 (去除保护膜)。此时在之前的等离子体蚀刻中在容器内以聚合物形态附着的反应种 (例如 CF、F 等), 被用等离子体中的活性氧原子诱发, 有时会产生

把 Low - k 膜的通孔削成弯曲形状,或侵入到膜内,改变 k 值等的损坏 (Low - k 损坏)。可是如采用此实施方式,由于用密封部件 104 可以有效地抑制在等离子体蚀刻中的反应物的所不希望的堆积,可以解决上述的 Low - k 损坏的问题。此外密封部件 104 可以把任何的导电材料或半导体(例如硅)作为材质,也可以把不同材质进行组合来构成。

在图 21 中也表示了在上部电极 34 (36、38) 上设置冷却介质通路 106、108 的结构。分别通过配管 110、112 把用冷机装置(图中没有表示)进行温度调整的冷却介质循环提供给冷却介质通路 106、108。在外侧上部电极 36 中,在第一电极部件 36A 上设置冷却介质通路 106。第二电极部件 36B 由于通过提高热传导的涂层或薄片 102 结合在第一电极部件 36A 上,所以可以有效地利用冷却机构得到冷却。

在使高频电源 52、90 断开期间,也向各电极提冷却介质。迄今为止,在这种等离子体处理装置中,例如使用热传导液(galden)等的绝缘性的冷却介质。这种情况下,由于在冷却介质在冷却介质通路流动时因摩擦产生的静电,电极成为异常的高电压状态,担心在高频电源断开期间的维护等中,如人的手触摸而触电。可是在此实施方式的等离子体处理装置中,通过低通滤波器 92 (参照图 8) 内的电阻器 93,在内侧上部电极 38 上产生的静电可以跑入地线,可以防止触电的危险。

#### (第 4 实施方式)

使用上述第 3 实施方式中的等离子体蚀刻装置(图 8、图 21),进行在硅氧化膜( $\text{SiO}_2$ )上形成开口直径( $\Phi$ )  $0.22\ \mu\text{m}$  的孔的蚀刻试验。在此试验中把对外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 的 RF 功率的投入比例( $P_i/P_0$ )作为参数,来评价蚀刻特性(特别是蚀刻速率)。其他的蚀刻条件如下,图 23~图 25 表示试验结果的数据。

晶片口径=300mm

腔体内的压力=20mTorr

温度(上部电极/腔体侧壁/下部电极)=20/60/60℃

传热气体(He 气)供给压力(中心部位/边缘部位)=20/35Torr

上部和下部电极间距离=45mm

外侧上部电极的突出量(H)=15mm

工艺气体( $\text{C}_5\text{F}_8/\text{CH}_2\text{F}_2/\text{N}_2/\text{Ar}/\text{O}_2$ )=10/20/110/560/10sccm

高频功率（60MHz/2MHz） $\approx$ 2300W/3500W

蚀刻时间=120 秒

如图 23 所示，如内侧投入功率  $P_i$  的比例按 14%、18%、30%增加，电子密度也就是等离子体密度在晶片中央部分附近与  $P_i$  的比例成比例的增加，另一方面在晶片边缘部分附近几乎不变。以此为基础，通过使 RF 功率的投入比率（ $P_i/P_0$ ）可变，可以控制在半径方向的等离子体密度的空间分布特性。

图 24 为表示由与自由基密度成比例关系的反应生成物或反应种形成的重合膜堆积速度在半径方向的各个位置测定的结果。此试验是用于观察在可以改变 RF 功率的投入比例（ $P_i/P_0$ ）时，自由基密度受到的影响。此外使重合膜堆积的试样基板使用裸硅晶片。从图 24 的试验数据确认了，即使改变 RF 功率的投入比例（ $P_i/P_0$ ），对于重合膜的堆积速度、也就是对自由基密度的空间分布特性影响也非常小。

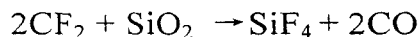
图 25 为把表示在上述的  $\text{SiO}_2$  的蚀刻中，在晶片上的半径方向的各个位置上测定的蚀刻深度。如图 25 所示，如内侧投入功率  $P_i$  的比例按 14%、18%、30%增加，蚀刻深度在晶片中央部分附近与  $P_i$  的比例成比例的增加，另一方面在晶片边缘部分附近几乎不变。也就是表示与电子密度相同的倾向（图 24）

这样从图 23～图 25 的试验数据可以确认以下事实。也就是通过改变对外侧上部电极 36 和内侧上部电极 38 的 RF 功率的投入比例（ $P_i/P_0$ ），对自由基密度的空间分布特性没有实质的影响，也就是由于自由基密度的空间分布控制独立，可以控制在半径方向上的等离子体密度的空间分布。因此利用可以改变 RF 功率的投入比例（ $P_i/P_0$ ），可以改善蚀刻深度也就是蚀刻速率的均匀性。此外即使使用在上述第 1 或第 2 实施方式中的等离子体时刻装置（图 1、图 8、图 18），也可以得到与上述相同的试验结果。

（第 5 实施方式）

使用上述第 3 实施方式的等离子体蚀刻装置（图 8、图 21），用 CF 系的处理气体对硅氧化膜（ $\text{SiO}_2$ ）进行蚀刻的模拟。在此模拟中以用中心浇淋头(62、56a)喷射的处理气体的流量  $F_C$  和用周围浇淋头(64、56a)喷射的处理气体的流量  $F_E$  的比例（ $F_C/F_E$ ）作为参数，评价了各

自由基或各反应生成物的分布。在此模拟中设在晶片表面不发生反应，也不产生反应生成物和反应物的吸附，假设在基底  $\text{SiO}_2$  膜上单纯发生下述反应。



其他的重要蚀刻条件如下，图 26～图 30 表示对于各自由基或各反应生成物的模拟的结果。在图 31 中表示通过从主要蚀刻气体 ( $\text{C}_4\text{F}_8$ ) 的分子分阶段离解生成的自由基的种类和生成率(括弧内的%的数字)。

晶片口径=200mm

腔体内的压力=50mTorr

温度(上部电极/腔体侧壁/下部电极)=20/60/60℃

传热气体(He 气)供给压力(中心部位/边缘部位)=10/35Torr

上部和下部电极间距离=30mm

外侧上部电极的突出量(H)=15mm

工艺气体( $\text{C}_4\text{F}_8/\text{N}_2/\text{Ar}$ ) $\approx$ 5/120/1000sccm

高频功率(60MHz/2MHz) $\approx$ 1200W/1700W

如图 26 所示，作为主要反应种的  $\text{CF}_2$  的密度分布特性受中心/周围气体流量比例( $F_C/F_E$ )很大影响。也就是越提高中心气体流量  $F_C$  的比例，晶片中央部分附近的  $\text{CF}_2$  密度越高，另一方面晶片边缘附近的  $\text{CF}_2$  密度几乎不变。如图 28 所示，表示 CO 自由基的密度分布特性相对中心/周围气体流量比例( $F_C/F_E$ )也产生同样的变化。不过如图 27 所示，Ar 自由基的密度分布特性相对中心/周围气体流量比例( $F_C/F_E$ )几乎没有变化。

如观察反应生成物，如图 29 和图 30 所示， $\text{SiF}_4$  密度和 CO 密度都由中心/周围气体流量比例( $F_C/F_E$ )左右。更详细地说，越降低中心气体流量  $F_C$  的比例，晶片中央部分附近的  $\text{SiF}_4$ 、CO 密度越高，另一方面晶片边缘附近几乎不变。即使使中心气体流量  $F_C$  和周围气体流量  $F_E$  相同( $F_C/F_E=50/50$ )，晶片中央部分附近也比晶片边缘附近高。这样反应生成物容易积聚在中央部分一侧是因为用来自上方的新鲜气体流把反应生成物压向侧方挪开的作用比周围部分弱。

如在晶片上反应生成物不均匀分布，不仅影响到各位置的处理气体供给率和化学反应的均匀性，还有时蚀刻形状和选择性等受到直接

影响。在此实施方式中如图 29 和图 30 所示，利用设定中心气体流量  $F_C$  比周围气体流量  $F_E$  多（在图中的例子中  $F_C/F_E = 70/30$  附近），可以使反应生成物的空间密度均匀化。此外即使使用上述第 1 或第 2 实施方式中的等离子体蚀刻装置（图 1、图 8、图 18），也能得到与上述相同的模拟结果。

（第 6 实施方式）

使用上述第 3 实施方式的等离子体蚀刻装置（图 8、图 21），进行蚀刻 BARC（反射防止膜）的试验。在此试验中以中心/周围气体流量比例（ $F_C/F_E$ ）为参数，评价蚀刻形状和选择性。图 32A 表示评价试样。使掩模开口直径（ $\Phi$ ）为  $0.12\ \mu\text{m}$ 、光致抗蚀膜的膜厚为 350nm、BARC 的膜厚为 80nm、 $\text{SiO}_2$  的膜厚为 700nm。作为选择性评价项目测定了“氧化膜损失”和“保护膜残量”。作为蚀刻形状或尺寸精度的评价项目测定了“底部 CD”。图 32B 表示设定为  $F_C/F_E = 50/50$  时的各评价项目的测定值，图 32C 表示设定为  $F_C/F_E = 70/30$  时的各评价项目的测定值。测定点的“中心”是晶片的中心点的位置，“边缘”是从晶片的切口端向中心点 5mm 的位置。主要蚀刻条件如下。

晶片口径=300mm

腔体内的压力=150mTorr

传热气体（He 气）供给压力（中心部位/边缘部位）=10/25Torr

上部和下部电极间距离=30mm

外侧上部电极的突出量（H）=15mm

工艺气体（ $\text{CF}_4$ ） $\approx 200\text{sccm}$

高频功率（60MHz/2MHz） $\approx 500\text{W}/600\text{W}$

蚀刻时间=30 秒

在此 BARC 蚀刻的评价项目中，“氧化膜损失”为作为 BARC 蚀刻的延长削去基底膜的  $\text{SiO}_2$  后的深度。此值越小越好，与此同时晶片上的波动（特别是中心和边缘之间的波动）越小越好。“保护膜残量”是蚀刻完成后残留的光致抗蚀膜的厚度。此值越大越好，同样波动越小越好。“底部 CD”是在 BARC 上形成的孔的底的直径。此值越接近掩模直径  $\Phi$  越好，同样波动越小越好。

如图 32B 所示，在设定中心气体流量  $F_C$  和周围气体流量  $F_E$  为相

同量（5：5）时，在全部的评价项目中，中心和边缘之间的波动大，特别是“保护膜残量”的波动大。与此相反，在设定中心气体流量  $F_C$  比周围气体流量  $F_E$  多（7：3）的情况下，如图 32C 所示全部的评价项目良好，均匀稳定，选择性和蚀刻形状显著改善。

这样如采用此实施方式，在处理容器 10 内，特别是在设定在上部电极 34 和下部电极 16 之间的等离子体生成空间中，调整从设置在上部电极 34 的内侧上部电极 38 上的中心浇淋头（62、56a）喷射的处理气体流量  $F_C$  和从周围浇淋头（64、56a）喷射的处理气体流量  $F_E$  的比例（ $F_C/F_E$ ）。这样控制自由基密度的空间分布，可以实现用自由基基体的蚀刻特性（选择性、蚀刻形状等）的均匀化。此外即使使用上述第 1 或第 2 实施方式中的等离子体蚀刻装置（图 1、图 8、图 18），也能得到与上述相同的测定结果。

#### （第 7 实施方式）

使用上述第 3 实施方式中的等离子体蚀刻装置（图 8、图 21），进行蚀刻  $\text{SiO}_2$  膜的试验。在此试验中以中心/周围气体流量比例（ $F_C/F_E$ ）为参数，评价蚀刻形状。图 33A 表示评价试样。使掩模开口直径（ $\Phi$ ）为  $0.22\ \mu\text{m}$ 、光致抗蚀膜的膜厚为  $500\text{nm}$ 、BARC 的膜厚为  $100\text{nm}$ 、 $\text{SiO}_2$  的膜厚为  $1\ \mu\text{m}$ 。作为蚀刻形状的评价项目测定了“蚀刻深度”和“顶端 CD”、“底部 CD”。图 33B 表示设定为  $F_C/F_E = 50/50$  时的各评价项目的测定值，图 33C 表示设定为  $F_C/F_E = 10/90$  时的各评价项目的测定值。主要蚀刻条件如下。

晶片口径=300mm

腔体内的压力=20mTorr

温度（上部电极/腔体侧壁/下部电极）=20/60/60℃

传热气体（He 气）供给压力（中心部位/边缘部位）=20/35Torr

上部和下部电极间距离=45mm

外侧上部电极的突出量（H）=15mm

工艺气体（ $\text{C}_5\text{F}_8/\text{CH}_2\text{F}_2/\text{N}_2/\text{Ar}/\text{O}_2$ ）=10/20/110/560/10sccm

高频功率（60MHz/2MHz）=2300W/3500W

RF 功率比（内侧投入功率  $P_i$ /外侧投入功率  $P_o$ ）=30:70

蚀刻时间=120 秒

在此  $\text{SiO}_2$  蚀刻的评价项目中，“蚀刻深度”是蚀刻时间（120 秒）期间在  $\text{SiO}_2$  膜上形成的孔的深度，相当于蚀刻速度。“顶端 CD”和“底部 CD”是在  $\text{SiO}_2$  膜上形成的孔的上端和下端（底）的直径，两者的值越接近，垂直形状的性能（各向异性）越好。当然所有的评价项目“中心”和“边缘”之间的波动越小越好。

如图 33B 所示，在设定中心气体流量  $F_C$  和周围气体流量  $F_E$  为相同量的 5:5 时，不仅“蚀刻深度”有波动，而且在各位置顶端 CD/底部 CD 的比小，有很大的锥形化的倾向。与此相反，在设定中心气体流量  $F_C$  比周围气体流量  $F_E$  少（1:9）的情况下，如图 33C 所示，“蚀刻深度”也就是蚀刻速度均匀化，同时能实现垂直形状性能的提高和均匀化。

