



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114787972 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 22

(21) 申请号 202080086253.9

埃里克·赫德森 姚小强 李尚宪

(22) 申请日 2020.12.03

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

专利代理师 樊英如 张静

(30) 优先权数据

62/948,180 2019.12.13 US

62/961,358 2020.01.15 US

(51) Int. Cl.

H01L 21/311(2006.01)

H01J 37/32(2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.06.13

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/063142 2020.12.03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/118862 EN 2021.06.17

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 尼基尔·多乐

梅雷特·廷洛克·王

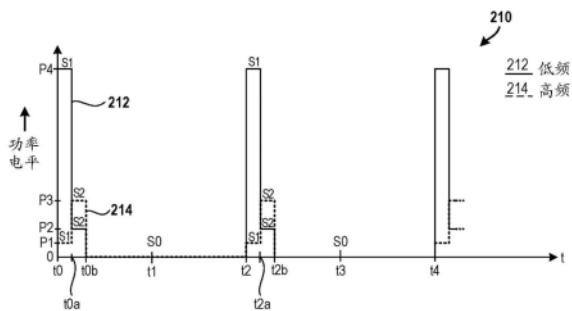
权利要求书2页 说明书22页 附图10页

## (54) 发明名称

用于在弓形控制和掩模选择之间取得平衡的多态脉冲化

## (57) 摘要

描述了一种用于多态脉冲化以实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡的方法。该方法包括生成初级射频(RF)信号。初级RF信号在包括第一状态、第二状态和第三状态的三种状态中脉冲化。该方法还包括生成次级RF信号。次级RF信号在三种状态之间脉冲化。在第一状态期间,初级RF信号的功率电平大于次级RF信号的功率电平。此外,在第二状态期间,次级RF信号的功率电平大于初级RF信号的功率电平。在第三状态期间,初级和次级RF信号的功率电平大致相等。



1. 一种多态脉冲化以实现弓形控制和掩模选择性平衡的方法,其包括:  
产生初级射频(RF)信号,其中所述初级RF信号在包括第一状态、第二状态和第三状态的三种状态之间脉冲化;  
产生次级RF信号,其中所述次级RF信号在所述三种状态之间脉冲化,  
其中,在所述第一状态期间,所述初级RF信号的功率电平大于所述次级RF信号的功率电平;  
其中在所述第二状态期间,所述次级RF信号的功率电平大于所述初级RF信号的功率电平,  
其中,在所述第三状态期间,所述初级和次级RF信号的功率电平大致相等。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一状态的占空比小于所述第三状态的占空比,其中所述第二状态的占空比小于所述第三状态的占空比。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述第一状态的占空比在介于时钟信号的时钟周期的百分之三和百分之二十五之间的范围内。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第二状态的占空比在介于所述时钟信号的所述时钟周期的百分之三和百分之五十之间的范围内。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述第三状态的占空比在介于所述时钟信号的所述时钟周期的百分之二十五和百分之九十四之间的范围内,其中所述第一、第二和第三状态的所述占空比之和等于所述时钟周期的百分之一百。
6. 根据权利要求2所述的方法,其中在所述第一状态期间所述初级RF信号的较大功率电平、在所述第二状态期间所述次级RF信号的较大功率电平、所述第一状态的较小占空比和所述第二状态的较小占空比有助于实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡。
7. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:  
将所述初级RF信号提供给阻抗匹配网络,其中所述阻抗匹配网络耦合到等离子体室的电极;  
将所述次级RF信号提供给所述阻抗匹配网络。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一状态期间的所述初级RF信号的功率电平比所述第一状态期间的所述次级RF信号的功率电平大至少六倍且至多十倍。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中,在所述第二状态期间所述初级RF信号的功率电平是在所述第二状态期间所述次级RF信号的功率电平的至少百分之二十且至多不到百分之一百。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述第三状态期间所述初级和次级RF信号的功率电平为零。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述初级RF信号从所述第一状态的功率电平脉冲化到所述第二状态的功率电平,从所述第二状态的功率电平脉冲到所述第三状态的功率电平,以及从所述第三状态的功率电平脉冲化到所述第一状态的功率电平。
12. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一RF信号与数字脉冲信号的所述三种状态同步地在三种所述功率电平之间脉冲化。
13. 一种用于在等离子体处理室中蚀刻掩模下方的堆叠件的方法,其包括:  
使包含金属氟化物或含钨钝化剂和蚀刻组分的蚀刻气体流入所述等离子体处理室;

将所述蚀刻气体转化为等离子体,其包括:

在第一频率范围产生初级射频(RF)信号,其中所述初级RF信号在包括第一状态、第二状态和第三状态的至少三种状态之间脉冲化;以及

在第二频率范围产生次级RF信号,其中所述次级RF信号在所述至少三种状态之间脉冲化,并且其中所述第一频率范围小于所述第二频率范围;

其中,在所述第二状态期间,所述初级RF信号的功率电平小于在所述第一状态期间所述初级RF信号的功率电平的80%;

其中,在所述第三状态期间,所述初级RF信号的功率电平小于在所述第二状态期间所述初级RF信号的功率电平的20%;以及

其中,在所述第三状态期间,所述次级RF信号的功率电平小于在所述第二状态期间所述次级RF信号的功率电平的20%。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中所述第一状态的占空比小于所述第三状态的占空比,其中所述第二状态的占空比小于所述第三状态的占空比。

15. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述第一状态的占空比在介于时钟信号的时钟周期的百分之三和百分之二十五之间的范围内。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述第二状态的占空比在介于所述时钟信号的所述时钟周期的百分之三和百分之五十之间的范围内。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述第三状态的占空比在介于所述时钟信号的所述时钟周期的百分之二十五和百分之九十四之间的范围内,其中所述第一、第二和第三状态的所述占空比之和等于所述时钟周期的百分之一百。

18. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述第一频率范围介于80kHz和14MHz之间,包括端点,并且其中,所述第二频率范围介于15MHz和120MHz之间,包括端点。

19. 根据权利要求13所述的方法,其中所述金属氟化物或含钨钝化剂是氟化钨。

20. 根据权利要求13所述的方法,其中所述金属氟化物或含钨钝化剂是六氟化钨。

21. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述堆叠件包含硅。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述掩模是硬掩模。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中,所述硬掩模包含多晶硅。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中所述堆叠件包括至少一个含氧化硅层。

25. 根据权利要求13所述的方法,其中,在所述第一状态期间的所述初级RF信号的功率电平比所述第一状态期间的所述次级RF信号的功率电平的比值大于1,并且在所述第二状态期间所述初级RF信号的功率电平比在所述第二状态期间所述次级RF信号的功率电平的比值小于1。

26. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述多态脉冲化方案被调整以最小化金属氟化物或含钨钝化剂的颈缩和弯曲。

## 用于在弓形控制和掩模选择之间取得平衡的多态脉冲化

### 技术领域

[0001] 本公开中描述的实施方案涉及用于实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡的多态脉冲化的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 这里提供的背景描述是为了总体呈现本公开的背景的目的。当前指定的发明人的工作在其在此背景技术部分以及在提交申请时不能确定为现有技术的说明书的各方面中描述的范围内既不明确也不暗示地承认是针对本公开的现有技术。

[0003] 射频 (RF) 发生器生成 RF 信号并通过匹配将 RF 信号提供给等离子体反应器。等离子体反应器具有半导体晶片, 当提供 RF 信号并且向等离子体反应器提供蚀刻剂气体时, 半导体晶片被蚀刻。然而, 当半导体晶片被蚀刻时, 没有实现与半导体晶片相关的理想选择性。

[0004] 本公开内容中所述实施方案就是是在该背景中提出的。

### 发明内容

[0005] 本公开内容的实施方案提供用于实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡的多态脉冲化的装置、方法和计算机程序。应理解, 本文实施方案可以多种方式实施, 例如过程、装置、系统、硬件的部分、或计算机可读介质上的方法。在下文描述若干实施方案。

[0006] 在一个实施方案中, 描述了一种打破侧壁聚合物钝化和掩模选择性之间的折衷的三态射频 (RF) 脉冲化方法。侧壁聚合物钝化和掩模选择性之间的折衷对实现节距进行了限制以进一步限制器件尺寸。作为示例, 三态 RF 脉冲方法包括在三种状态之间周期性地对低频 RF 发生器和在三种状态之间周期性地对高频 RF 发生器进行同步脉冲化。

[0007] 在一个实施方案中, 描述了一种用于多态脉冲化以实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡的方法。该方法包括生成初级 RF 信号。初级 RF 信号在包括第一状态、第二状态和第三状态的三种状态之间脉冲化。该方法还包括生成次级 RF 信号。次级 RF 信号在三种状态之间脉冲化。在第一状态期间, 初级 RF 信号的功率电平大于次级 RF 信号的功率电平。此外, 在第二状态期间, 次级 RF 信号的功率电平大于初级 RF 信号的功率电平。在第三状态期间, 初级和次级 RF 信号的功率电平大致相等。

[0008] 在一个实施方案中, 描述了一种控制器。控制器包括控制初级 RF 发生器以生成初级 RF 信号的处理器。处理器控制初级 RF 发生器以在包括第一状态、第二状态和第三状态的三种状态之间脉冲化初级 RF 信号。处理器还控制次级 RF 发生器以产生次级 RF 信号。处理器控制次级 RF 发生器以在三种状态之间脉冲化次级 RF 信号。在第一状态期间, 初级 RF 信号的功率电平大于次级 RF 信号的功率电平。在第二状态期间, 次级 RF 信号的功率电平大于初级 RF 信号的功率电平。在第三状态期间, 初级和次级 RF 信号的功率电平大致相等。控制器包括耦合到处理器的存储器设备。

[0009] 在一个实施方案中, 处理器将第一状态的占空比控制为小于第三状态的占空比。处理器还将第二状态的占空比控制为小于第三状态的占空比。

[0010] 在一个实施方案中,第一状态期间的初级RF信号的功率电平比第一状态期间的次级RF信号的功率电平大至少六倍并且最多十倍。

[0011] 在一实施方案中,在第二状态期间初级RF信号的功率电平是在第二状态期间次级RF信号的功率电平的至少百分之二十并且至多不到百分之一百。

[0012] 在一实施方案中,描述了一种系统。该系统包括被配置为生成初级RF信号的初级RF发生器。该系统还包括被配置为生成次级RF信号的次级RF发生器。该系统包括阻抗匹配电路,阻抗匹配电路通过第一RF电缆耦合到初级RF发生器并且通过第二RF电缆耦合到次级RF发生器。阻抗匹配电路通过第一RF电缆接收初级RF信号并通过第二RF电缆接收次级RF信号以输出修改的RF信号。该系统还包括耦合到阻抗匹配电路以接收修改的RF信号的等离子体室。该系统包括耦合到RF发生器的计算机。计算机控制初级RF发生器以在包括第一状态、第二状态和第三状态的三种状态之间脉冲化初级RF信号。计算机还控制次级RF发生器以在三种状态之间脉冲化次级RF信号。在第一状态期间,初级RF信号的功率电平大于次级RF信号的功率电平。此外,在第二状态期间,次级RF信号的功率电平大于初级RF信号的功率电平。在第三状态期间,初级和次级RF信号的功率电平大致相等。

[0013] 在一实施方案中,计算机将第一状态的占空比控制为小于第三状态的占空比。计算机将第二状态的占空比控制为小于第三状态的占空比。

[0014] 在一个实施方案中,在第一状态期间初级RF信号的功率电平比在第一状态期间次级RF信号的功率电平大至少六倍并且最多十倍。

[0015] 在一实施方案中,在第二状态期间初级RF信号的功率电平是在第二状态期间次级RF信号的功率电平的至少百分之二十并且至多不到百分之一百。

[0016] 在一个实施方案中,描述了一种系统。该系统包括被配置为在第一频率范围生成初级RF信号的初级RF发生器。该系统还包括被配置为在第二频率范围生成次级RF信号的次级RF发生器。该系统包括阻抗匹配电路,阻抗匹配电路通过第一RF电缆耦合到初级RF发生器并且通过第二RF电缆耦合到次级RF发生器。阻抗匹配电路通过第一RF电缆接收初级RF信号并通过第二RF电缆接收次级RF信号以输出修改的RF信号。该系统包括耦合到阻抗匹配电路以接收修改的RF信号的等离子体室。该系统还包括与等离子体室流体连接的气体源。气体源包括含钨气体源和蚀刻组分气体源。该系统包括耦合到RF发生器的计算机。计算机控制含钨气体源和蚀刻组分气体源。计算机还控制初级RF发生器以在包括第一状态、第二状态和第三状态的至少三种状态之间脉冲化初级RF信号。计算机还控制次级RF发生器以在至少三种状态之间脉冲化次级RF信号。在第二状态期间,初级RF信号的功率电平小于在第一状态期间初级RF信号的功率电平的80%。此外,在第三状态期间,初级RF信号的功率电平小于在第二状态期间初级RF信号的功率电平的20%。此外,在第三状态期间,次级RF信号的功率电平小于在第二状态期间次级RF信号的功率电平的20%。在第一状态、第二状态和第三状态期间,气体从含钨气体源和蚀刻组分气体源流出。

[0017] 在一实施方案中,计算机将第一状态的占空比控制为小于第三状态的占空比。计算机将第二状态的占空比控制为小于第三状态的占空比。

[0018] 在一个实施方案中,第一状态的占空比的范围介于时钟信号的时钟周期的百分之三到百分之二十五之间。

[0019] 此外,在一实施方案中,第二状态的占空比范围介于时钟信号的时钟周期的百分

之三到百分之五十之间。

[0020] 在一个实施方案中,第三状态的占空比的范围介于时钟信号的时钟周期的百分之二十五和百分之九十四之间,并且其中第一、第二和第三状态的占空比之和等于时钟周期的百分之一百。

[0021] 在一实施方案中,第一频率范围在80kHz和14MHz之间,包括端点,并且其中第二频率范围在15MHz和120MHz之间,包括端点。

[0022] 在一个实施方案中,含钨气体是氟化钨。

[0023] 在一实施方案中,含钨气体是六氟化钨。

[0024] 在一个实施方案中,在第一状态期间初级RF信号的功率电平比在第一状态期间次级RF信号的功率电平的比值大于1,并且在第二状态期间初级RF信号的功率电平比在第二状态期间次级RF信号的功率电平的比值小于1。

[0025] 在一实施方案中,计算机调整第一状态、第二状态和第三状态以最小化金属氟化物或含钨钝化剂的颈缩和弯曲。

[0026] 本文所述的三态RF脉冲化方法的一些优点包括实现在氮化物层的侧壁处形成的弓形中的收缩大于约1.5纳米 (nm),同时增加掩模选择性。例如,通过实现弓形收缩,与使用两态脉冲化实现的掩模选择性相比,掩模选择性增加了大约15%到20%。

[0027] 本文所述的用于多态脉冲化的系统和方法的其他优点包括实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡。通过以三态将低频RF发生器和高频RF发生器中的每一个脉冲化,实现了平衡。例如,与高频RF发生器在第一状态期间的功率电平相比,低频RF发生器以大得多的功率电平脉冲化。与低频RF发生器在第二状态期间的功率电平相比,高频RF发生器以更大的功率电平脉冲化。低频和高频RF发生器在第三状态期间具有大约为零的功率电平。通过以这种方式脉冲化低频和高频射频发生器,实现了平衡。实现平衡有助于蚀刻具有高深宽比的衬底特征。

[0028] 其他方面将从以下的详细说明并结合附图而变得显而易见。

## 附图说明

[0029] 实施方案通过参照以下说明并结合附图来理解。

[0030] 图1是系统实施方案的示意图,其说明用于实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡的多个射频(RF)信号的三态脉冲化。

[0031] 图2A是时钟信号的图表的实施方案。

[0032] 图2B是用于说明数字脉冲信号的实施方案的图表的实施方案的示意图。

[0033] 图2C是用于说明由低频RF发生器产生的RF信号的实施方案和由高频RF发生器产生的RF信号的实施方案的图表的实施方案。

[0034] 图2D是用于说明由低频RF发生器产生的RF信号的实施方案和由高频RF发生器产生的RF信号的实施方案的图表的实施方案。

[0035] 图3A是图表的实施方案,其用于说明由低频RF发生器生成的图2C的RF信号的一部分的放大图。

[0036] 图3B是图表的实施方案,其用于说明由高频RF发生器生成的图2C的RF信号的一部分的放大图。

- [0037] 图4A是图2A的时钟信号的图表的实施方案。
- [0038] 图4B是用于说明数字脉冲信号的实施方案的图表的实施方案的示意图。
- [0039] 图4C是说明由低频RF发生器产生的RF信号的实施方案和由高频RF发生器产生的RF信号的实施方案的图表的实施方案。
- [0040] 图4D是说明由低频RF发生器产生的RF信号的实施方案和由高频RF发生器产生的RF信号的实施方案的图表的实施方案。
- [0041] 图5A是图表的实施方案,其用于说明由低频RF发生器生成的图4C的RF信号的一部分的放大图。
- [0042] 图5B是图表的实施方案,其用于说明由高频RF发生器生成的图4C的RF信号的一部分的放大图。
- [0043] 图6是表格的实施方案的示意图,其用于说明与由低频RF发生器和高频RF发生器产生的RF信号的三态相关联的占空比。
- [0044] 图7A是在处理衬底堆叠件之前的衬底堆叠件的实施方案的示意图。
- [0045] 图7B是处理期间衬底堆叠件的另一实施方案的示意图。
- [0046] 图7C是图7B的衬底堆叠件的一部分的示意图。
- [0047] 图7D是在处理图7A的衬底堆叠件之后的衬底堆叠件的又一实施方案的示意图。
- [0048] 图8是另一实施方案的流程图。
- [0049] 图9A是根据图8所示的实施方案处理的堆叠件的示意性截面图。
- [0050] 图9B是根据图8所示实施方案处理的堆叠件的示意性截面图。
- [0051] 图10是在一实施方案中使用的等离子体处理系统的示意图。