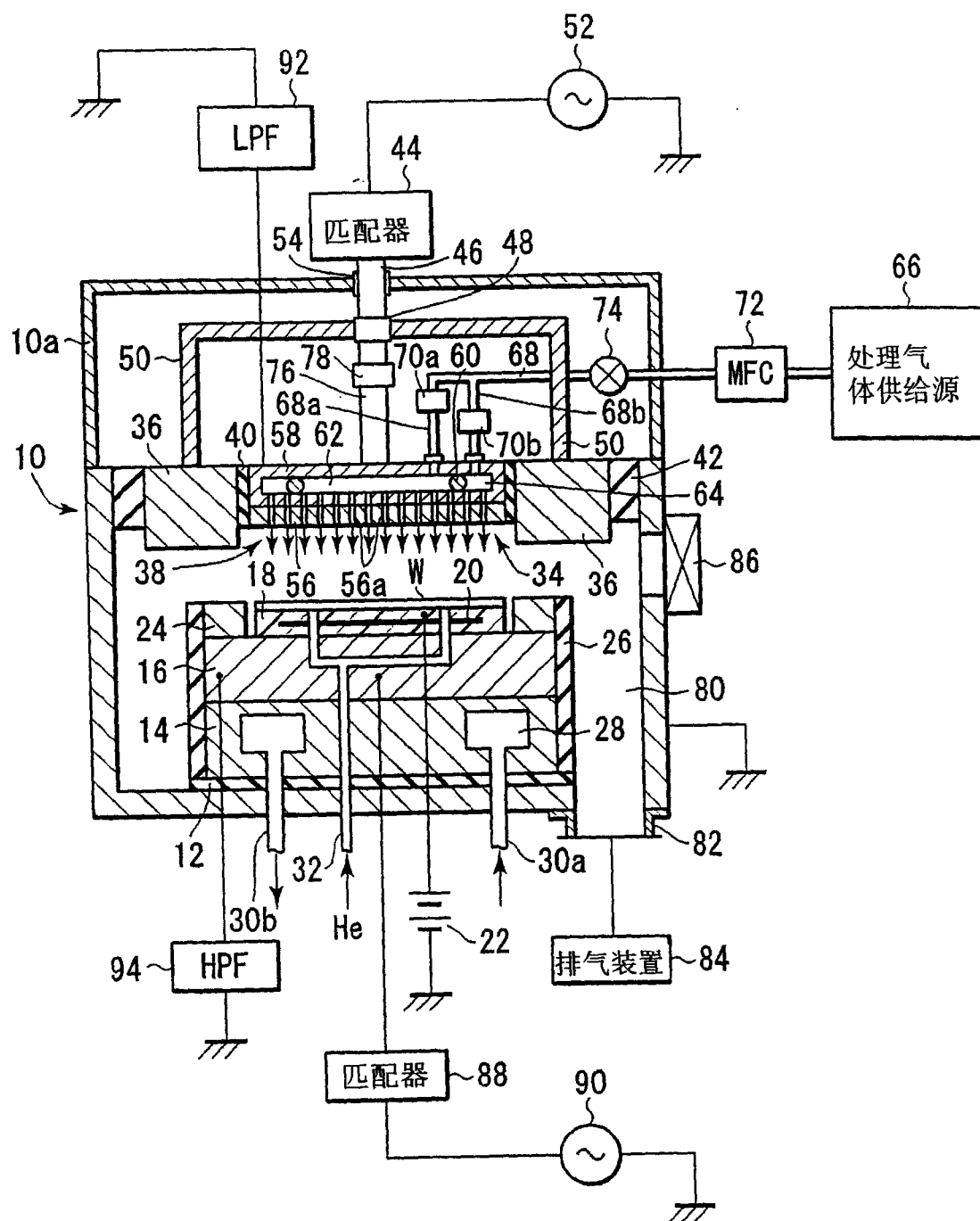
这样在此实施方式中，也利用调整内侧气体流量  $F_C$  和外侧气体流量  $F_E$  的比例（ $F_C/F_E$ ），控制自由基密度的空间分布，可以达到用自由基基体的蚀刻特性（特别是蚀刻形状）的均匀化。此外即使使用上述第 1 或第 2 实施方式中的等离子体蚀刻装置（图 1、图 8、图 18），也能得到与上述相同的测定结果。

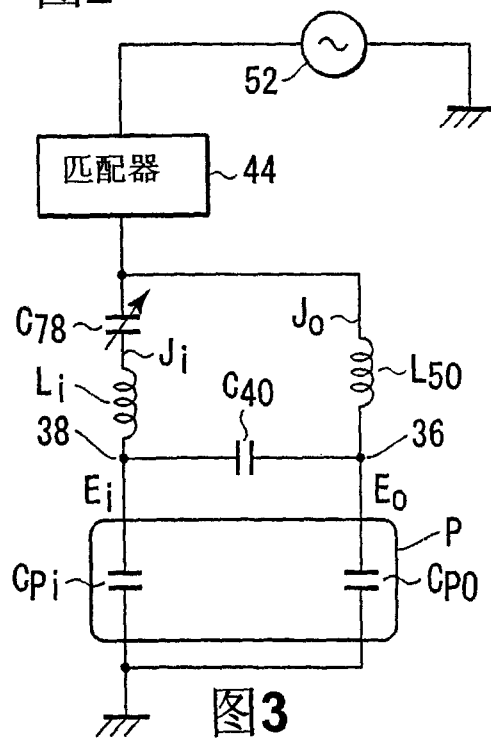
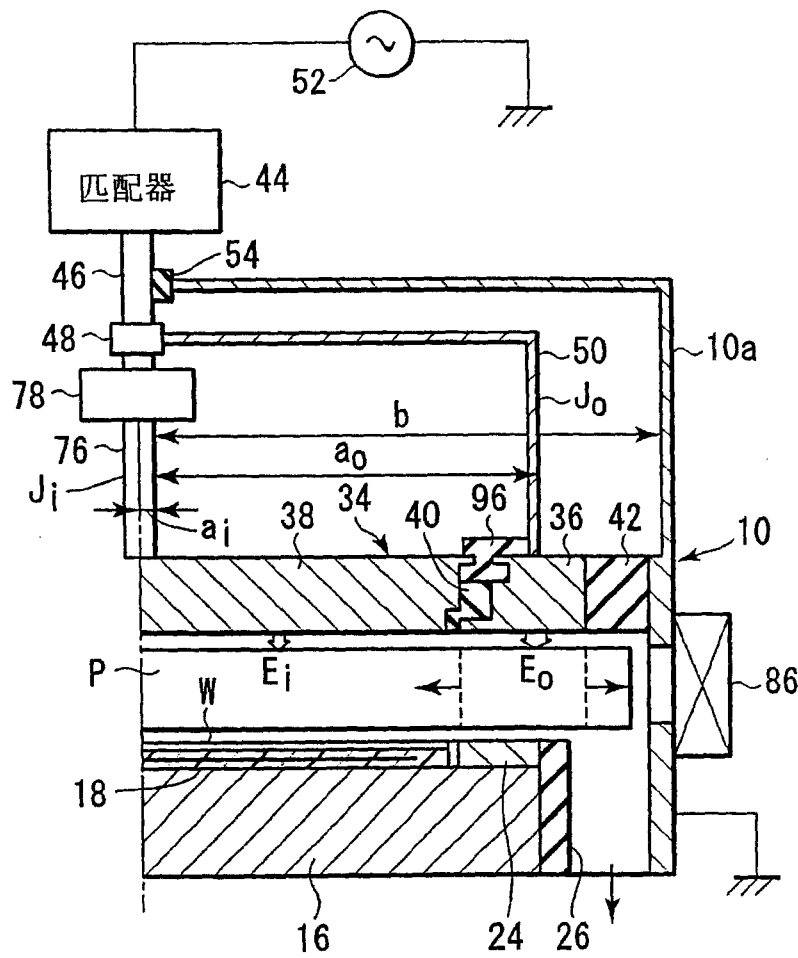
如采用以上所述的实施方式，在处理容器 10 内设定的等离子体生成空间中，等离子体密度分布的控制和自由基密度分布的控制可以独立进行。这样例如图 34 的图所示，在多种用途的等离子体处理的用途中，可以恰好以两个系统的独立控制对应。

上述的实施方式可以以本发明的技术思想为基础进行各种变化。例如也可以是把来自第一高频电源 52 的高频通过匹配器 44 和供电筒 50 等仅提供给外侧上部电极 36，不提供给内侧上部电极 38 的结构。在此情况下，也可以是内侧上部电极 38 发挥作为浇淋头的功能，或作为用于把来自第二高频电源 90 的高频流向地线的电极的功能。或者也可以把内侧上部电极 38 更换成没有电极功能的专用的浇淋头。此外上述的实施方式中，用一个或单体的环形电极构成外侧上部电极 36，但也可以用整体环形配置的多个电极构成。此外也可以采用使外侧上部电极 36 的内径非常小的结构和使外侧上部电极 36 成圆盘形的结构。此外根据用途的不同，可以省掉第二高频电源 90。本发明不限于等离子体蚀刻，可以适用于等离子体 CVD、等离子体氧化、等离子体氮化、

---

溅射等各种等离子体处理。此外在本发明中的被处理基板也不是限定于半导体晶片，也可以是平板显示器用的各种基板、光掩模、CD 基板、印刷基板等。





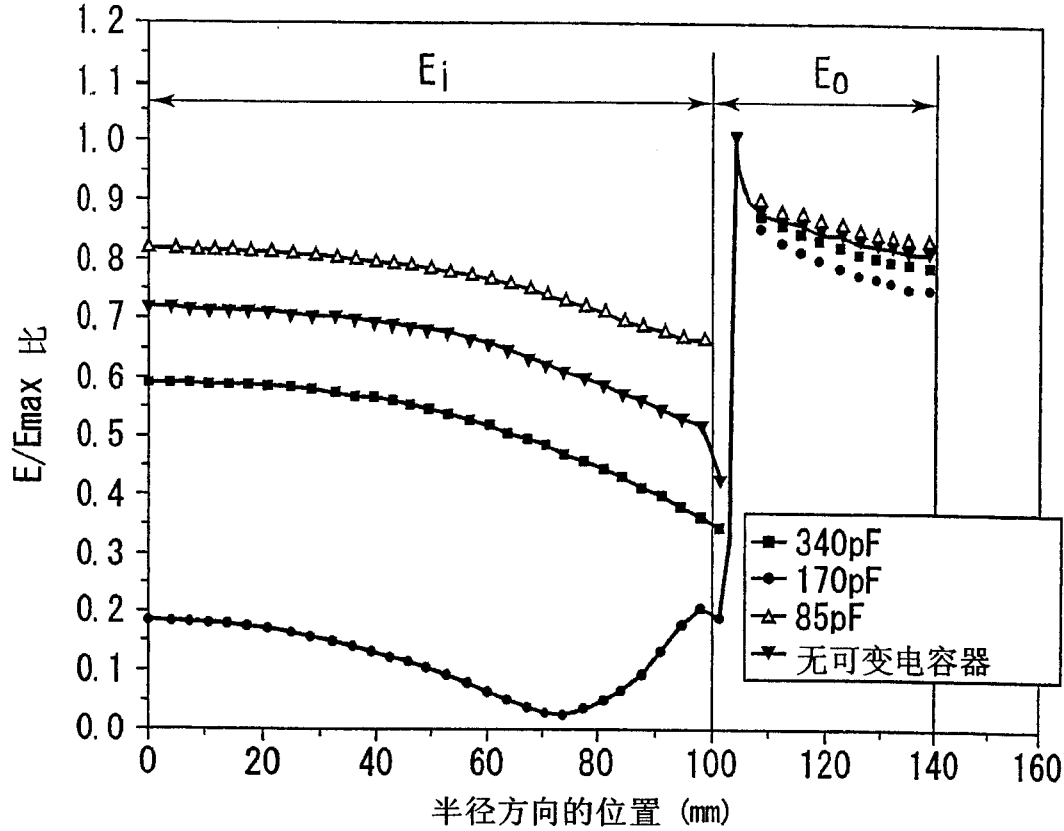


图4

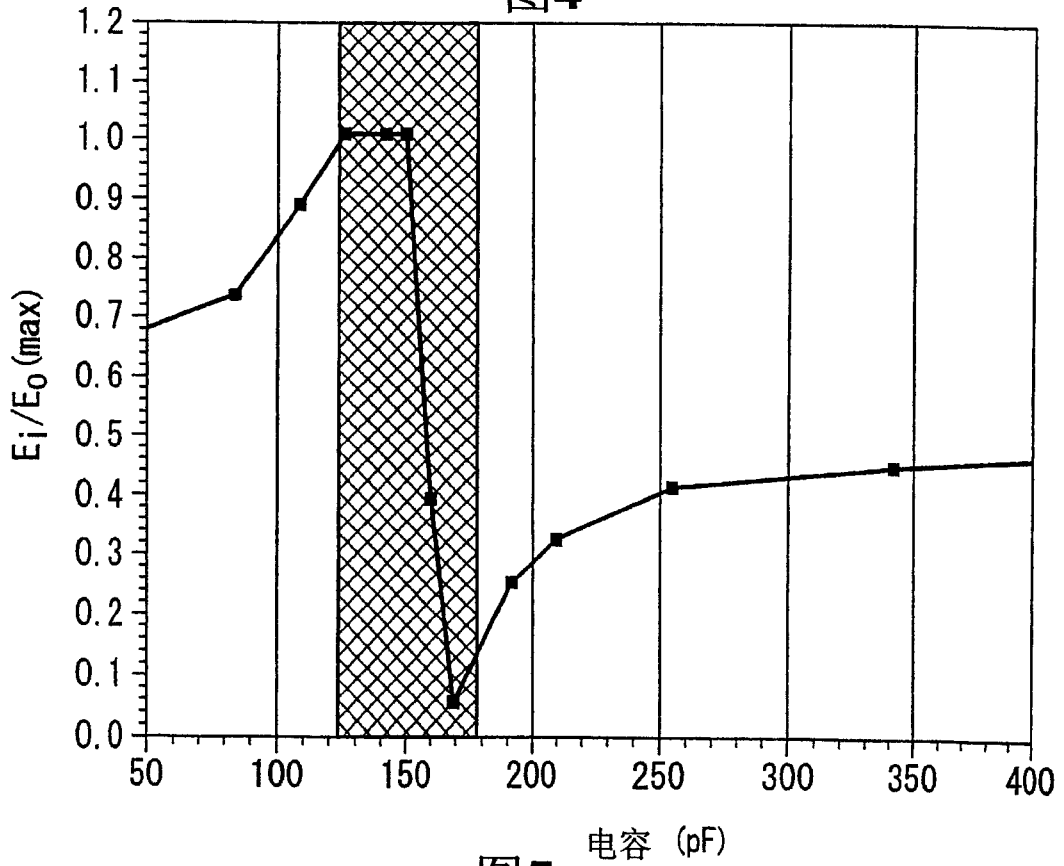


图5

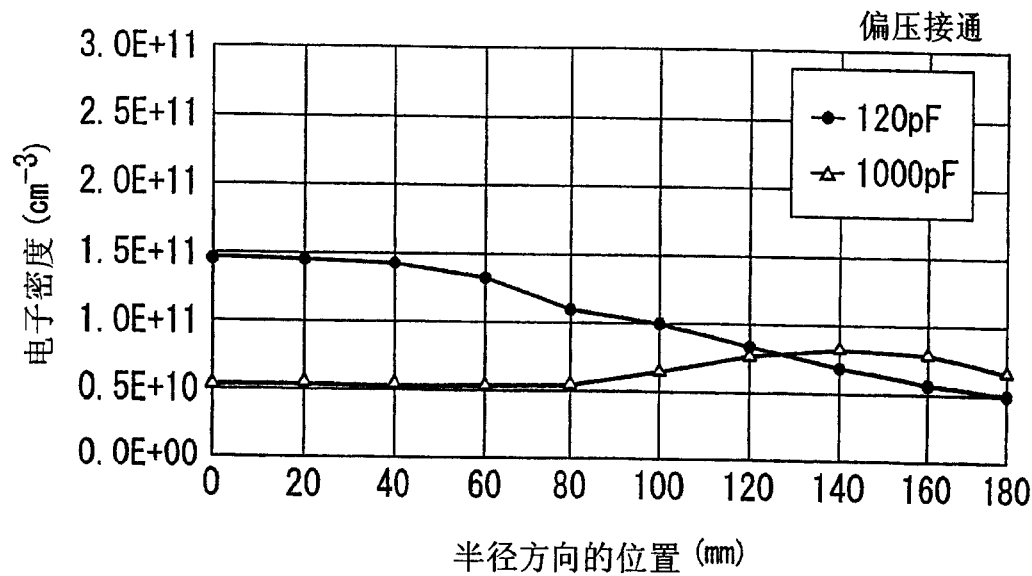


图6A

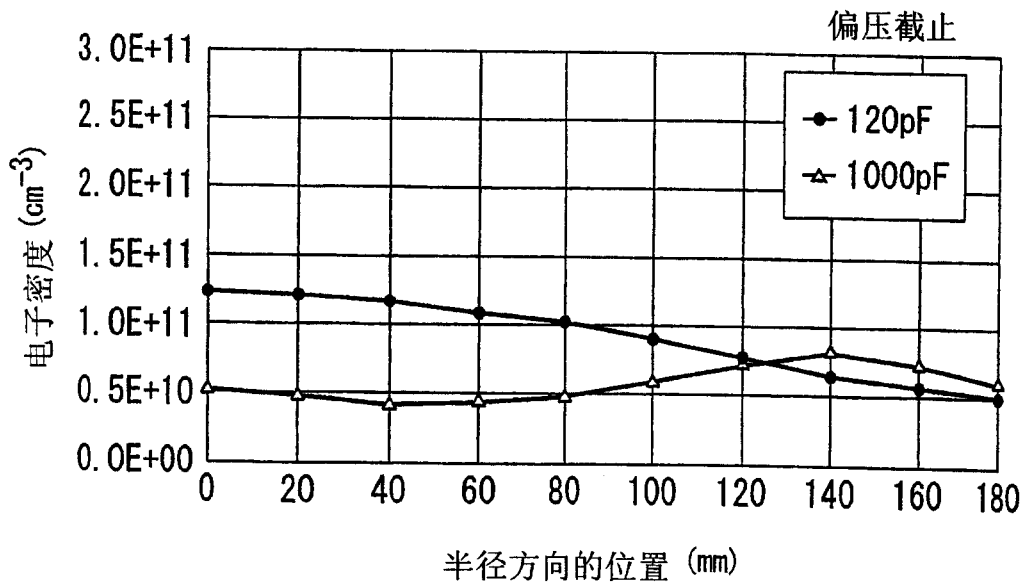


图6B

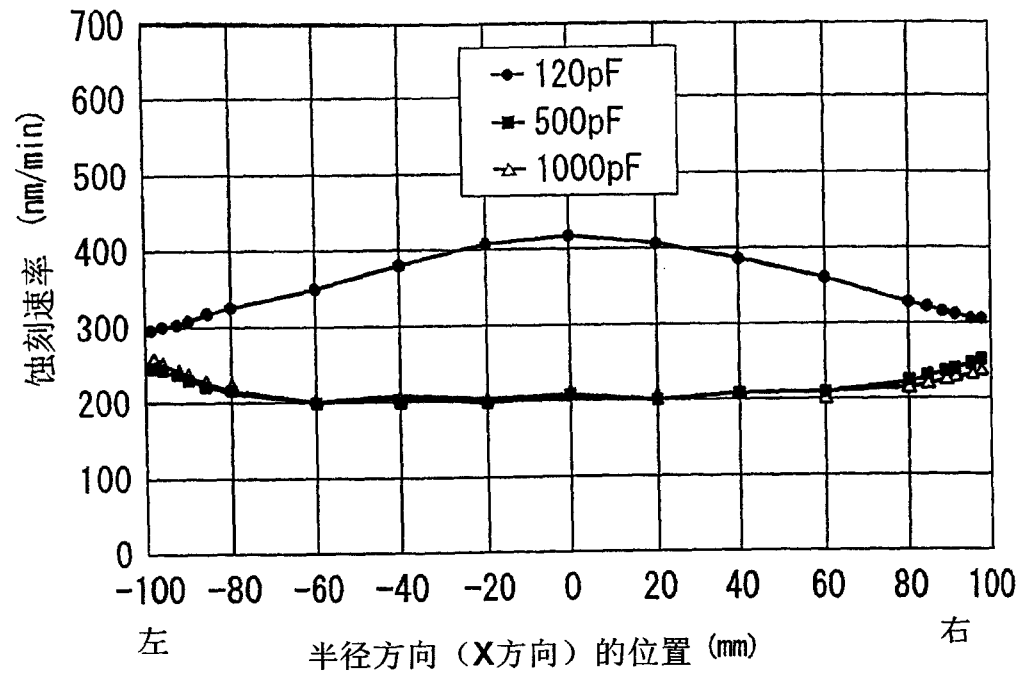


图7A

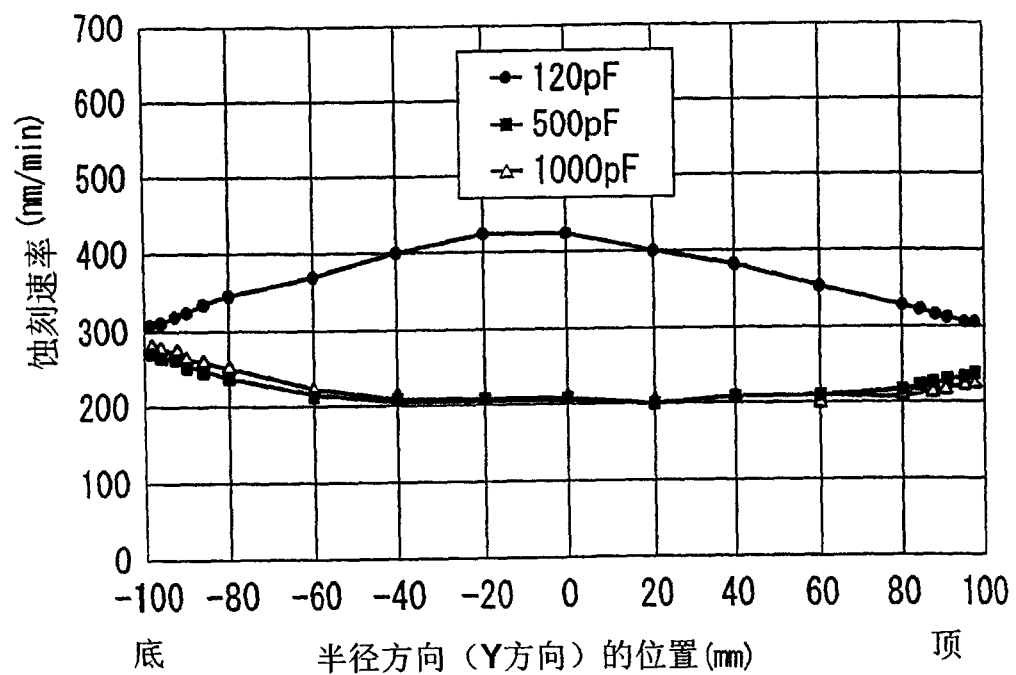


图7B

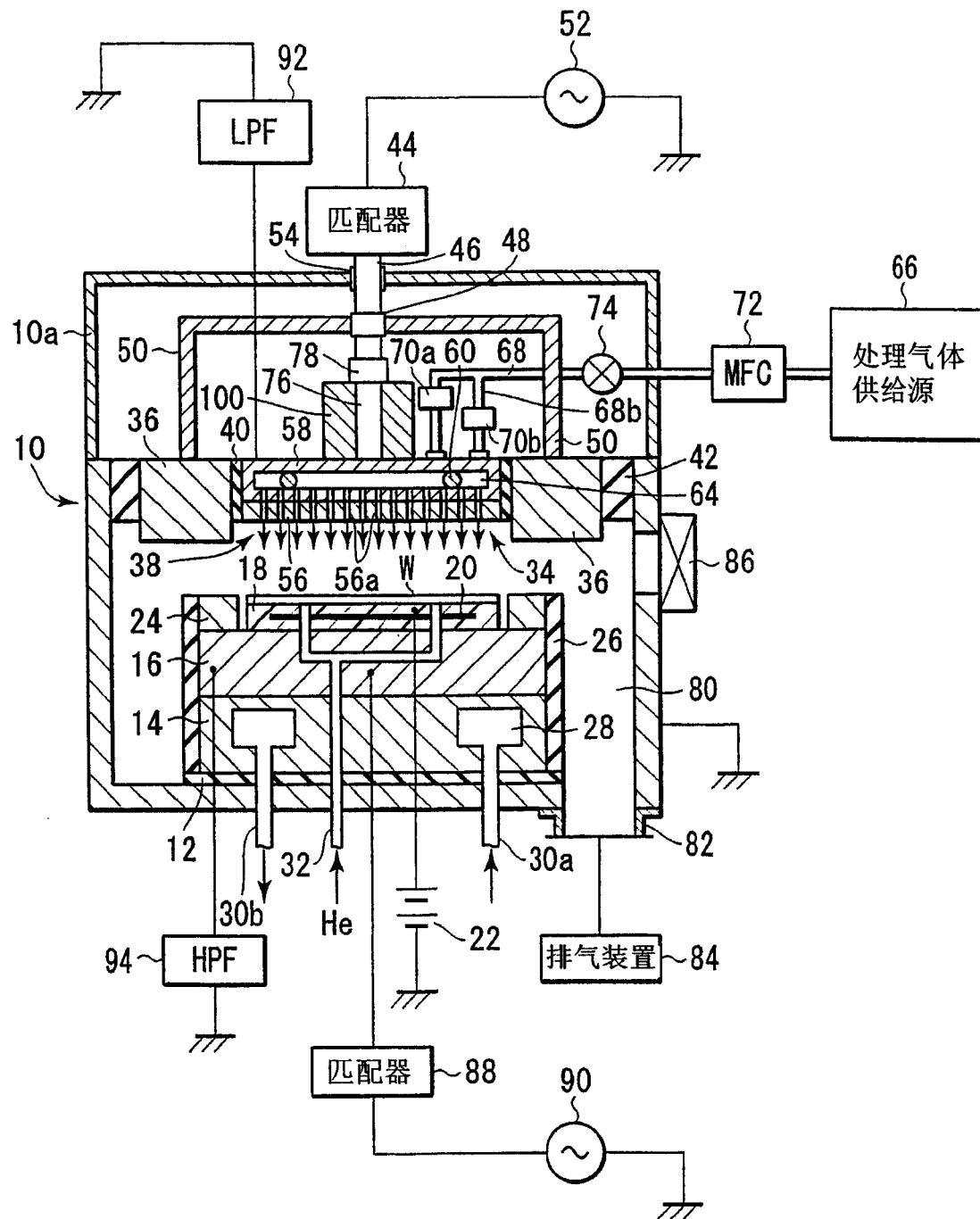


图8

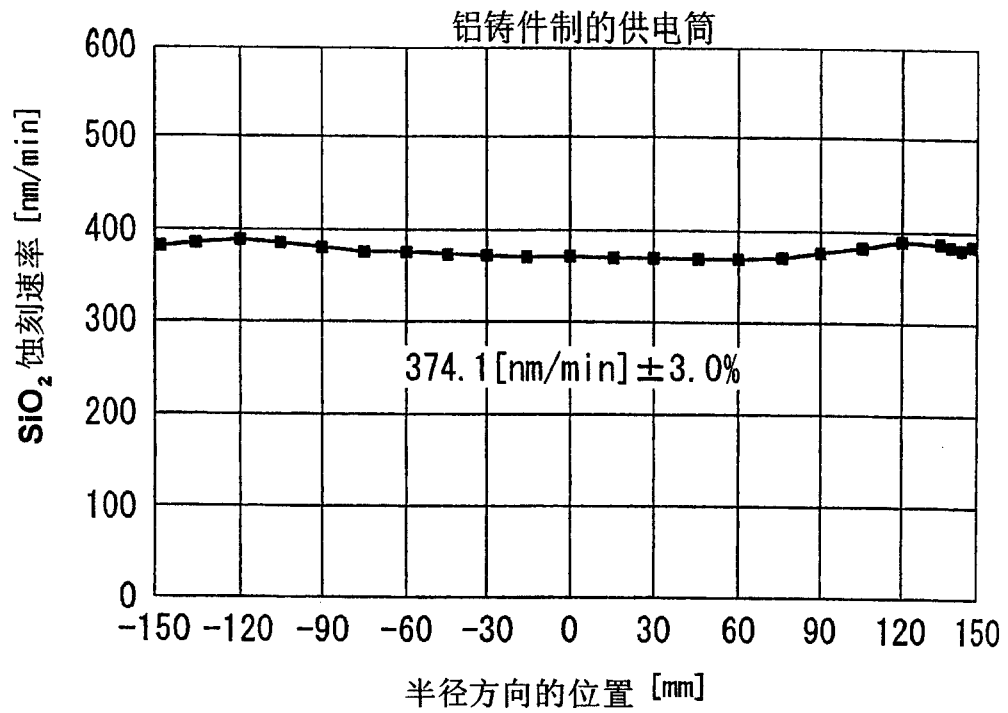


图9A

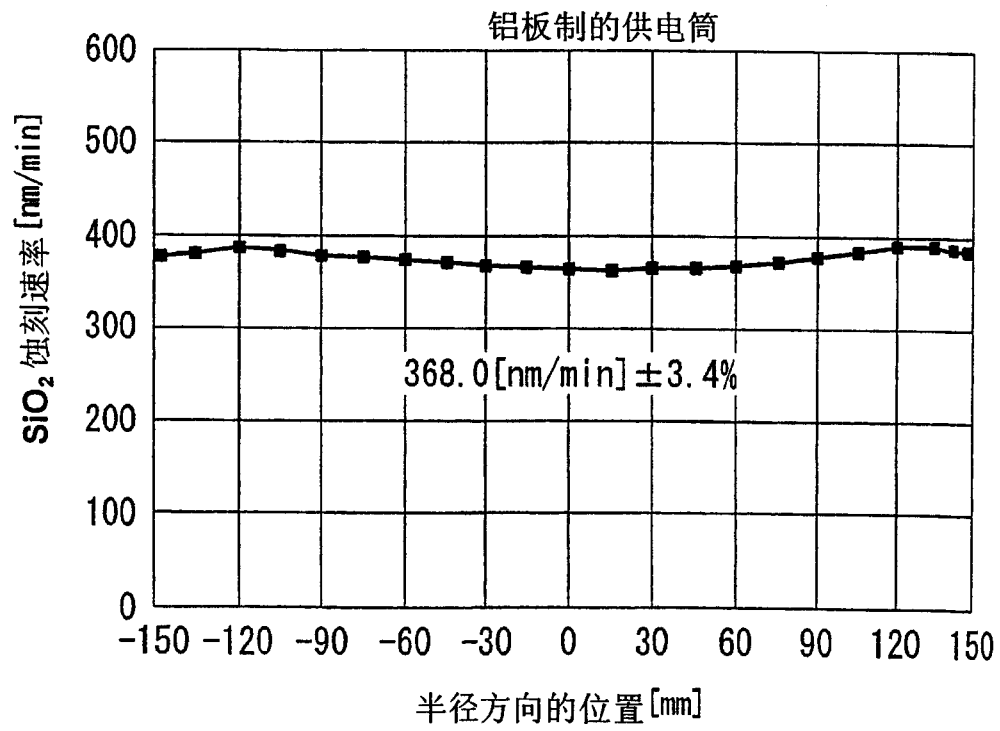


图9B