### 具体实施方式

[0052] 以下实施方案描述了用于多态脉冲化以实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡的系统和方法。显然,可以在没有这些具体细节中的一些或全部的情况下实践本实施方案。在其他情况下,没有详细描述众所周知的工艺操作,以免不必要地使本发明的实施方案难以理解。

[0053] 图1是系统100的实施方案的示意图,其用于说明多个射频(RF)信号的三态脉冲化以实现弓形控制和掩模选择性之间的平衡。系统100包括RF发生器RFG<sub>x</sub>、另一RF发生器RFG<sub>y</sub>、阻抗匹配网络IMN、等离子体室106和主计算机110。

[0054] RF发生器RFG<sub>x</sub>的一个示例是低频RF发生器,例如具有400千赫兹(kHz)或2兆赫兹(MHz)或13.56MHz的工作频率的RF发生器。RF发生器RFG<sub>y</sub>的示例是高频RF发生器,例如具有27MHz或60MHz的工作频率的RF发生器。需要注意的是,高频射频发生器的工作频率要大于低频射频发生器的工作频率。

[0055] 阻抗匹配网络IMN是电路部件的网络,例如电感器、电容器和电阻器。例如,阻抗匹配网络是包括并联电容器和串联电容器的电路。并联电容器的一端耦合串联电容器,并联电容器的另一端耦合接地电位。串联电容器耦合在阻抗匹配网络IMN的输入(例如输入I2<sub>x</sub>或输入I2<sub>y</sub>)与阻抗匹配网络IMN的输出O2之间。作为另一示例,阻抗匹配网络IMN的一个或多个电路部件串联或并联耦合到阻抗匹配网络IMN的一个或多个电路部件。阻抗匹配网络IMN具有包括一个或多个电路部件的支路,并且该支路耦合在输入I2<sub>x</sub>和输出O2之间。类似

地,阻抗匹配网络IMN具有包括一个或多个电路部件的另一支路并且该支路耦合在输入I2y和输出O2之间。

[0056] 等离子体室106包括衬底支撑件104,例如卡盘。卡盘包括嵌入卡盘内的下电极、位于下电极下方的设施板和位于下电极上方的陶瓷板。等离子体室106还包括耦合到地电位的上电极118。主机计算机110的示例包括台式计算机、膝上型计算机、控制器、平板电脑和智能手机。

[0057] RF发生器RFGx包括数字信号处理器(DSP) DSPx、功率控制器PWRS1x、另一功率控制器PWRS2x、又一功率控制器PWRS0x、自动频率调谐器(AFT) AFTx和电源PSx。如本文所使用的,DSP的示例包括控制器,该控制器包括微处理器、专用集成电路(ASIC)或可编程逻辑器件(PLD)。DSP的控制器还包括能够同时获取多个数据或指令的存储器设备。DSP的存储器设备耦合到DSP的微处理器、ASIC或PLD。如本文所使用的,存储器设备的示例包括只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、闪存、存储盘阵列、硬盘等。

[0058] 如本文所使用的,功率控制器的示例包括微控制器。举例而言,功率控制器包括微处理器、ASIC或PLD。功率控制器还包括耦合到功率控制器的微处理器、ASIC或PLD的存储器设备。

[0059] 如本文所使用的调谐器的示例包括微控制器。举例而言,调谐器包括微处理器、ASIC或PLD。调谐器还包括耦合到调谐器的微处理器、ASIC或PLD的存储器设备。

[0060] 如本文所使用的,电源的示例包括电子振荡器或RF振荡器,其产生周期性的、振荡的电子信号,例如正弦波RF信号。

[0061] 数字信号处理器DSPx耦合到功率控制器PWRS1x、PWRS2x和PWRS0x,并且耦合到自动频率调谐器AFTx。此外,电源控制器PWRS1x、PWRS2x和PWRS0x中的每一个都耦合到电源PSx。此外,自动频率调谐器AFTSx耦合到电源PSx。

[0062] RF发生器RFGy包括数字信号处理器DSPy、功率控制器PWRS1y、另一功率控制器PWRS2y、又一功率控制器PWRS0y、自动频率调谐器AFTy和电源PSy。数字信号处理器DSPy耦合到功率控制器PWRS1y、PWRS2y和PWRS0y,并且耦合到自动频率调谐器AFTy。此外,功率控制器PWRS1y、PWRS2y和PWRS0y中的每一个都耦合到电源PSy。此外,自动频率调谐器AFTSy耦合到电源PSy。

[0063] 主机计算机包括处理器112和存储器设备114。处理器112耦合到存储器设备114。如本文所使用的处理器的示例包括微处理器、ASIC、中央处理单元(CPU),或PLD。

[0064] 处理器112经由传输电缆120x耦合到数字信号处理器DSPx并且经由另一传输电缆120y耦合到数字信号处理器DSPy。如本文所使用的传输电缆的示例包括用于促进处理器112和DSP之间的并行数据传输的并行传输电缆、用于促进处理器112和DSP之间的串行数据传输的串行传输电缆、以及通过应用USB标准促进处理器112和DSP之间的数据传输的通用串行总线(USB)传输电缆。

[0065] 电源PSx经由RF电缆102x耦合到阻抗匹配网络IMN的输入I2x。例如,RF发生器RFGx的输出O1x通过RF电缆120x耦合到输入I2x。此外,电源PSy通过RF电缆102y耦合到阻抗匹配网络IMN的输入I2y。例如,RF发生器RFGy的输出O1y通过RF电缆120y耦合到输入I2y。

[0066] 阻抗匹配网络IMN的输出O2经由RF传输线122耦合到衬底支撑件104的下电极。RF传输线122的示例包括被绝缘体包围的导体,例如铝实心棒,该绝缘体被RF套管包围。绝缘

体可以是介电材料,例如Teflon™。RF传输线122的另一示例包括经由一个或多个RF带耦合到具有内部导电杆和外壳的RF圆柱体的导体。RF圆柱体的内导电棒耦合到下电极。如前例所述,导体被绝缘体包围,绝缘体被RF套管包围。RF传输线122的导体耦合到阻抗匹配网络IMN的输出O2。

[0067] 处理器112生成时钟信号和与时钟信号同步的数字脉冲信号108。下面提供时钟信号和数字脉冲信号108的示例。数字脉冲信号108具有三种状态,例如状态S1、状态S2和状态S0,如下文所说明的。

[0068] 处理器112从存储器设备114访问(例如读取或获得)将由RF发生器RFG<sub>x</sub>产生的RF信号102<sub>x</sub>的状态S1的功率电平、RF信号102<sub>x</sub>的状态S2的功率电平以及RF信号102<sub>x</sub>的状态S0的功率电平。此外,处理器112从存储器设备114访问将由RF产生器RFG<sub>y</sub>产生的RF信号102<sub>y</sub>的状态S1的功率电平、RF信号102<sub>y</sub>的状态S2的功率电平、RF信号102<sub>y</sub>的状态S0的功率电平。每个RF信号102<sub>x</sub>和102<sub>y</sub>是正弦信号。

[0069] 应当注意,在一个实施方案中,用于状态的RF信号的功率电平是在该状态期间由RF信号实现的功率电平。例如,RF信号的状态S1的功率电平是在数字脉冲信号108的状态S1的实例期间实现的功率电平,RF信号的状态S2的功率电平是在数字脉冲信号108的状态S2的实例期间实现的功率电平,并且RF信号的状态S0的功率电平是在数字脉冲信号108的状态S0的实例期间实现的功率电平。