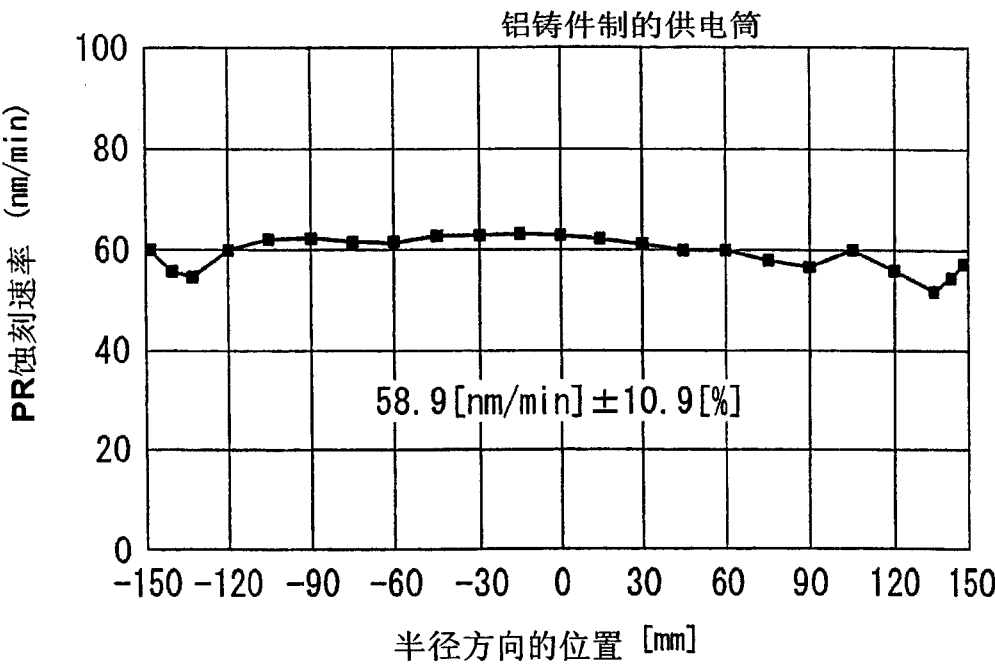


图10A

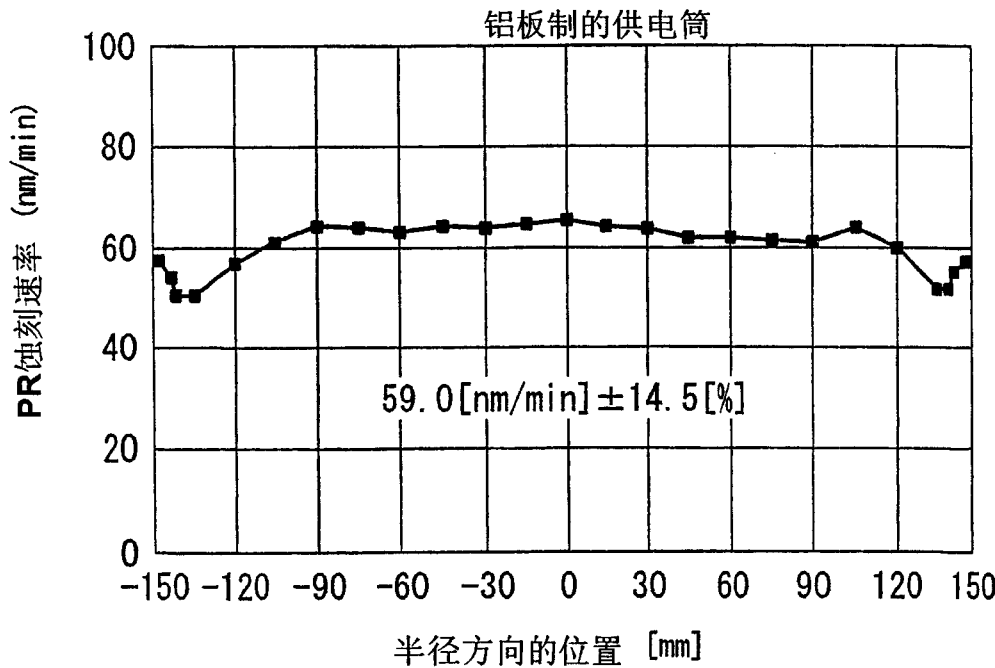


图10B

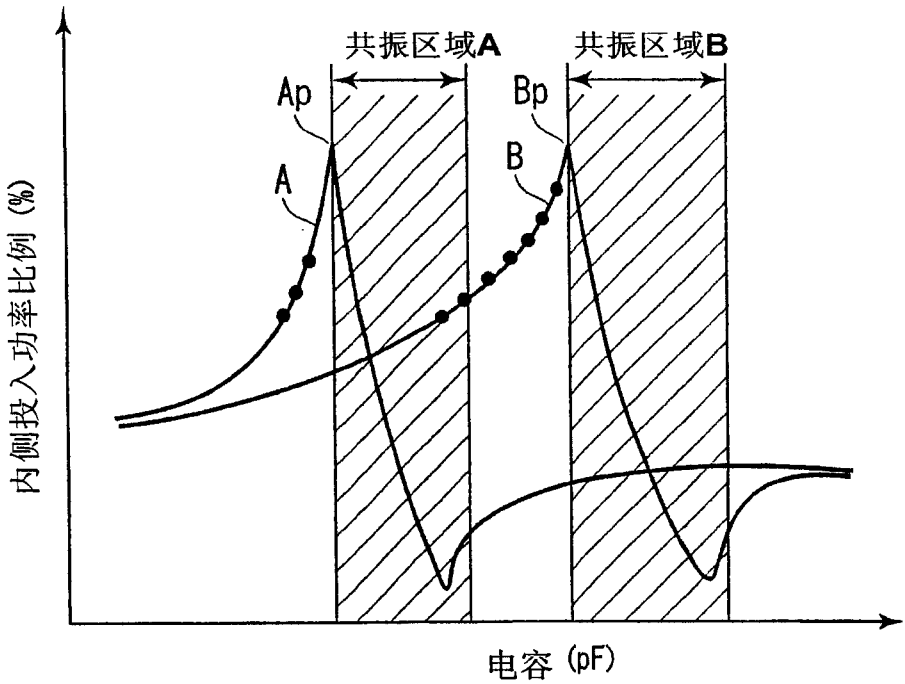


图11

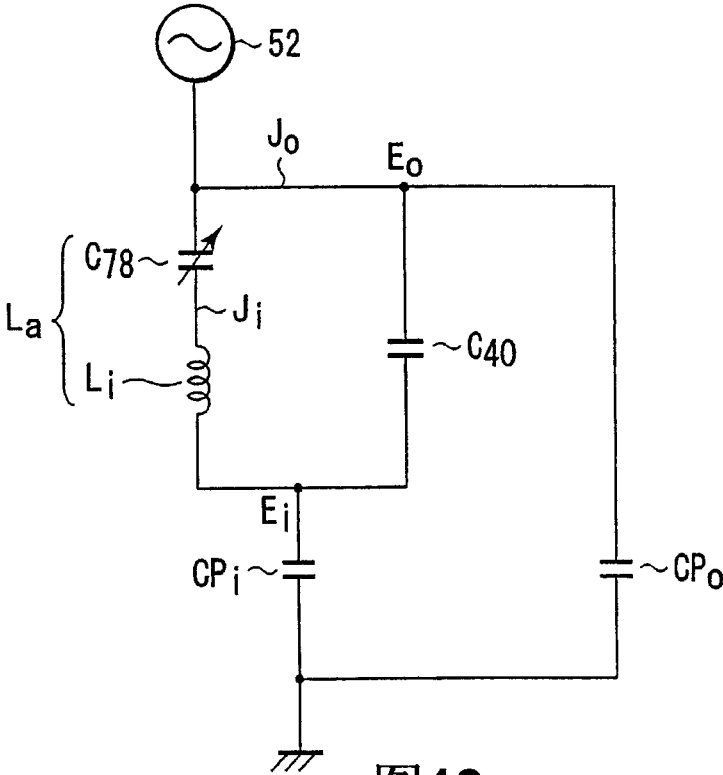


图12

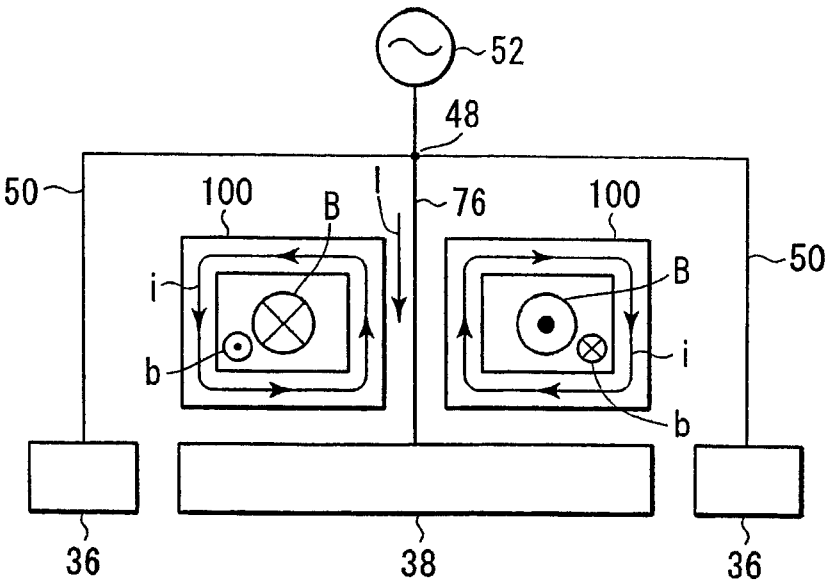


图13

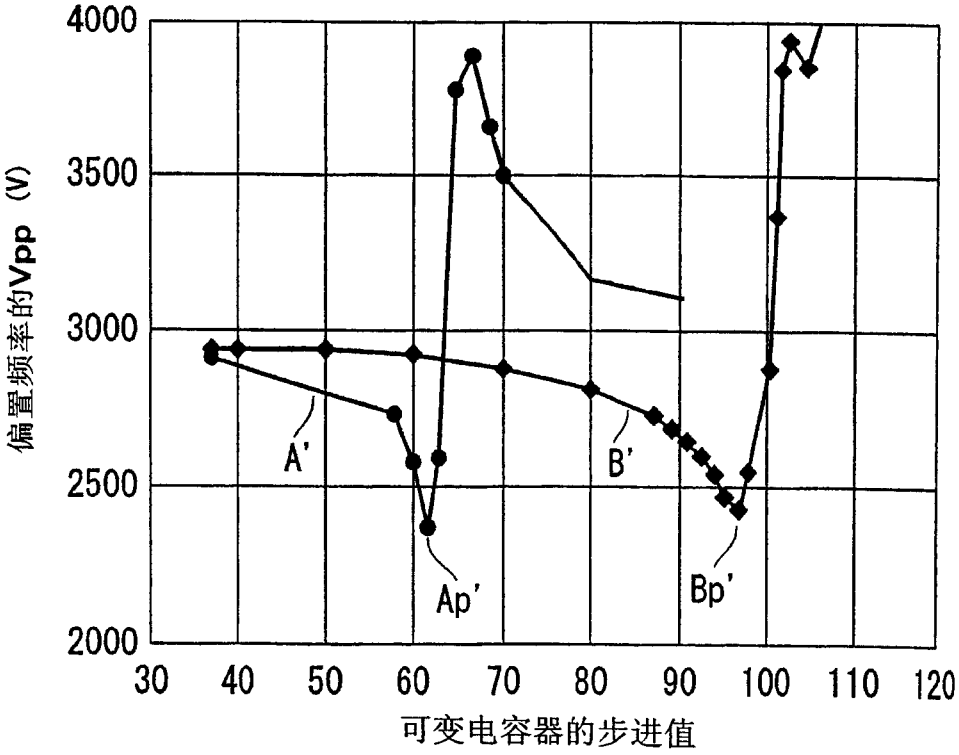


图14

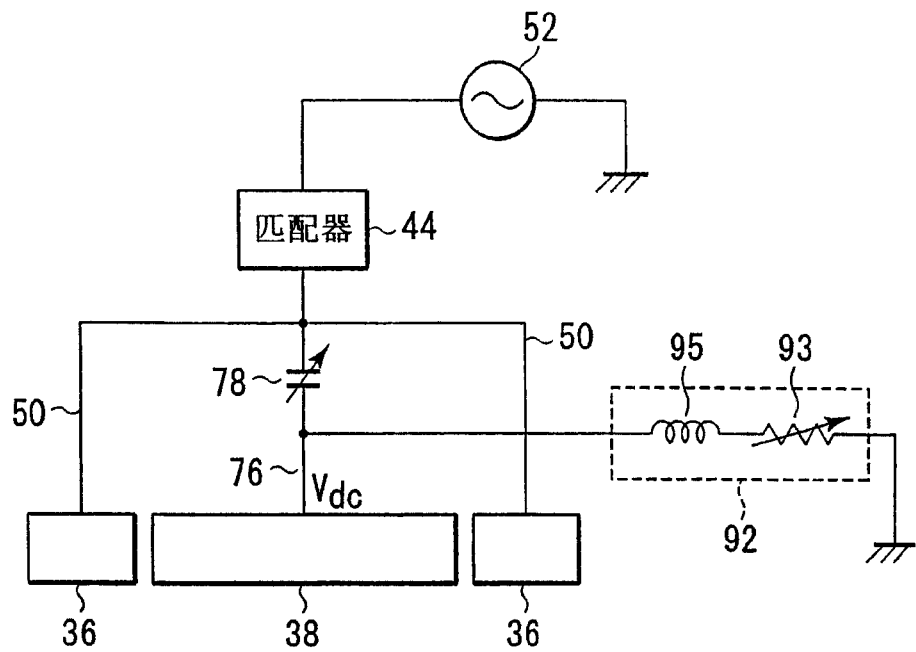


图15A

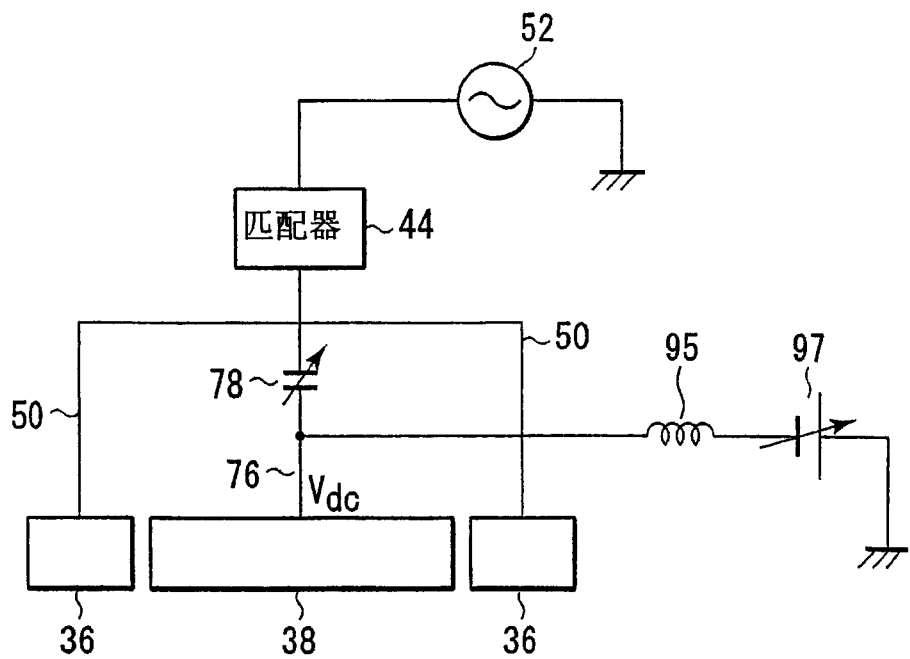


图15B

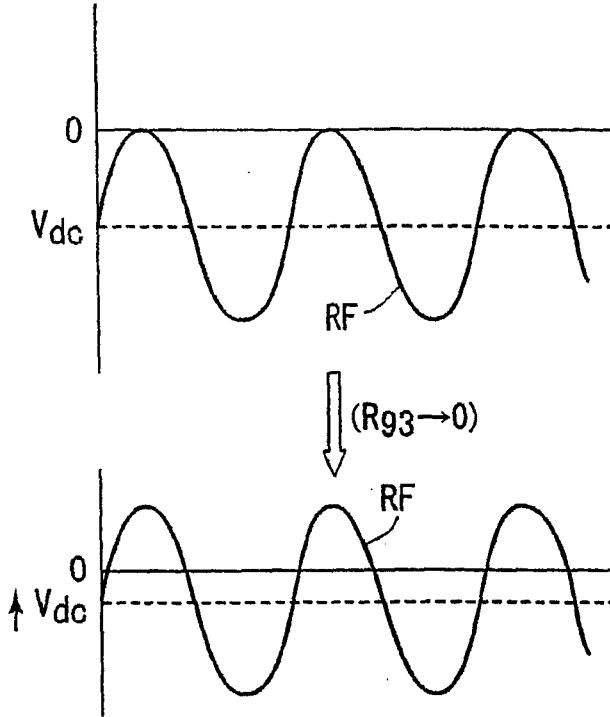


图16

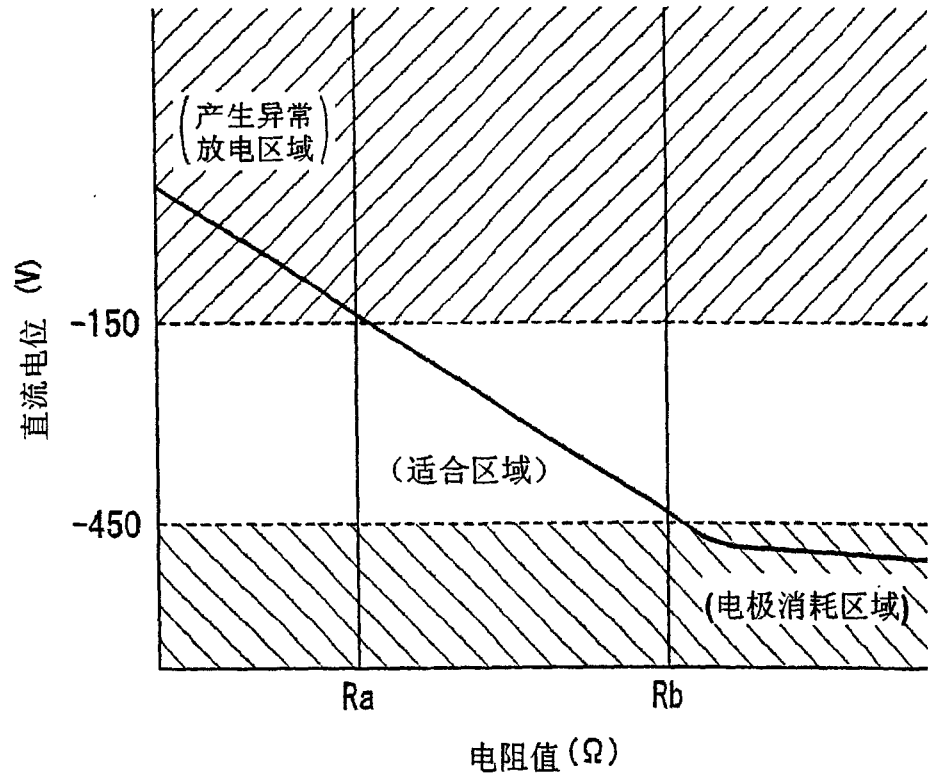


图17

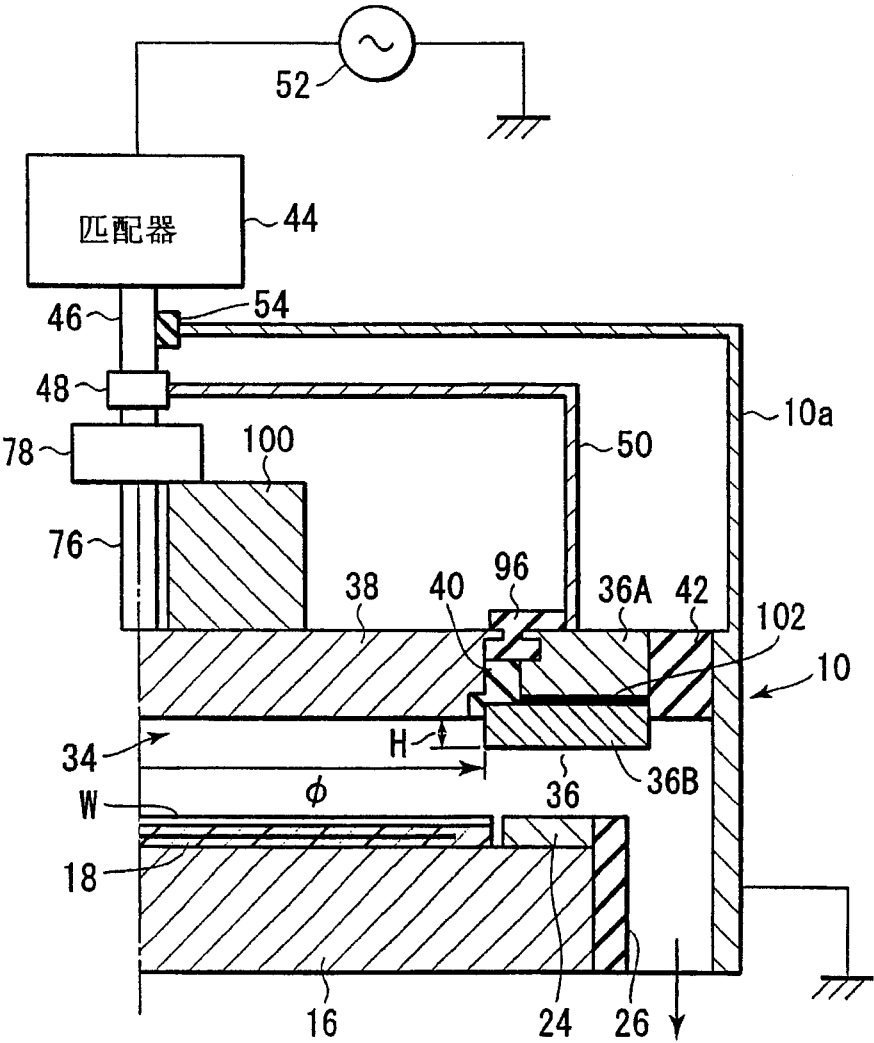


图18

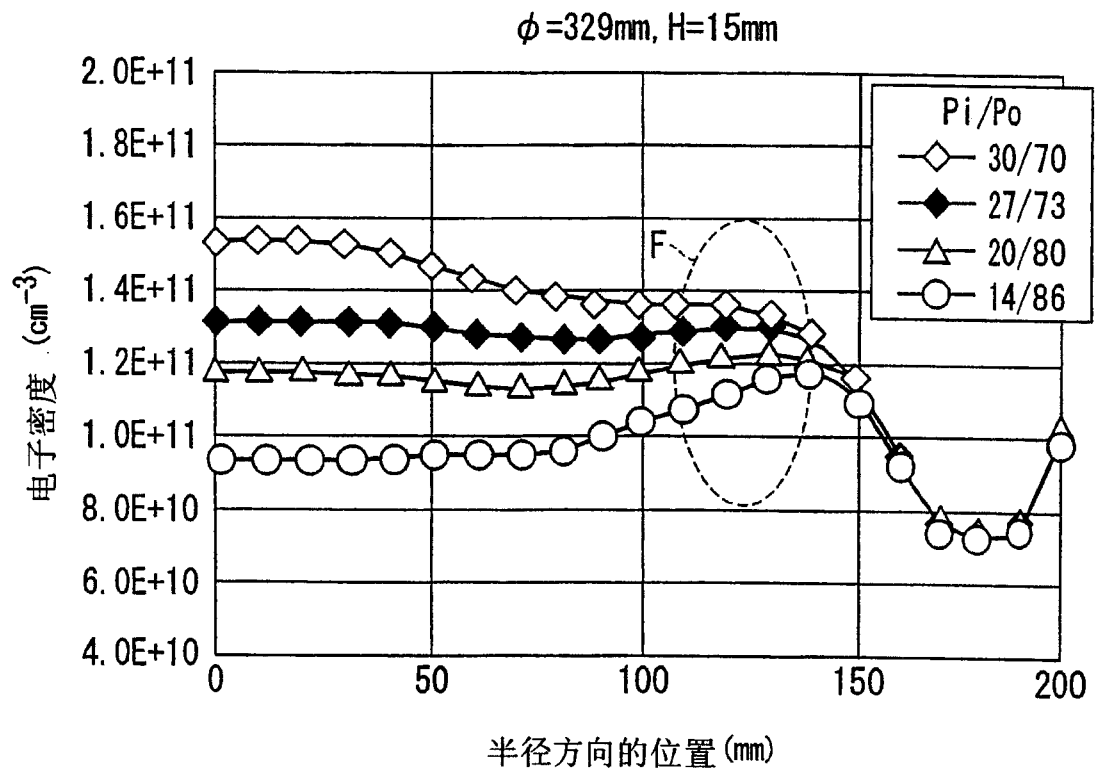


图19A

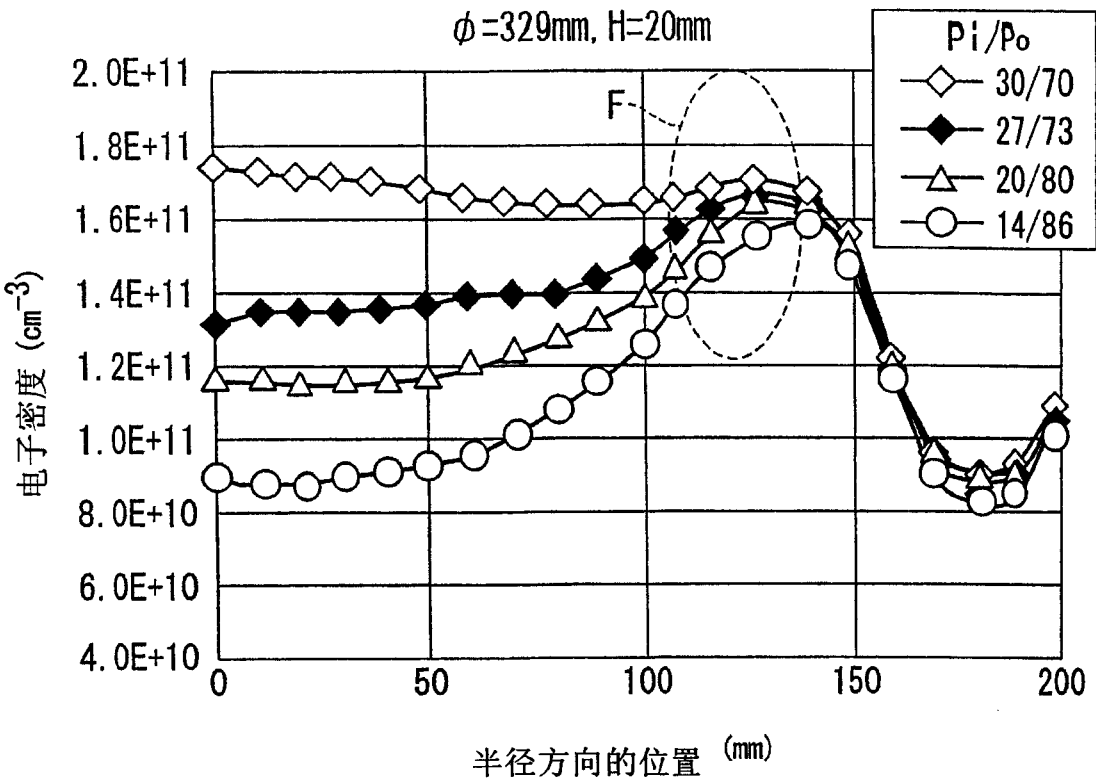


图19B

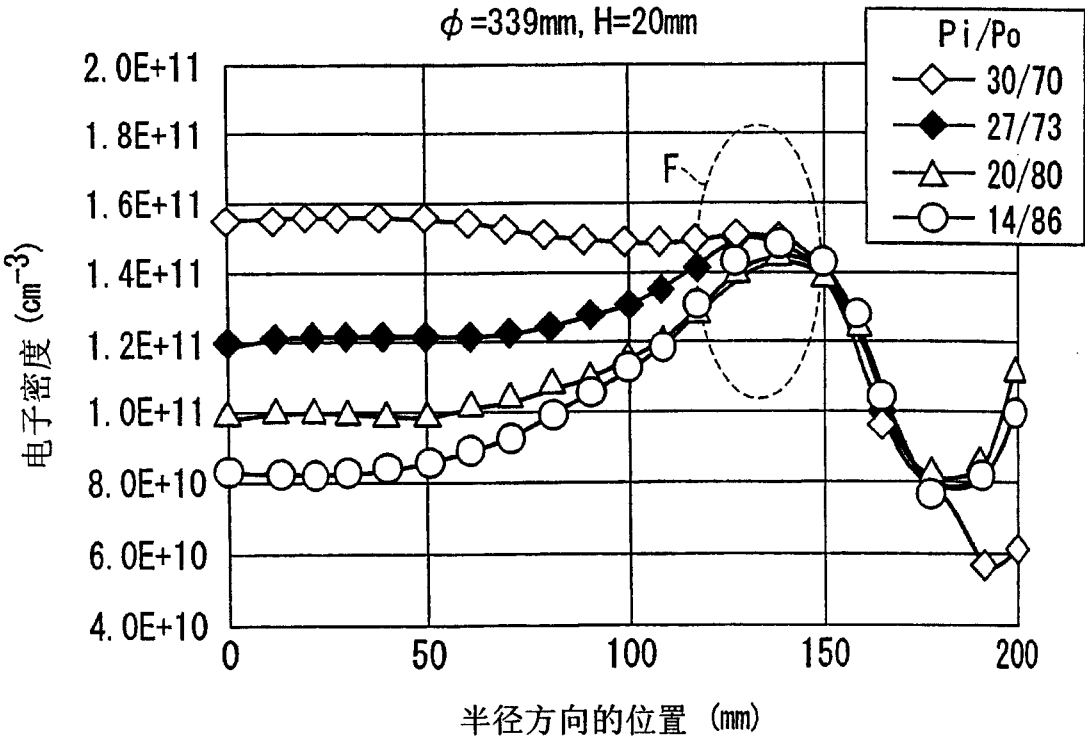


图19C

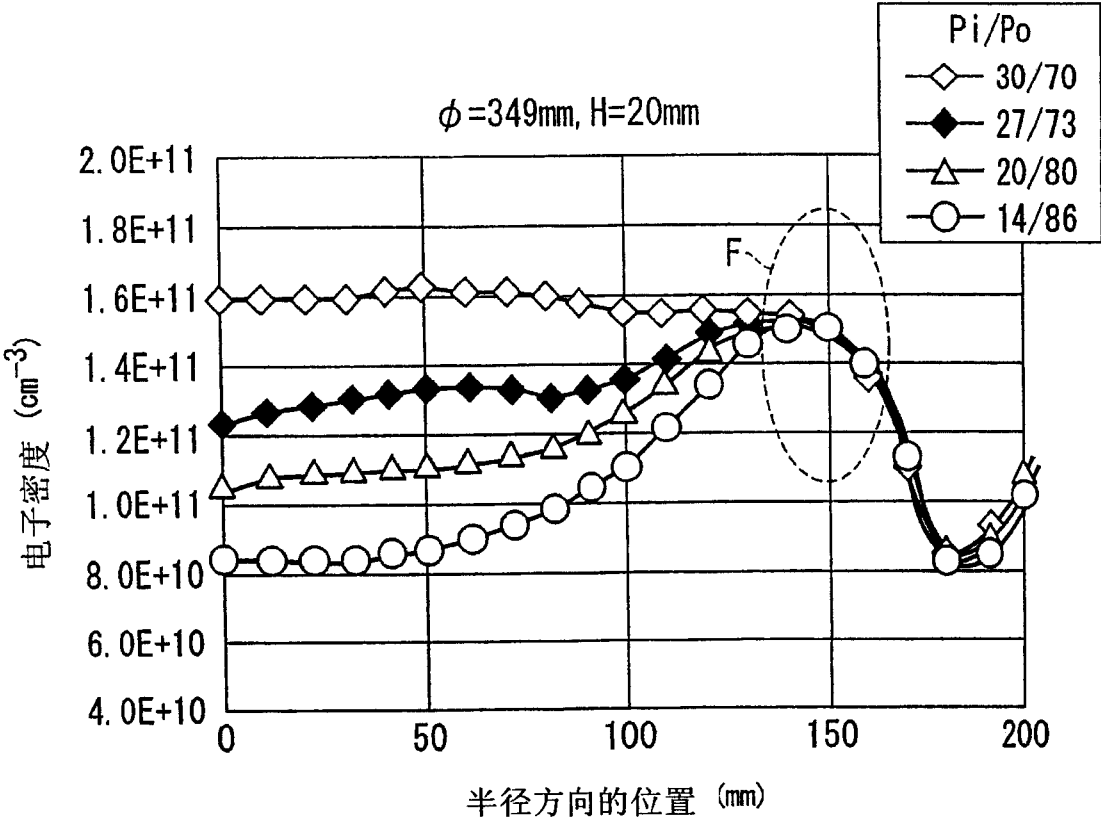


图19D

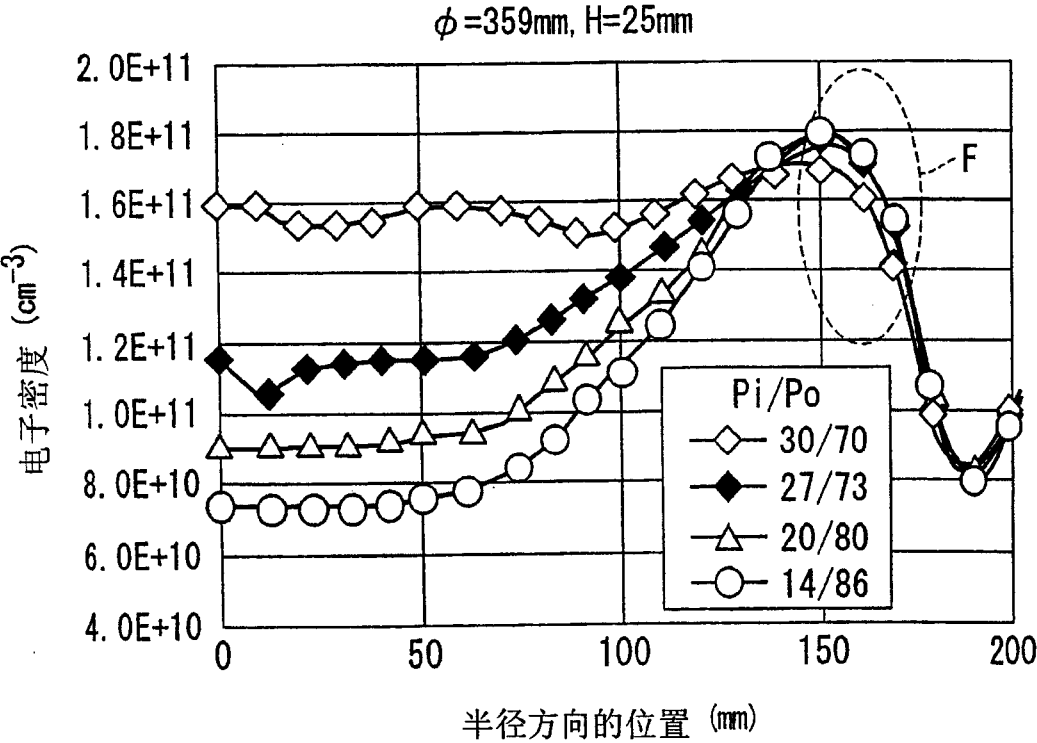


图19E

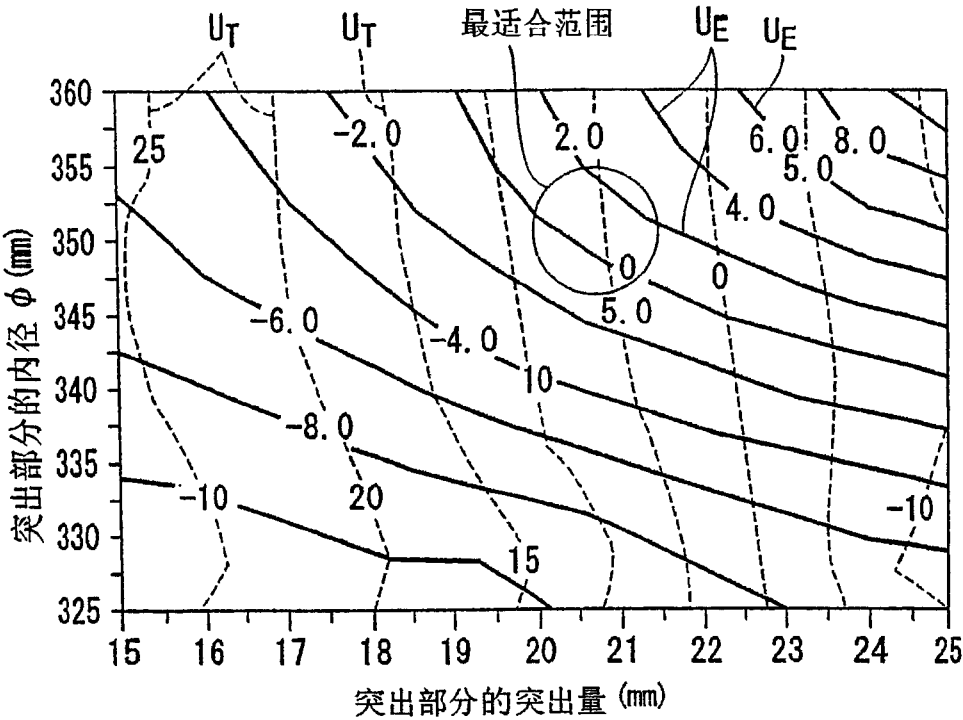


图20A

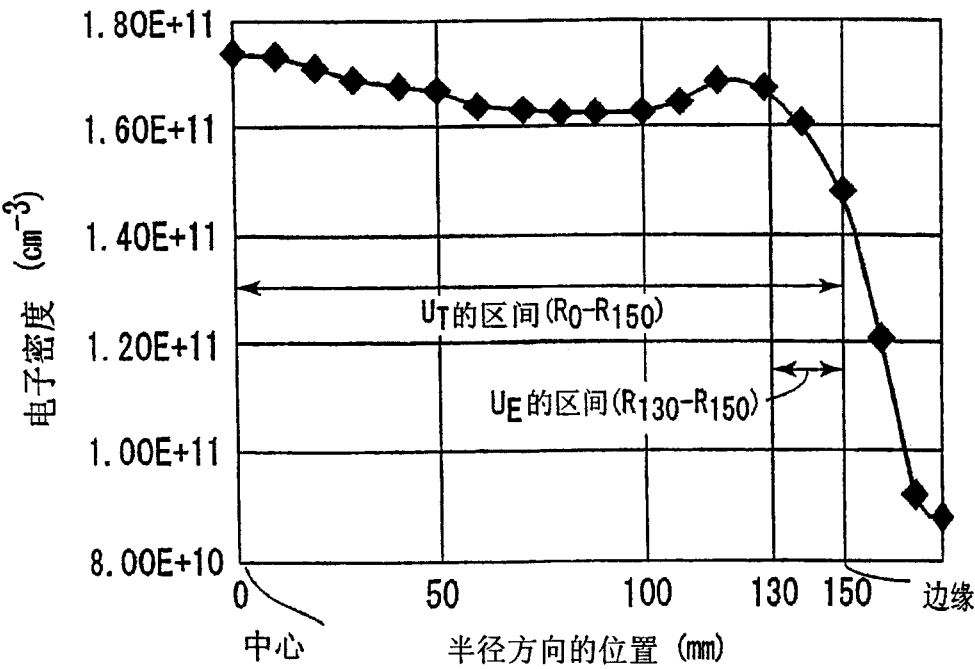


图20B

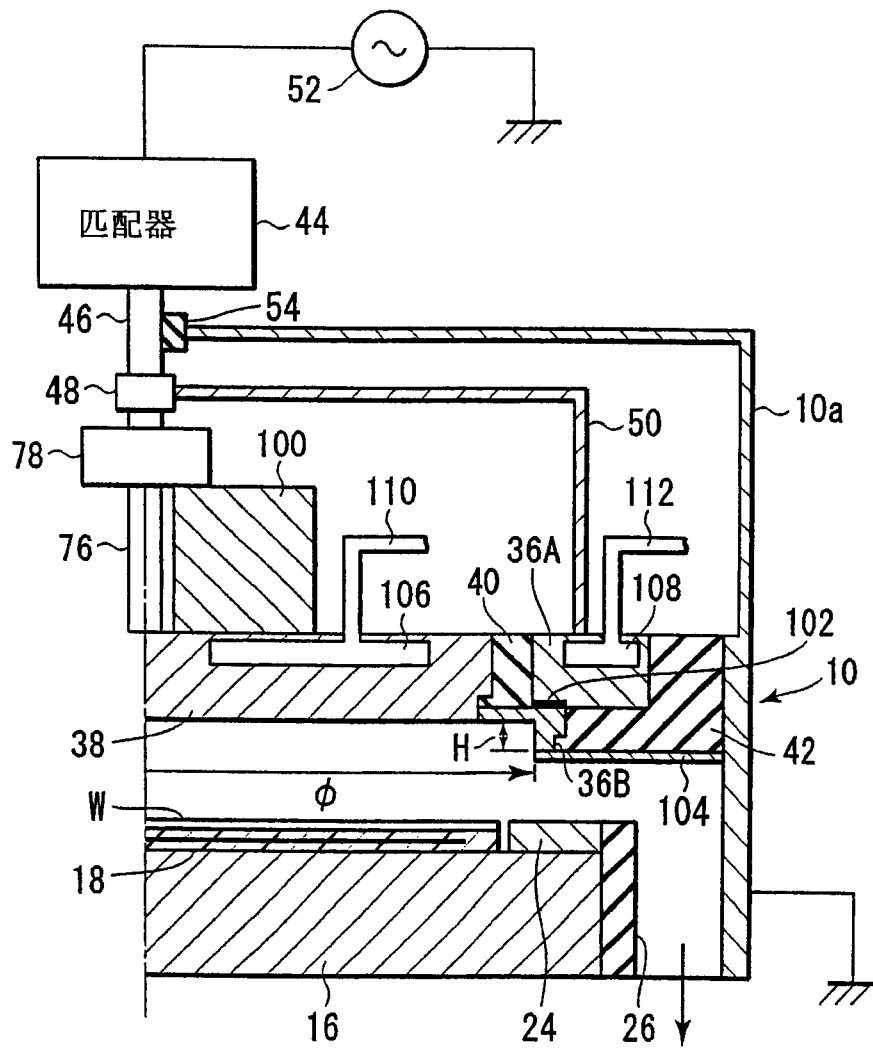


图21

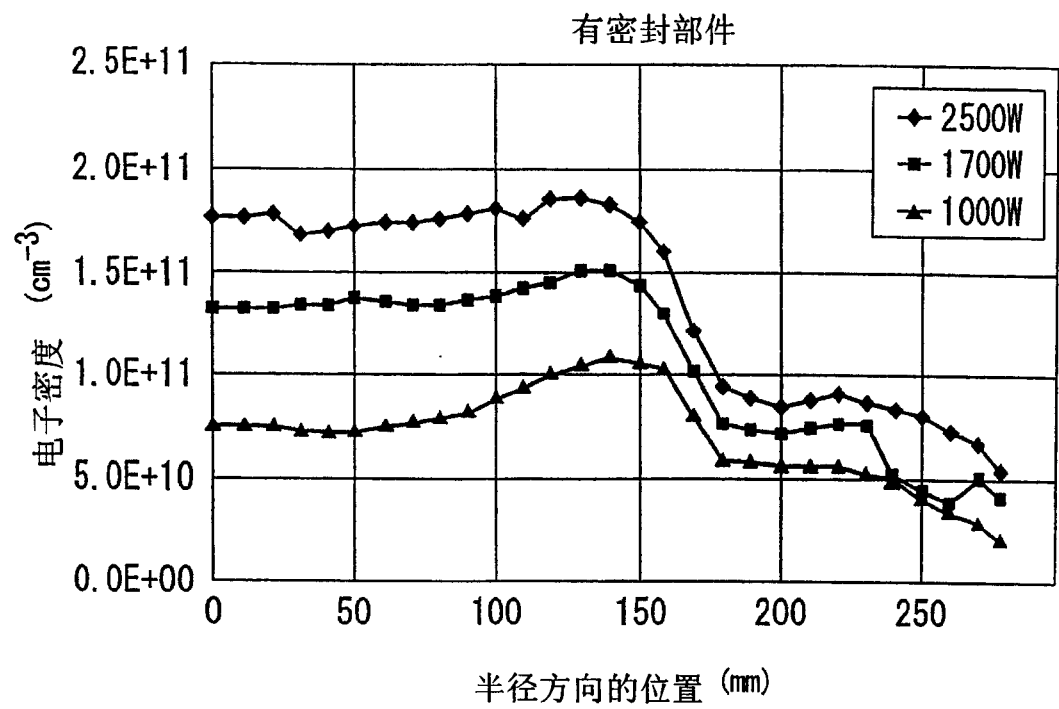


图22A

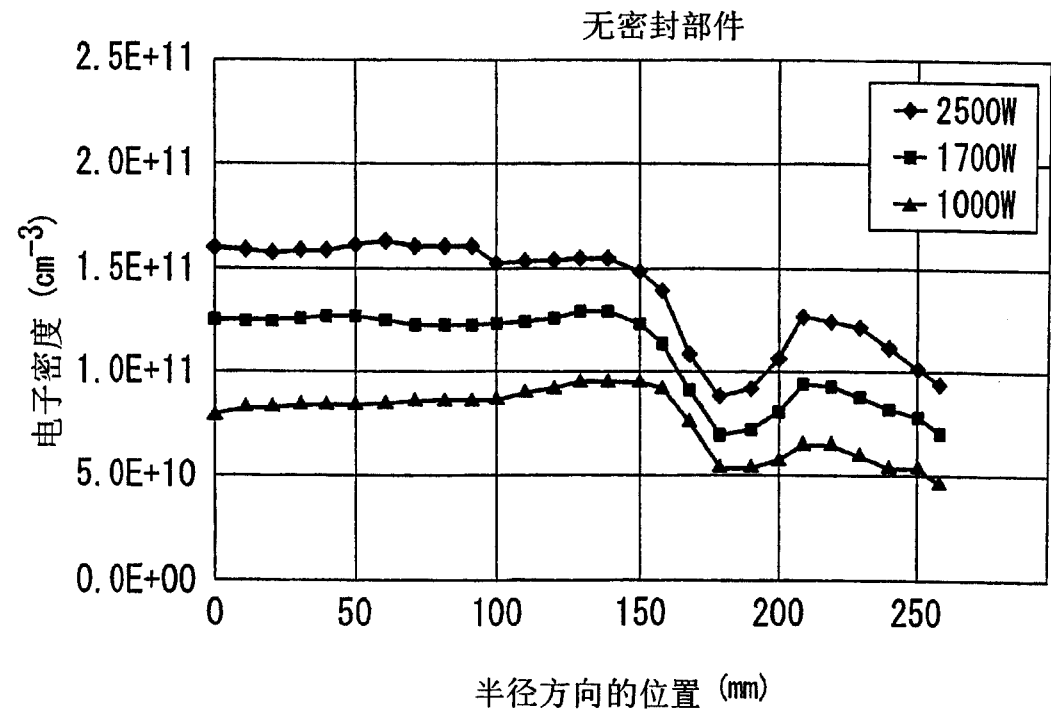


图22B

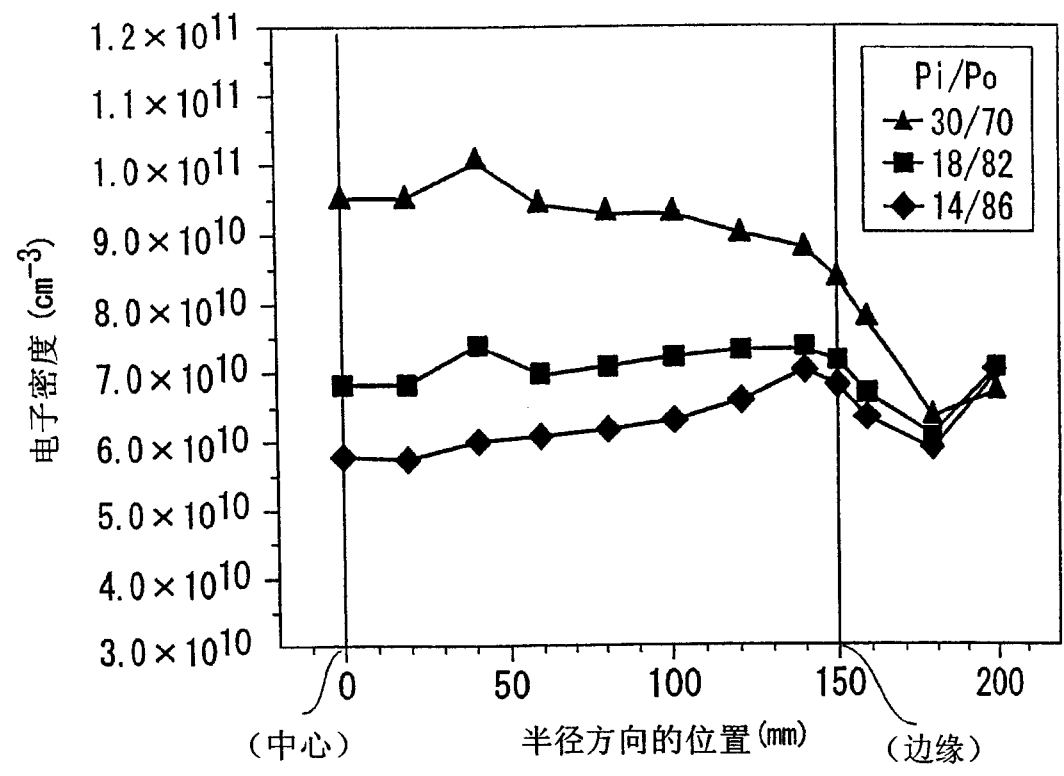