[0070] 处理器112将要生成的在状态S1、S2和S0中的每一个的特征(identity)内的RF信号102<sub>x</sub>的状态S1、S2和S0的功率电平通过传输电缆120<sub>x</sub>发送到数字信号处理器DSP<sub>x</sub>。在接收到具有状态S1、S2和S0的特征的RF信号102<sub>x</sub>的状态S1、S2和S0的功率电平时,数字信号处理器DSP<sub>x</sub>从数字信号处理器DSP<sub>x</sub>的存储设备访问在状态S1到S0的特征与功率控制器PWRS1<sub>x</sub>、PWRS2<sub>x</sub>和PWRS0<sub>x</sub>之间的对应关系,例如一对一映射或链接或一对一关系,并将状态S1的功率电平发送到功率控制器PWRS1<sub>x</sub>,将状态S2的功率电平发送到功率控制器PWRS2<sub>x</sub>,且将状态S0的功率电平发送到功率控制器PWRS0<sub>x</sub>。每个功率控制器PWRS1<sub>x</sub>、PWRS2<sub>x</sub>和PWRS0<sub>x</sub>将从数字信号处理器DSP<sub>x</sub>接收的相应功率电平存储在功率控制器的存储设备中。

[0071] 类似地,处理器112将要产生的在状态S1、S2和S0中的每一个的特征内的RF信号102<sub>y</sub>的状态S1、S2和S0的功率电平通过传输电缆120<sub>y</sub>发送到数字信号处理器DSP<sub>y</sub>。在接收到具有状态S1、S2和S0的特征的RF信号102<sub>y</sub>的状态S1、S2和S0的功率电平时,数字信号处理器DSP<sub>y</sub>从数字信号处理器DSP<sub>y</sub>的存储设备访问状态S1、S2和S0的特征与功率控制器PWRS1<sub>y</sub>、PWRS2<sub>y</sub>和PWRS0<sub>y</sub>之间的对应关系,例如一对一映射或链接或一对一关系,并将状态S1的功率电平发送到功率控制器PWRS1<sub>y</sub>,将状态S2的功率电平发送到功率控制器PWRS2<sub>y</sub>,并将状态S0的功率电平发送到功率控制器PWRS0<sub>y</sub>。每个功率控制器PWRS1<sub>y</sub>、PWRS2<sub>y</sub>和PWRS0<sub>y</sub>将从数字信号处理器DSP<sub>y</sub>接收的相应功率电平存储在功率控制器的存储设备中。

[0072] 处理器112经由传输电缆120<sub>x</sub>将数字脉冲信号108发送到数字信号处理器DSP<sub>x</sub>并且同时经由传输电缆120<sub>y</sub>将数字脉冲信号108发送到数字信号处理器DSP<sub>y</sub>。响应于接收到数字脉冲信号108,数字信号处理器DSP<sub>x</sub>从数字脉冲信号108的逻辑电平识别数字脉冲信号108的状态。例如,数字信号处理器DSP<sub>x</sub>在确定数字脉冲信号108的逻辑电平为零时识别数字脉冲信号108的状态为S1,在确定数字脉冲信号108的逻辑电平为1时识别数字脉冲信号108的状态为S2,并且在确定数字脉冲信号108的逻辑电平为2时识别数字脉冲信号108的状

态为S0。

[0073] 在数字脉冲信号108的状态S1期间,当识别出数字脉冲信号108的状态为S1时,数字信号处理器DSP<sub>x</sub>向功率控制器PWRS1<sub>x</sub>发送控制信号。响应于在数字脉冲信号108的状态S1期间接收到控制信号,功率控制器PWRS1<sub>x</sub>从功率控制器PWRS1<sub>x</sub>的存储器设备访问状态S1的功率电平,生成包括状态S1的功率电平的信号,并将信号发送到电源PS<sub>x</sub>。在数字脉冲信号108的状态S1期间,响应于从功率控制器PWRS1<sub>x</sub>接收到包括状态S1的功率电平的信号,电源PS<sub>x</sub>生成具有状态S1的功率电平的RF信号102<sub>x</sub>的一部分。

[0074] 类似地,在数字脉冲信号108的状态S2期间,当识别出数字脉冲信号108的状态为S2时,数字信号处理器DSP<sub>x</sub>向功率控制器PWRS2<sub>x</sub>发送控制信号。当在数字脉冲信号108的状态S2期间接收到控制信号时,功率控制器PWRS2<sub>x</sub>从功率控制器PWRS2<sub>x</sub>的存储器设备访问状态S2的功率电平,生成包括状态S2的功率电平的信号,并将信号发送到电源PS<sub>x</sub>。在数字脉冲信号108的状态S2期间,响应于从功率控制器PWRS1<sub>x</sub>接收到具有状态S2的功率电平的信号,电源PS<sub>x</sub>将RF信号102<sub>x</sub>从状态S1的功率电平转变为状态S2的功率电平以生成具有状态S2的功率电平的RF信号102<sub>x</sub>的一部分。

[0075] 此外,在数字脉冲信号108的状态S0期间,当识别出数字脉冲信号108的状态为S0时,数字信号处理器DSP<sub>x</sub>向功率控制器PWRS0<sub>x</sub>发送控制信号。当在数字脉冲信号108的状态S0期间接收到控制信号时,功率控制器PWRS0<sub>x</sub>从功率控制器PWRS0<sub>x</sub>的存储器设备访问状态S0的功率电平,生成包括状态S0的功率电平的信号,并将信号发送到电源PS<sub>x</sub>。在数字脉冲信号108的状态S0期间,响应于从功率控制器PWRS0<sub>x</sub>接收到具有状态S0的功率电平的信号,电源PS<sub>x</sub>将RF信号102<sub>x</sub>从状态S2的功率电平转变为状态S0的功率电平以生成具有状态S0的功率电平的RF信号102<sub>x</sub>的一部分。

[0076] 以类似的方式,响应于接收到数字脉冲信号108,数字信号处理器DSP<sub>y</sub>以与上述数字信号处理器DSP<sub>x</sub>识别数字脉冲信号108的状态相同的方式从数字脉冲信号108的逻辑电平识别数字脉冲信号108的状态。例如,数字信号处理器DSP<sub>y</sub>在确定数字脉冲信号108的逻辑电平为零时识别数字脉冲信号108的状态为S1,在确定数字脉冲信号108的逻辑电平为1时识别数字脉冲信号108的状态为S2,并且在确定数字脉冲信号108的逻辑电平为2时识别数字脉冲信号108的状态为S0。

[0077] 在数字脉冲信号108的状态S1期间,当识别出数字脉冲信号108的状态为S1时,数字信号处理器DSP<sub>y</sub>向功率控制器PWRS1<sub>y</sub>发送控制信号。此外,当在数字脉冲信号108的状态S1期间接收到控制信号时,功率控制器PWRS1<sub>y</sub>从功率控制器PWRS1<sub>y</sub>的存储器设备访问状态S1的功率电平,生成包括状态S1的功率电平的信号,并将信号发送到电源PS<sub>y</sub>。在数字脉冲信号108的状态S1期间,响应于从功率控制器PWRS1<sub>y</sub>接收到具有状态S1的功率电平的信号,电源PS<sub>y</sub>生成具有状态S1的功率电平的RF信号102<sub>y</sub>的一部分。

[0078] 类似地,在数字脉冲信号108的状态S1期间,当识别出数字脉冲信号108的状态为S2时,数字信号处理器DSP<sub>y</sub>向功率控制器PWRS2<sub>x</sub>发送控制信号。当在数字脉冲信号108的状态S2期间接收到控制信号时,功率控制器PWRS2<sub>y</sub>从功率控制器PWRS2<sub>y</sub>的存储器设备访问状态S2的功率电平,生成包括状态S2的功率电平的信号,并将信号发送到电源PS<sub>y</sub>。在数字脉冲信号108的状态S2期间,响应于从功率控制器PWRS1<sub>y</sub>接收到具有状态S2的功率电平的信号,电源PS<sub>y</sub>将RF信号102<sub>y</sub>从状态S1的功率电平转变为状态S2的功率电平以生成具有状态

S2的功率电平的RF信号102y的一部分。

[0079] 此外,在数字脉冲信号108的状态S0期间,当识别出数字脉冲信号108的状态为S0时,数字信号处理器DSP<sub>y</sub>向功率控制器PWR<sub>S0y</sub>发送控制信号。响应于在数字脉冲信号108的状态S0期间接收到控制信号时,功率控制器PWR<sub>S0y</sub>从功率控制器PWR<sub>S0y</sub>的存储器设备访问状态S0的功率电平,生成包括状态S0的功率电平的信号,并将信号发送到电源PS<sub>y</sub>。在数字脉冲信号108的状态S0期间,响应于从功率控制器PWR<sub>S0y</sub>接收到具有状态S0的功率电平的信号,电源PS<sub>y</sub>将RF信号102y从状态S2的功率电平转变为状态S0的功率电平以生成具有状态S0的功率电平的RF信号102y的一部分。

[0080] RF信号102x由电源PS<sub>x</sub>经由输出01<sub>x</sub>和RF电缆116<sub>x</sub>提供到阻抗匹配网络IMN的输入I2<sub>x</sub>。此外,RF信号102y由电源PS<sub>y</sub>经由输出01<sub>y</sub>和RF电缆116<sub>y</sub>提供到阻抗匹配网络IMN的输入I2<sub>y</sub>。阻抗匹配网络IMN在输入I2<sub>x</sub>处接收RF信号102x,并且当RF信号102x经由耦合到输入I2<sub>x</sub>的阻抗匹配网络IMN的分支电路传输时,RF信号RF102x的阻抗由分支电路修改以输出第一修改的RF信号。类似地,阻抗匹配网络IMN在输入I2<sub>y</sub>处接收RF信号102x,并且当RF信号102y经由耦合到输入I2<sub>y</sub>的阻抗匹配网络IMN的分支电路传输时,RF信号RF102y的阻抗由分支电路修改以输出第二修改的RF信号。RF信号102x和102y的阻抗被修改以使耦合到输出02的负载的阻抗与耦合到输入I2<sub>x</sub>和I2<sub>y</sub>的源的阻抗匹配。耦合到输出02的负载的示例包括RF传输线122和等离子体室106。耦合到输入I2<sub>x</sub>和I2<sub>y</sub>的源的示例包括RF电缆116<sub>x</sub>和116<sub>y</sub>以及RF发生器RFG<sub>x</sub>和RFG<sub>y</sub>。耦合到输入I2<sub>x</sub>的分支电路在输出02处连接到耦合到输入I2<sub>y</sub>的分支电路,以组合第一和第二修改的RF信号以在输出02输出组合的修改的RF信号124。

[0081] 组合的修改的RF信号124经由RF传输线122从阻抗匹配网络IMN的输出02发送到衬底支撑件104的下电极。此外,将一种或多种处理气体(例如含氟气体或含氧气体或其组合)供应到等离子体室106内的上电极118和衬底支撑件104之间的间隙。当组合的修改的RF信号124和一种或多种处理气体被同时供应到等离子体室106,等离子体被激励或保持在间隙内以处理衬底S。衬底S的示例包括形成在衬底层上的半导体晶片,以及形成在衬底层上的衬底堆叠件。处理衬底S的示例包括在衬底层上沉积一种或多种材料,例如氧化物层、氮化物层、氮化硅层、掩模层或其两者或更多者的组合。处理衬底的其他示例包括蚀刻衬底S或溅射衬底S或清洁衬底S。

[0082] 在一个实施方案中,衬底支撑件104的下电极耦合到地电位并且上电极118耦合到阻抗匹配网络IMN的输出02。

[0083] 在一实施方案中,除了RF发生器RFG<sub>x</sub>和RFG<sub>y</sub>通过阻抗匹配网络IMN耦合到衬底支撑件104的下电极之外,一个或多个RF发生器通过阻抗匹配网络耦合到上电极118。

[0084] 在一个实施方案中,本文描述为由数字信号处理器DSP<sub>x</sub>、功率控制器PWR<sub>S1x</sub>、功率控制器PWR<sub>S2x</sub>、功率控制器PWR<sub>S0x</sub>和自动频率调谐器AFT<sub>Sx</sub>中的一个或多个执行的功能或操作由射频发生器RFG<sub>x</sub>的控制器或处理器执行。例如,这里描述为由功率控制器PWR<sub>S1x</sub>、功率控制器PWR<sub>S2x</sub>、功率控制器PWR<sub>S0x</sub>和自动频率调谐器AFT<sub>Sx</sub>执行的功能由数字信号处理器DSP<sub>x</sub>执行。

[0085] 类似地,一个实施方案中,本文描述为由数字信号处理器DSP<sub>y</sub>、功率控制器PWR<sub>S1x</sub>、功率控制器PWR<sub>S2y</sub>、功率控制器PWR<sub>S0y</sub>和自动频率调谐器AFT<sub>Sy</sub>中的一个或多个执行的功能或操作由射频发生器RFG<sub>y</sub>的控制器或处理器执行。例如,这里描述为由功率控制

器PWRs1<sub>y</sub>、功率控制器PWRs2<sub>y</sub>、功率控制器PWRs0<sub>y</sub>和自动频率调谐器AFT<sub>y</sub>执行的功能由数字信号处理器DSP<sub>y</sub>执行。

[0086] 在一个实施方案中,这里描述为由数字信号处理器DSP<sub>x</sub>、功率控制器PWRs1<sub>x</sub>、功率控制器PWRs2<sub>x</sub>、功率控制器PWRs0<sub>x</sub>、自动频率调谐器AFT<sub>s</sub><sub>x</sub>、数字信号处理器DSP<sub>y</sub>、功率控制器PWRs1<sub>y</sub>、功率控制器PWRs2<sub>y</sub>、功率控制器PWRs0<sub>y</sub>和自动频率调谐器AFT<sub>s</sub><sub>y</sub>中的一者或多者执行的功能或操作由处理器112执行。

[0087] 在一个实施方案中,时钟信号由时钟源生成,而不是由处理器112生成。

[0088] 图2A是时钟信号204的图表202的实施方案,时钟信号204是上述时钟信号。时钟信号204由处理器112生成。图表202在y轴上绘制逻辑电平并且在x轴上绘制时间t。图表202的y轴包括逻辑电平0和逻辑电平1。图表202的x轴包括多次t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>和t<sub>5</sub>。

[0089] 图表202的x轴上的任意两个连续时间之间的时间间隔相同。例如,时间t<sub>0</sub>和t<sub>1</sub>之间的时间间隔等于时间t<sub>1</sub>和t<sub>2</sub>之间的时间间隔,时间t<sub>1</sub>和t<sub>2</sub>之间的时间间隔等于时间t<sub>2</sub>和t<sub>3</sub>之间的时间间隔。时间t<sub>3</sub>和t<sub>4</sub>之间的时间间隔等于时间t<sub>2</sub>和t<sub>3</sub>之间的时间间隔,时间t<sub>4</sub>和t<sub>5</sub>之间的时间间隔等于时间t<sub>3</sub>和t<sub>4</sub>之间的时间间隔。时间t<sub>1</sub>与时间t<sub>0</sub>连续。类似地,时间t<sub>2</sub>与时间t<sub>1</sub>连续,时间t<sub>3</sub>与时间t<sub>2</sub>连续,时间t<sub>4</sub>与时间t<sub>3</sub>连续,时间t<sub>5</sub>与时间t<sub>4</sub>连续。

[0090] 时钟信号204在逻辑电平0和1之间周期性地转变。例如,在时钟信号204的周期1的前半部分期间,时钟信号204处于逻辑电平1。在时间t<sub>1</sub>,时钟信号204从逻辑电平1转变为逻辑电平0。在时钟信号204的周期1的后半部分,时钟信号204具有逻辑电平0。在时间t<sub>2</sub>,时钟信号204从逻辑电平0转变到逻辑电平1。在时钟信号204的第2周期的前半部分,时钟信号204处于逻辑电平1。在时间t<sub>3</sub>,时钟信号204从逻辑电平1转变到逻辑电平0。在时钟信号204的周期2的后半部分,时钟信号为逻辑电平0。在时间t<sub>4</sub>,时钟信号204从逻辑电平0转变到逻辑电平1。

[0091] 时钟信号204的周期2与时钟信号204的周期1连续。例如,在时钟信号204的周期1和2之间没有其他时钟周期。周期1从时间t<sub>0</sub>到时间t<sub>2</sub>出现,周期2从时间t<sub>2</sub>到时间t<sub>4</sub>出现。

[0092] 图2B是图表206的实施方案的示意图,其用于说明数字脉冲信号208的实施方案。数字脉冲信号208是图1的数字脉冲信号108的示例。图表206描绘了在y轴上的数字脉冲信号208的逻辑电平,在x轴上的时间t。图表206的y轴包括逻辑电平0、1和2。图表206的x轴包括时间t<sub>0</sub>、时间t<sub>0a</sub>、时间t<sub>0b</sub>、时间t<sub>1</sub>、时间t<sub>2</sub>、时间t<sub>2a</sub>、时间t<sub>2b</sub>、时间t<sub>3</sub>和t<sub>4</sub>。时间t<sub>0a</sub>出现在时间t<sub>0</sub>和t<sub>0b</sub>之间,时间t<sub>0b</sub>出现在时间t<sub>0a</sub>和t<sub>1</sub>之间。此外,时间t<sub>2a</sub>出现在时间t<sub>2</sub>和t<sub>2b</sub>之间,时间t<sub>2b</sub>出现在时间t<sub>2a</sub>和t<sub>3</sub>之间。