图23

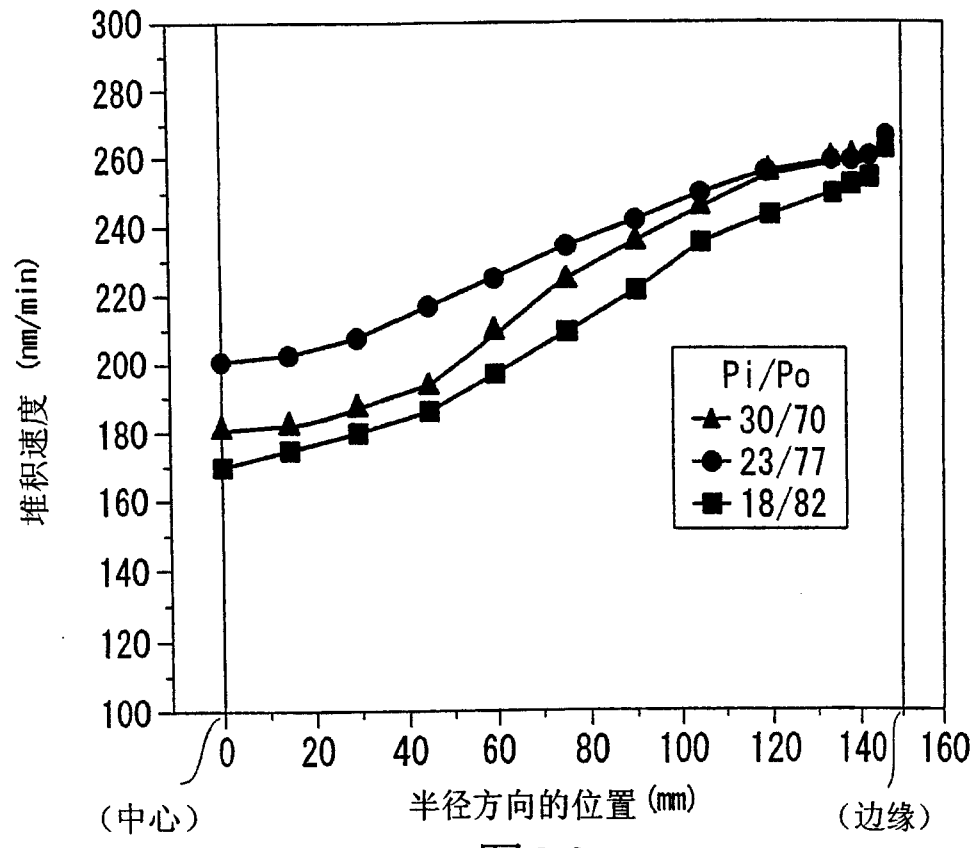


图24

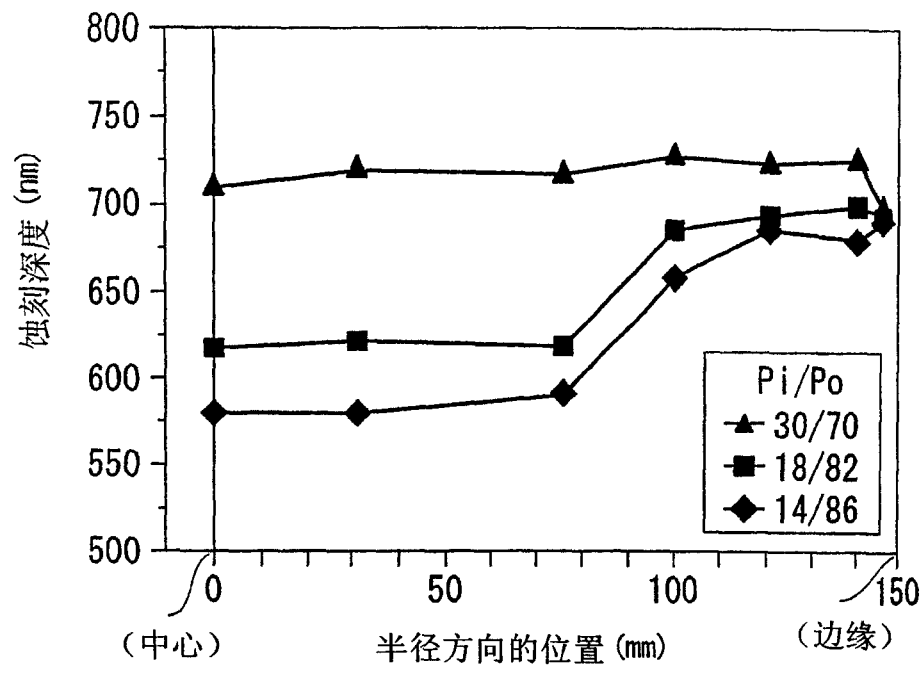


图25

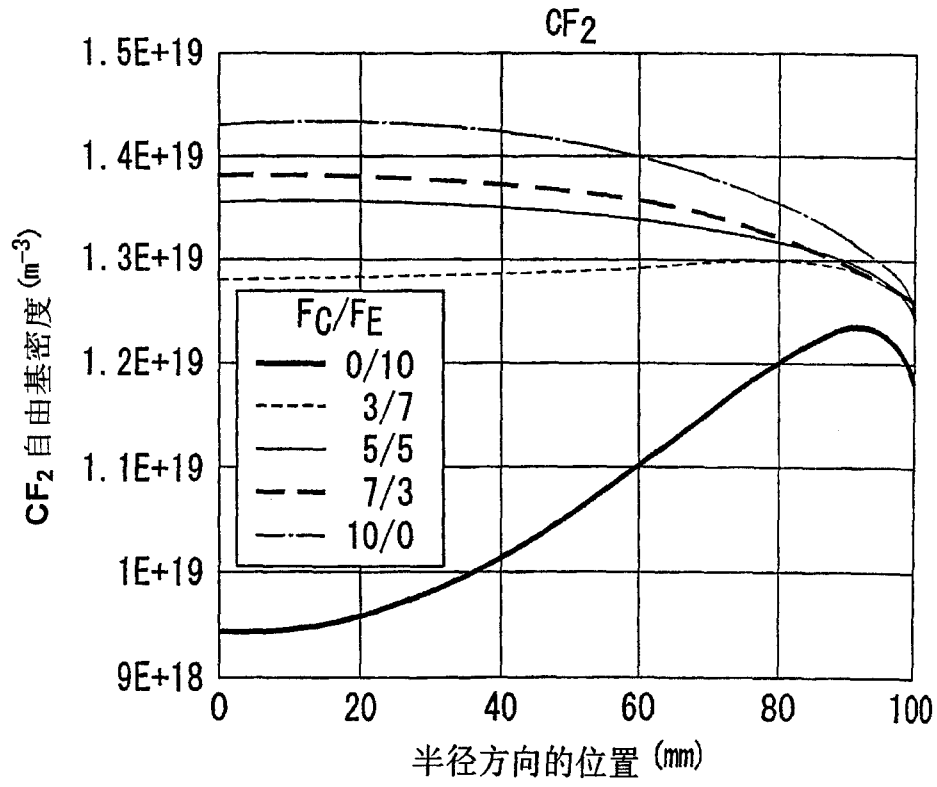


图26

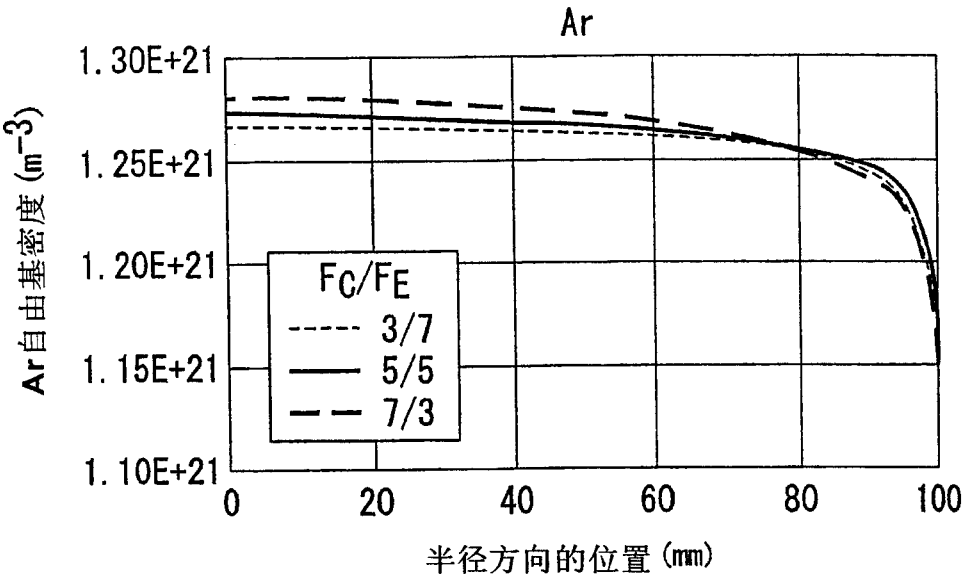


图27

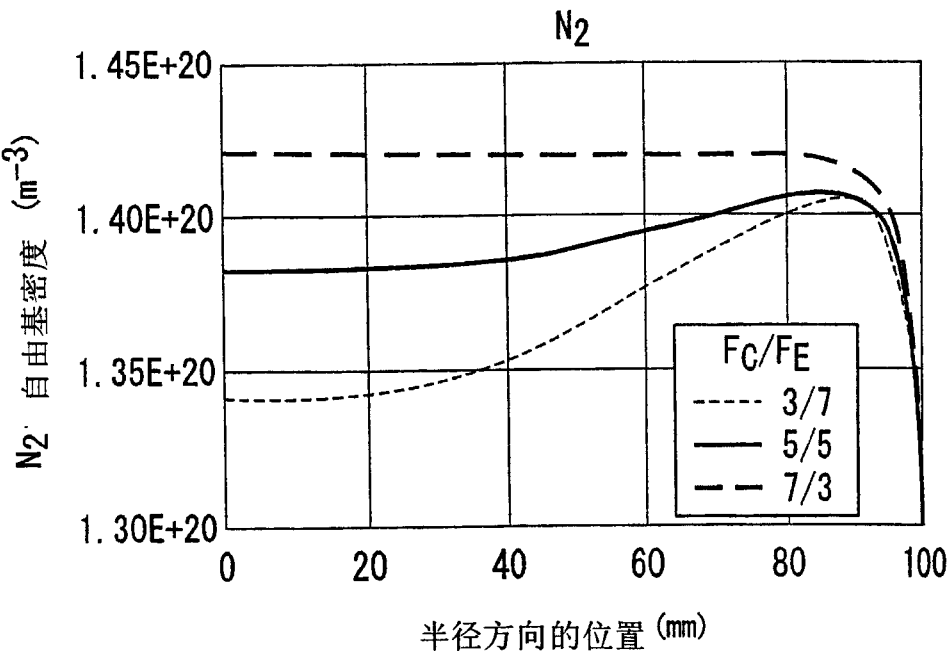


图28

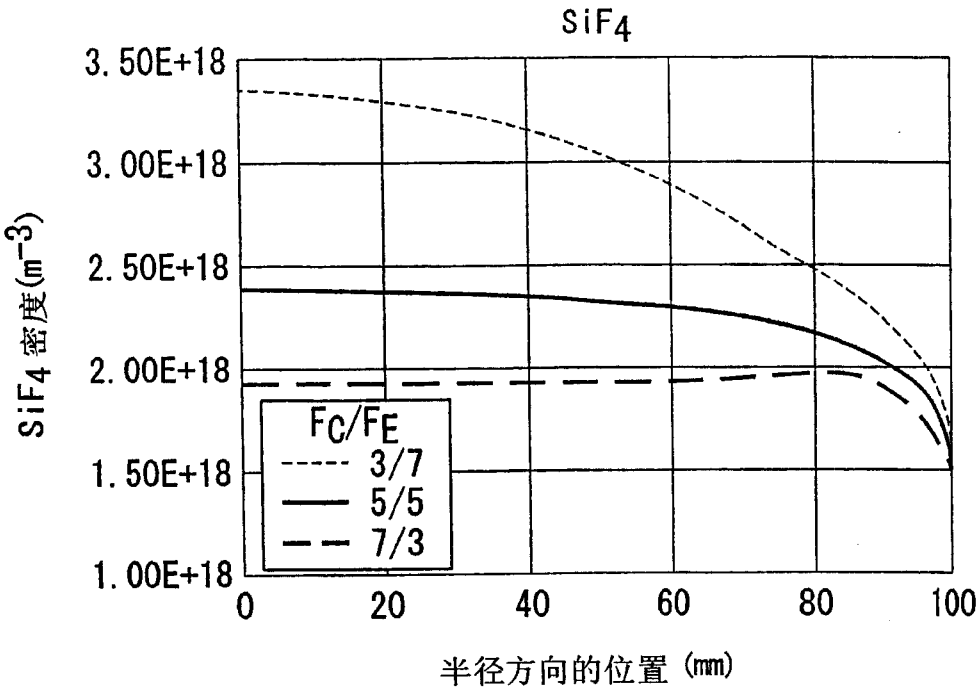


图29

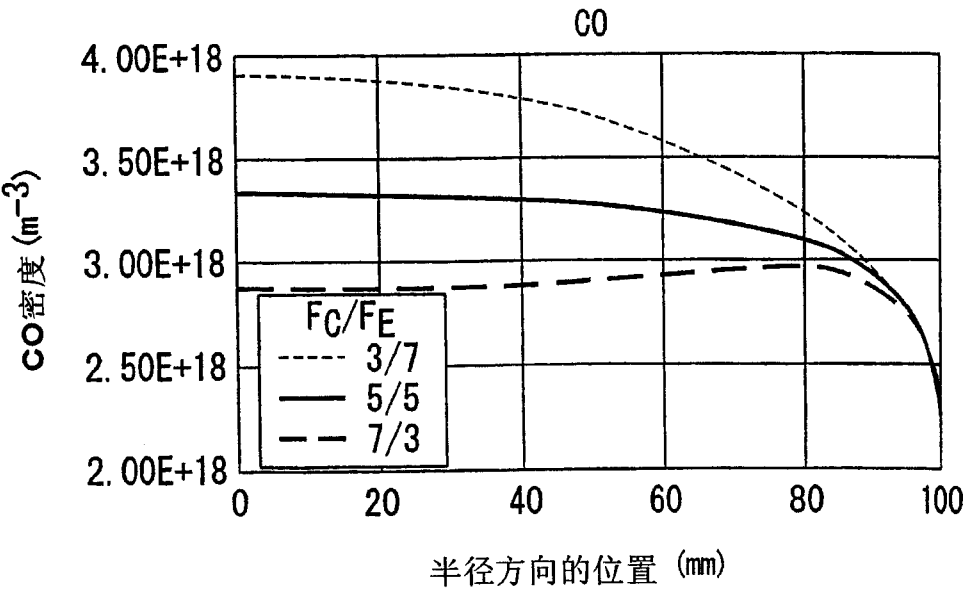


图30

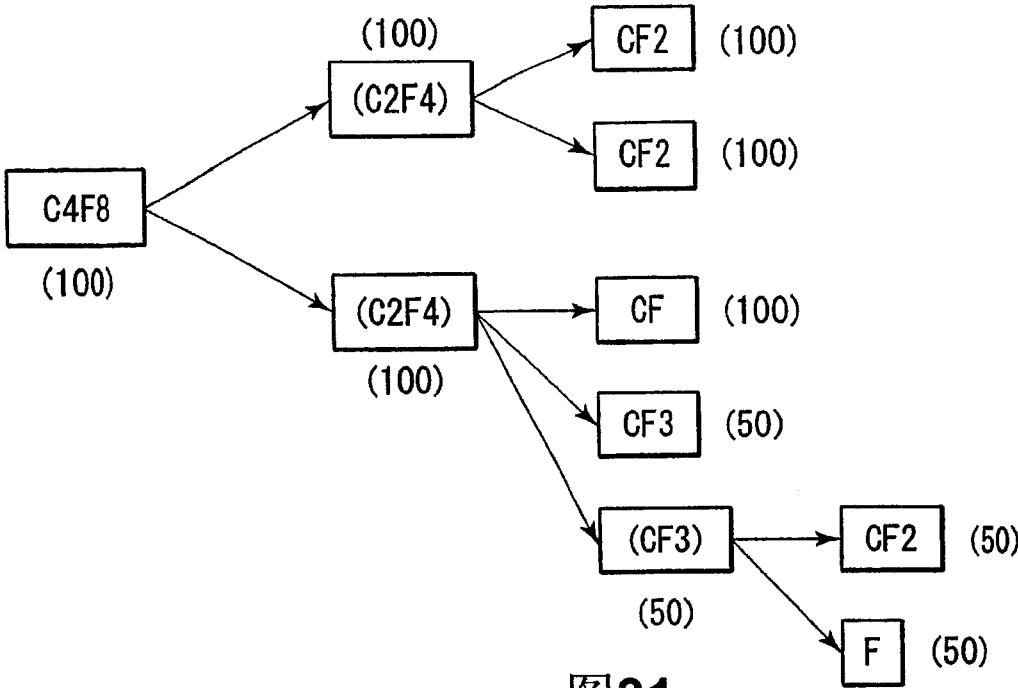


图31

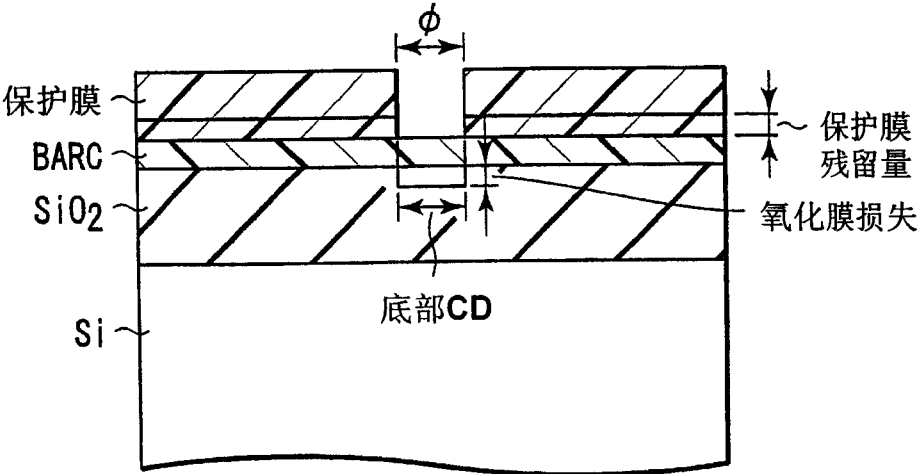


图32A

F<sub>C</sub>/F<sub>E</sub>=50/50

|    | 氧化膜损失 (nm) | 底部CD (nm) | 保护膜残留量(nm) |
|----|------------|-----------|------------|
| 中心 | 45.2       | 127.4     | 123.3      |
| 边缘 | 39         | 199       | 216        |

图32B

$F_G/F_E=70/30$

|    | 氧化膜损失 (nm) | 底部CD (nm) | 保护膜残留量(nm) |
|----|------------|-----------|------------|
| 中心 | 39         | 125.3     | 216        |
| 边缘 | 39         | 125.3     | 216        |

图32C

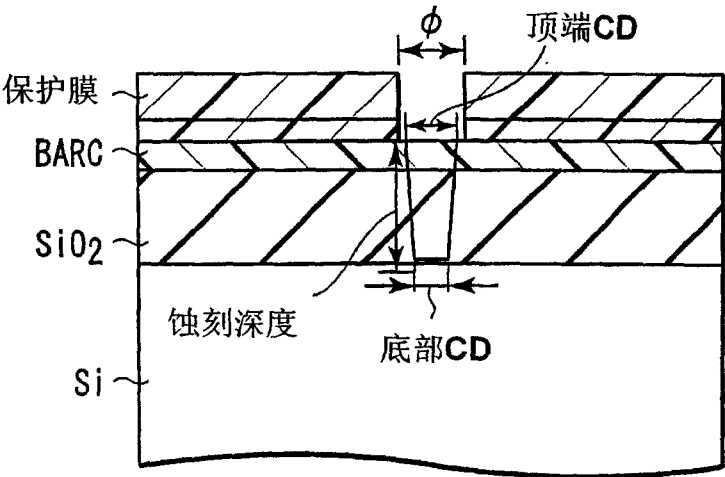


图33A

$F_G/F_E=50/50$

|    | 蚀刻深度 (nm) | 顶端CD (μm) | 底部CD (μm) | 底部/顶端比 (%) |
|----|-----------|-----------|-----------|------------|