[0093] 数字脉冲信号208在其状态S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>和S<sub>0</sub>之间周期性地转变。例如,从时间t<sub>0</sub>到时间t<sub>0a</sub>,数字脉冲信号208具有由逻辑电平0定义的状态S<sub>1</sub>。举例而言,在数字脉冲信号208的状态S<sub>1</sub>期间,数字脉冲信号208处于逻辑电平0。数字脉冲信号208在时间t<sub>0a</sub>从逻辑电平0转变到逻辑电平1。数字脉冲信号208的状态S<sub>2</sub>由逻辑电平1定义。举例而言,在数字脉冲信号208的状态S<sub>2</sub>期间,数字脉冲信号208处于逻辑电平1。

[0094] 从时间t<sub>0a</sub>到时间t<sub>0b</sub>,数字脉冲信号208具有状态S<sub>2</sub>。在时间t<sub>0b</sub>,数字脉冲信号208从状态S<sub>2</sub>转变到由逻辑电平2定义的状态S<sub>0</sub>。举例而言,在数字脉冲信号208的状态S<sub>0</sub>期间,数字脉冲信号208处于逻辑电平2。数字脉冲信号208从时间t<sub>0b</sub>到时间t<sub>2</sub>具有状态S<sub>0</sub>。在时间t<sub>2</sub>,数字脉冲信号208从状态S<sub>0</sub>转变回状态S<sub>1</sub>。

[0095] 数字脉冲信号208从时间 $t_2$ 到时间 $t_{2a}$ 具有状态S1。数字脉冲信号208在时间 $t_{2a}$ 从状态S1转变到状态S2。数字脉冲信号208从时间 $t_{2a}$ 到时间 $t_{2b}$ 具有状态S2。在时间 $t_{2b}$ ，数字脉冲信号208从状态S2转变到状态S0。数字脉冲信号208从时间 $t_{2b}$ 到时间 $t_4$ 具有状态S0。在时间 $t_4$ ，数字脉冲信号208从状态S0转变回状态S1。

[0096] 应该注意，会出现数字脉冲信号208的状态S1、S2和S0中的每一个的多个实例。例如，数字脉冲信号208的状态S1的第一实例出现在时间 $t_0$ 和 $t_{0a}$ 之间，而数字脉冲信号208的状态S1的第二实例出现在时间 $t_2$ 和 $t_{2a}$ 之间。作为另一个示例，数字脉冲信号208的状态S2的第一实例出现在时间 $t_{0a}$ 和 $t_{0b}$ 之间，而数字脉冲信号208的状态S2的第二实例出现在时间 $t_{2a}$ 和 $t_{2b}$ 之间。作为又一示例，数字脉冲信号208的状态S0的第一实例出现在时间 $t_{0b}$ 和 $t_2$ 之间，而数字脉冲信号208的状态S0的第二实例出现在时间 $t_{2a}$ 和 $t_4$ 之间。作为另一示例，数字脉冲信号208的状态S2的第一实例与数字脉冲信号208的状态S1的第一实例连续，而数字脉冲信号208的状态S0的第一实例与数字脉冲信号208的状态S2的第一实例连续。数字脉冲信号208的状态S1的第二实例与数字脉冲信号208的状态S0的第一实例连续。此外，数字脉冲信号208的状态S2的第二实例与数字脉冲信号208的状态S1连续，而数字脉冲信号208的状态S0的第二实例与数字脉冲信号208的状态S2的第二实例连续。

[0097] 图2C是图表210的实施方案，其用于说明由RF发生器RFG<sub>x</sub> (图1) 生成的RF信号212的实施方案和由RF发生器RFG<sub>y</sub> (图1) 生成的RF信号214的实施方案。RF信号212是RF信号102<sub>x</sub> (图1) 的示例，RF信号214是RF信号102<sub>y</sub> (图1) 的示例。

[0098] RF信号212和214与数字脉冲信号208同步。例如，RF信号212和214中的每一个在数字脉冲信号208从状态S1转变到状态S2的时间 $t_{0a}$ 处启动从状态S1到状态S2的转变。作为另一示例，RF信号212和214中的每一个在数字脉冲信号208从状态S2转变到状态S0的时间 $t_{0b}$ 处启动从状态S2到状态S0的转变。作为又一示例，RF信号212和214中的每一个在数字脉冲信号208从状态S0转变到状态S1的时间 $t_2$ 处启动从状态S0到状态S1的转变。

[0099] 图表210描绘了RF信号212和214的功率电平。例如，图表210的y轴包括功率电平P0、P1、P2、P3和P4。功率电平P1大于功率电平P0。另外，功率电平P2大于功率电平P1，功率电平P3大于功率电平P2。功率电平P4大于功率电平P3。

[0100] 如本文所使用的，功率电平是RF信号的包络，例如峰-峰幅值。例如，功率电平P4、P2和P0是RF信号102<sub>x</sub>的包络线，而功率电平P1、P3和P0是RF信号102<sub>y</sub>的包络线。作为另一示例，功率电平包括在功率电平的预定范围内的一个或多个峰-峰功率值，例如大于或小于功率电平的。作为又一示例，功率电平是功率电平的所有峰-峰功率值的统计值，例如平均值或中值。作为另一示例，功率电平是功率电平的所有峰-峰功率值中的最高值。作为又一示例，功率电平是功率电平的所有峰-峰功率值中的最低值。

[0101] 此外，第一功率电平不同于第二功率电平。例如，功率电平P0的一个或多个功率值不包括功率电平P1的一个或多个功率值，并且功率电平P2的一个或多个功率值不包括功率电平P0和P1中的每一个的一个或多个功率值。

[0102] 此外，图表210描绘在x轴上的时间 $t$ 。例如，图表210的x轴包括时间 $t_0$ 、 $t_{0a}$ 、 $t_{0b}$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_{2a}$ 、 $t_{2b}$ 、 $t_3$ 和 $t_4$ 。

[0103] RF信号212以下述方式在RF信号212的状态S1、S2和S0之间周期性地转变。类似地，RF信号214以下述方式在RF信号214的状态S1、S2和S0之间周期性地转变

[0104] RF信号212的状态S1由功率电平P4限定。例如,在数字脉冲信号208或RF信号212的状态S1期间,RF信号212具有功率电平P4。

[0105] RF信号212在从时间t0a开始的时间窗内从状态S1转变到状态S2。RF信号212的状态S2由功率电平P2限定。例如,在数字脉冲信号208或RF信号212的状态S2期间,RF信号212具有功率电平P2。

[0106] 应当注意,本文描述的RF信号不会从一种状态瞬时转变为连续状态。例如,RF信号212从状态S1到状态S2的转变不是瞬时的。举例而言,RF信号212从状态S1到状态S2的转变发生在时间窗内。作为另一示例,如本文所使用的,从一定时间转变的时间窗是在该时间之后的状态期间出现的时间段。举例而言,从时间t0a开始的时间窗是在时间t0a之后在数字脉冲信号208的状态S2期间出现的时间段。在时间t0a之后的时间段出现在从时间t0a到时间t0a和t0b之间的时间的数字脉冲信号208的状态S2期间。

[0107] RF信号212在从时间t0b开始的时间窗内从状态S2转变为状态S0。RF信号212的状态S0由功率电平P0限定。例如,在数字脉冲信号208或RF信号212的状态S0期间,RF信号212具有功率电平P0。

[0108] RF信号212在从时间t2开始的时间窗内从状态S0转变到状态S1。RF信号212在从时间t2a开始的时间窗内从状态S1转变到状态S2,并且在从时间t2b起的时间窗内从状态S2转变到状态S0。

[0109] 类似地,在数字脉冲信号208的状态S1期间,RF信号214具有功率电平P1。RF信号214的状态S1由功率电平P1限定。例如,在数字脉冲信号208或RF信号214的状态S1期间,RF信号214具有功率电平P1。

[0110] RF信号214在从时间t0a开始的时间窗内从状态S1转变到状态S2。RF信号214的状态S2由功率电平P3限定。例如,在数字脉冲信号208或RF信号214的状态S2期间,RF信号214具有功率电平P3。

[0111] RF信号214在从时间t0b开始的时间窗内从状态S2转变到状态S0。RF信号214的状态S0由功率电平P0限定。例如,在数字脉冲信号208或RF信号214的状态S0期间,RF信号214具有功率电平P0。

[0112] RF信号214在从时间t2开始的时间窗内从状态S0转变到状态S1。RF信号214在从时间t2a开始的时间窗内从状态S1转变到状态S2,并且在从时间t2b开始的时间窗内从状态S2转变到状态S0。

[0113] 在时间t0和t0a之间的RF信号212的状态S1是RF信号212的状态S1的第一实例,而在时间t2和t2a之间的RF信号212的状态S1是RF信号212的状态S1的第二实例。类似地,时间t0a和t0b之间的RF信号212的状态S2是RF信号212的状态S2的第一实例,而在时间t2a和t2b之间的RF信号212的状态S2是RF信号212的状态S2的第二实例。此外,在时间t0b和t2之间的RF信号212的状态S0是RF信号212的状态S0的第一实例,而在时间t2b和t4之间的RF信号212的状态S0是RF信号212的状态S0的第二实例。