| 中心 | 861       | 0.186     | 0.107     | 57.5       |
| 边缘 | 762       | 0.181     | 0.110     | 60.8       |

图33B

$F_C/F_E=10/90$

|    | 蚀刻深度<br>(nm) | 顶端CD<br>( $\mu\text{m}$ ) | 底部CD<br>( $\mu\text{m}$ ) | 底部/顶端<br>比 (%) |
|----|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| 中心 | 770          | 0.173                     | 0.130                     | 75.1           |
| 边缘 | 758          | 0.161                     | 0.122                     | 75.8           |

图33C

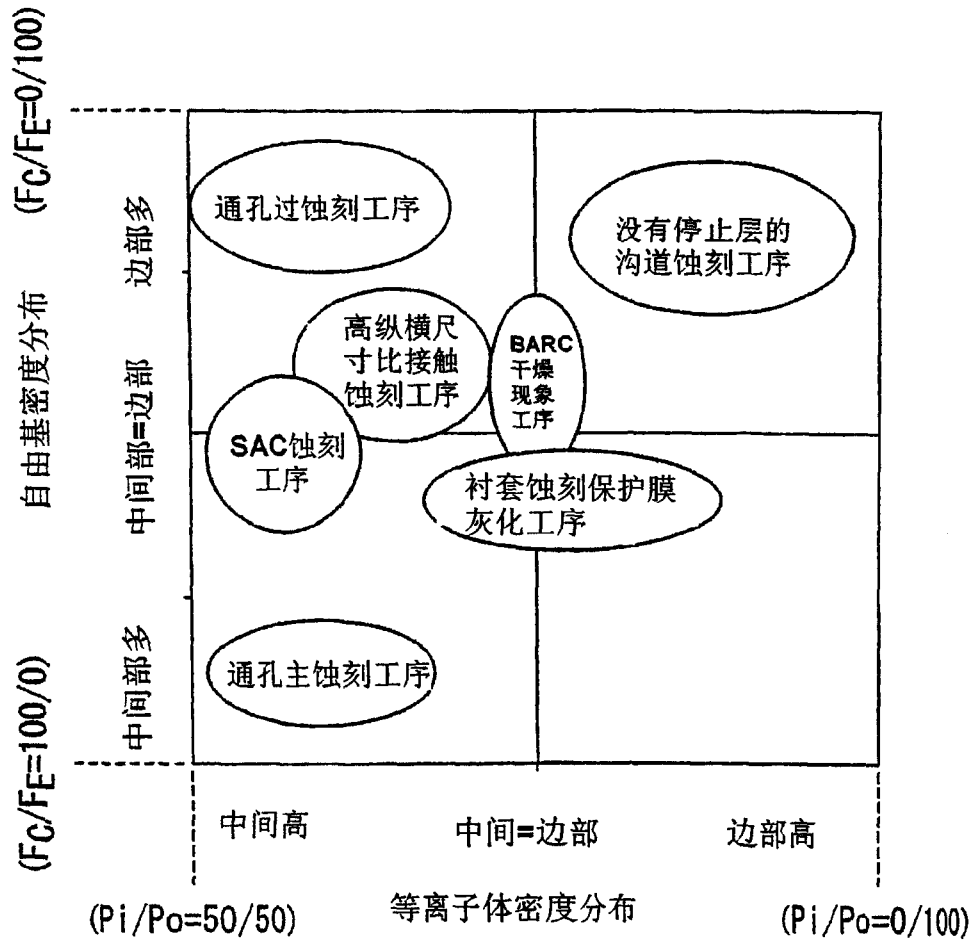


图34