[0114] 类似地,在时间t0和t0a之间的RF信号214的状态S1是RF信号214的状态S1的第一实例,而在时间t2和t2a之间的RF信号214的状态S1是RF信号214的状态S1的第二实例。类似地,时间t0a和t0b之间的RF信号214的状态S2是RF信号214的状态S2的第一实例,而在时间t2a和t2b之间的RF信号214的状态S2是RF信号214的状态S2的第二实例。此外,在时间t0b和

t2之间的RF信号214的状态S0是RF信号214的状态S0的第一实例,而在时间t2b和t4之间的RF信号214的状态S0是RF信号214的状态S0的第二实例。

[0115] 图2D是图表215的实施方案,其用于说明由RF发生器RFG<sub>x</sub>(图1)生成的RF信号216的实施方案和由RF发生器RFG<sub>y</sub>(图1)生成的RF信号218的实施方案。RF信号216是RF信号102<sub>x</sub>(图1)的示例,而RF信号218是RF信号102<sub>y</sub>(图1)的示例。

[0116] 图表215描绘了RF信号216和218的功率电平。此外,图表215描绘了在x轴上的时间t。例如,图表215的x轴包括时间t<sub>0</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>和t<sub>4</sub>。应当注意,RF信号216和218的状态S1到S3的占空比不同于图2C中所示的状态S1到S3的占空比。例如,RF信号216和218的状态S1的占空比为25%,RF信号216和218的状态S2的占空比为40%,RF信号216和218的状态S3的占空比为35%。

[0117] 图3A是图表302的实施方案,其用于说明RF信号212的一部分的放大图。图表302描绘了RF信号212的功率电平与时间t的关系。RF信号212在从时间t<sub>0a</sub>开始的时间窗内从功率电平P<sub>4</sub>转变到功率电平P<sub>2</sub>。例如,RF信号212在时间t<sub>0a</sub>和时间t<sub>0a1</sub>之间的时间段内从功率电平P<sub>4</sub>转变到功率电平P<sub>2</sub>。时间t<sub>0a1</sub>出现在RF信号212或数字脉冲信号208(图2B)的状态S<sub>2</sub>期间,并且出现在时间t<sub>0a</sub>和t<sub>0b</sub>之间。类似地,RF信号212在从时间t<sub>0b</sub>开始的时间窗内从功率电平P<sub>2</sub>转变到功率电平P<sub>0</sub>。

[0118] 图3B是图表304的实施方案,其用于说明RF信号214的一部分的放大图。图表304描绘了RF信号214的功率电平与时间t的关系。RF信号214在从时间t<sub>0a</sub>开始的时间窗内从功率电平P<sub>1</sub>转变到功率电平P<sub>3</sub>。例如,RF信号214在时间t<sub>0a</sub>和时间t<sub>0a2</sub>之间的时间段内从功率电平P<sub>1</sub>转变到功率电平P<sub>3</sub>。时间t<sub>0a2</sub>出现在RF信号214或数字脉冲信号208(图2B)的状态S<sub>2</sub>期间,并且出现在时间t<sub>0a</sub>和t<sub>0b</sub>之间。类似地,RF信号214在从时间t<sub>0b</sub>开始的时间窗内从功率电平P<sub>3</sub>转变到功率电平P<sub>0</sub>。

[0119] 图4A是时钟信号204的图表202的实施方案中的一个。

[0120] 图4B是图表402的一实施方案的示意图,其用于说明数字脉冲信号404的实施方案。数字脉冲信号404是图1的数字脉冲信号108的示例。图表402描绘了在y轴上的数字脉冲信号404的逻辑电平,在x轴上的时间t。图表402的y轴包括逻辑电平0、1和2。图表402的x轴包括时间t<sub>0</sub>、时间t<sub>0a</sub>、时间t<sub>1</sub>、时间t<sub>1a</sub>、时间t<sub>2</sub>、时间t<sub>2a</sub>、时间t<sub>3</sub>、时间t<sub>3a</sub>、时间t<sub>4</sub>。时间t<sub>1a</sub>出现在时间t<sub>1</sub>和t<sub>2</sub>之间,时间t<sub>3a</sub>出现在时间t<sub>3</sub>和t<sub>4</sub>之间。

[0121] 数字脉冲信号404在状态S<sub>1</sub>、S<sub>0</sub>和S<sub>2</sub>之间周期性地转变。例如,从时间t<sub>0</sub>到时间t<sub>0a</sub>,数字脉冲信号404具有由逻辑电平0限定的状态S<sub>1</sub>。举例而言,在状态S<sub>1</sub>期间,数字脉冲信号208处于逻辑电平0。数字脉冲信号404在时间t<sub>0a</sub>从逻辑电平0转变到逻辑电平2。数字脉冲信号404的状态S<sub>0</sub>由逻辑电平2限定。举例而言,在状态S<sub>0</sub>期间,数字脉冲信号404处于逻辑电平2。

[0122] 数字脉冲信号404从时间t<sub>0a</sub>到时间t<sub>1a</sub>具有状态S<sub>0</sub>。在时间t<sub>1a</sub>,数字脉冲信号404从状态S<sub>0</sub>转变到由逻辑电平1限定的状态S<sub>2</sub>。举例而言,在状态S<sub>2</sub>期间,数字脉冲信号404处于逻辑电平1。

[0123] 在时间t<sub>2</sub>,数字脉冲信号404从状态S<sub>2</sub>转变回状态S<sub>1</sub>。从时间t<sub>2</sub>到时间t<sub>2a</sub>,数字脉冲信号404具有状态S<sub>1</sub>。数字脉冲信号404在时间t<sub>2a</sub>从状态S<sub>1</sub>转变到状态S<sub>0</sub>。从时间t<sub>2a</sub>到时间t<sub>3a</sub>,数字脉冲信号404具有状态S<sub>0</sub>。在时间t<sub>3a</sub>,数字脉冲信号404从状态S<sub>0</sub>转变到状态

S2。从时间 $t_{3a}$ 到时间 $t_4$ ，数字脉冲信号404具有状态S2。在时间 $t_4$ ，数字脉冲信号404从状态S2转变回状态S1。

[0124] 应当注意，数字脉冲信号404的状态S1、S0和S2中的每一个的多个实例发生。例如，数字脉冲信号404的状态S1的第一实例出现在时间 $t_0$ 和 $t_{0a}$ 之间，而数字脉冲信号404的状态S1的第二实例出现在时间 $t_2$ 和 $t_{2a}$ 之间。作为另一示例，数字脉冲信号404的状态S0的第一实例出现在时间 $t_{0a}$ 和 $t_{1a}$ 之间，并且数字脉冲信号404的状态S0的第二实例出现在时间 $t_{2a}$ 和 $t_{3a}$ 之间。作为又一示例，数字脉冲信号404的状态S2的第一实例出现在时间 $t_{1a}$ 和 $t_2$ 之间，而数字脉冲信号404的状态S2的第二实例出现在时间 $t_{3a}$ 和 $t_4$ 之间。作为另一示例，状态S0的第一实例与数字脉冲信号404的状态S1的第一实例连续，而数字脉冲信号404的状态S2的第一实例与状态S0的第一实例连续。数字脉冲信号404的状态S1的第二实例与数字脉冲信号404的状态S2的第一实例连续。此外，数字脉冲信号404的状态S0的第二实例与第二数字脉冲信号404的状态S1的实例连续，而数字脉冲信号404的状态S2的第二实例与数字脉冲信号404的状态S0的第二实例连续。

[0125] 图4C是图表406的实施方案，其用于说明由RF发生器RFG<sub>x</sub> (图1) 生成的RF信号408的实施方案和由RF发生器RFG<sub>y</sub> (图1) 生成的RF信号410的实施方案。RF信号408是RF信号102<sub>x</sub> (图1) 的示例，RF信号410是RF信号102<sub>y</sub> (图1) 的示例。

[0126] RF信号408和410与数字脉冲信号404同步。例如，RF信号408和410中的每一个在数字脉冲信号404从状态S1转变到状态S0时启动从状态S1到状态S0的转变。作为另一示例，RF信号408和410中的每一个在数字脉冲信号404从状态S0转变到状态S2时启动从状态S0到状态S2的转变。作为又一示例，RF信号408和410中的每一个在数字脉冲信号404从状态S2转变为状态S1时启动从状态S2到状态S1的转变。

[0127] 图表406描绘了RF信号408和410的功率电平。例如，图表406的y轴包括功率电平P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>和P<sub>4</sub>。此外，图表406描绘了在x轴上的时间 $t$ 。例如，图表406的x轴包括时间 $t_0$ 、 $t_{0a}$ 、 $t_1$ 、 $t_{1a}$ 、 $t_2$ 、 $t_{2a}$ 、 $t_3$ 、 $t_{3a}$ 和 $t_4$ 。

[0128] RF信号408以下述方式在RF信号408的状态S1、S0和S2之间周期性地转变。类似地，RF信号410以下述方式在RF信号410的状态S1、S0和S2之间周期性转变。

[0129] RF信号408的状态S1由功率电平P<sub>4</sub>限定。例如，在数字脉冲信号404或RF信号408的状态S1期间，RF信号408具有功率电平P<sub>4</sub>。

[0130] RF信号408在从时间 $t_{0a}$ 开始的时间窗内从状态S1转变到状态S0。RF信号408的状态S0由功率电平P<sub>0</sub>限定。例如，在数字脉冲信号404或RF信号408的状态S0期间，RF信号408具有功率电平P<sub>0</sub>。

[0131] RF信号408在从时间 $t_{1a}$ 开始的时间窗内从状态S0转变到状态S2。RF信号408的状态S2由功率电平P<sub>2</sub>限定。例如，在数字脉冲信号404或RF信号408的状态S2期间，RF信号408具有功率电平P<sub>2</sub>。

[0132] RF信号408在从时间 $t_2$ 开始的时间窗内从状态S2转变到状态S1。RF信号408在从时间 $t_{2a}$ 开始的时间窗内从状态S1转变到状态S0，并且在从时间 $t_{3a}$ 开始的时间窗内从状态S0转变到状态S2。

[0133] 类似地，在数字脉冲信号404的状态S1期间，RF信号410具有功率电平P<sub>1</sub>。RF信号410的状态S1由功率电平P<sub>1</sub>限定。例如，在数字脉冲信号404或RF信号410的状态S1期间，RF

信号410具有功率电平P1。

[0134] RF信号410在从时间t0a开始的时间窗内从状态S1转变到状态S0。RF信号410的状态S0由功率电平P0限定。例如,在数字脉冲信号404或RF信号410的状态S0期间,RF信号410具有功率电平P0。

[0135] RF信号410在从时间t1a开始的时间窗内从状态S0转变到状态S2。RF信号410的状态S2由功率电平P3定义。例如,在数字脉冲信号404或RF信号410的状态S2期间,RF信号410具有功率电平P3。

[0136] RF信号410在从时间t2开始的时间窗内从状态S2转变到状态S1。RF信号410在从时间t2a开始的时间窗内从状态S1转变到状态S0,并且在从时间t3a开始的时间窗内从状态S0转变到状态S2。

[0137] 在时间t0和t0a之间的RF信号408的状态S1是RF信号408的状态S1的第一实例,而在时间t2和t2a之间的RF信号408的状态S1是RF信号408的状态S1的第二实例。类似地,在时间t0a和t1a之间的RF信号408的状态S0是RF信号408的状态S0的第一实例,而在时间t2a和t3a之间的RF信号408的状态S0是RF信号408的状态S0的第二实例。此外,在时间t1a和t2之间的RF信号408的状态S2是RF信号408的状态S2的第一实例,而在时间t3a和t4之间的RF信号408的状态S2是RF信号408的状态S2的第二实例。

[0138] 类似地,在时间t0和t0a之间的RF信号410的状态S1是RF信号410的状态S1的第一实例,而在时间t2和t2a之间的RF信号410的状态S1是RF信号410的状态S1的第二实例。类似地,在时间t0a和t1a之间的RF信号410的状态S0是RF信号410的状态S0的第一实例,而在时间t2a和t3a之间的RF信号410的状态S0是RF信号410的状态S0的第二实例。此外,在时间t1a和t2之间的RF信号410的状态S2是RF信号410的状态S2的第一实例,而在时间t3a和t4之间的RF信号410的状态S2是RF信号410的状态S2的第二实例。

[0139] 图4D是图表411的实施方案,其用于说明由RF发生器RFG<sub>x</sub>(图1)生成的RF信号412的实施方案和由RF发生器RFG<sub>y</sub>(图1)生成的RF信号414的实施方案。RF信号414是RF信号102<sub>x</sub>(图1)的示例,RF信号416是RF信号102<sub>y</sub>(图1)的示例。

[0140] 图表411描绘了RF信号416和418的功率电平。此外,图表411描绘了在x轴上的时间t。例如,图表411的x轴包括时间t0、t2、t2、t3和t4。应当注意,RF信号414和416的状态S1到S3的占空比不同于图4C中所示的状态S1到S3的占空比。例如,RF信号414和416的状态S1的占空比为25%,RF信号414和416的状态S2的占空比为40%,RF信号414和416的状态S3的占空比为35%。

[0141] 图5A是图表502的实施方案,其用于说明RF信号408的一部分的放大图。图表502描绘了RF信号408的功率电平与时间t的关系。RF信号408在从时间t0a开始的时间窗内从功率电平P4转变到功率电平P0。例如,RF信号408在时间t0a和时间t0a1之间的时间段内从功率电平P4转变到功率电平P0。时间t0a1出现在RF信号408和数字脉冲信号404(图4B)的状态S0期间,并且出现在时间t0a和t1a之间。类似地,RF信号408在从时间t1a开始的时间窗内从功率电平P0转变到功率电平P2。

[0142] 图5B是图表504的实施方案,其用于说明RF信号410的一部分的放大图。图表504描绘了RF信号410的功率电平与时间t的关系。RF信号410在从时间t0a开始的时间窗内从功率电平P1转变到功率电平P0。例如,RF信号410在时间t0a和时间t0a2之间的时间段内从功率

电平P1转变到功率电平P0。时间t0a2出现在RF信号410和数字脉冲信号404(图4B)的状态S0期间,并且出现在时间t0a和t1a之间。类似地,RF信号214在从时间t1a开始的时间窗内从功率电平P0转变到功率电平P3。

[0143] 图6是表600的实施方案的示意图,其用于说明与状态S1、S2和S0相关的占空比,以及在状态S1、S2和S0期间的功率电平。作为示例,RF信号102x(图1)或数字脉冲信号108(图1)的状态S1的占空比在时钟信号204(图2A)的周期的3%至25%(并且包括3%和25%)的范围内。举例而言,RF信号102x或数字脉冲信号108的状态S1的占空比在时钟信号204的周期的3%至5%(并且包括3%和5%)的范围内。作为另一示例,RF信号102y(图1)或数字脉冲信号108的状态S1的占空比在时钟信号204(图2A)的周期的3%至25%(并且包括3%和25%)的范围内。举例而言,RF信号102y或数字脉冲信号108的状态S1的占空比在时钟信号204的周期的3%至5%(并且包括3%和5%)的范围内。

[0144] 作为又一示例,RF信号102x或数字脉冲信号108的状态S2的占空比在时钟信号204的周期的3%至50%(并且包括3%和50%)的范围内。举例而言,RF信号102x或数字脉冲信号108的状态S1的占空比在时钟信号204的周期的3%至5%(并且包括3%和5%)的范围内。作为另一示例,RF信号102y或数字脉冲信号108的状态S2的占空比在时钟信号204的周期的3%至50%(并且包括3%和50%)的范围内。举例而言,RF信号102y或数字脉冲信号108的状态S2的占空比在时钟信号204的周期的3%至5%(并且包括3%和5%)的范围内。

[0145] 作为又一示例,RF信号102x或数字脉冲信号108的状态S0的占空比在时钟信号204的周期的25%到94%(并且包括25%和94%)的范围内。作为另一示例,信号102y或数字脉冲信号108的状态S2的占空比RF在时钟信号204的周期的25%至94%(并且包括25%和94%)的范围内。

[0146] 作为另一示例,在状态S1期间,RF信号102x的功率电平与RF信号102y的功率电平之间的比值范围为6到10并且包括6和10。举例而言,RF信号102x的功率电平为10千瓦(kW),而RF信号102y的功率电平为1kW。应注意,RF信号102x和102y的状态S1的占空比以及在状态S1期间RF信号RF102x和102y之间的功率电平比增加了掩模选择性,这将在下文进一步描述。作为又一示例,在状态S2期间,RF信号102x的功率电平与RF信号102y的功率电平之间的比值的范围从0.2到1并且包括0.2和1。作为另一示例,在状态S2期间,RF信号102x的功率电平与RF信号102y的功率电平之间的比值范围为0.2至不到1。不到1的比值的示例是0.4或0.45或0.5或0.8或0.9。举例而言,在状态S2期间,RF信号102x的功率电平为2kW,而RF信号102y的功率电平为5kW。作为另一示例,在状态S2期间,RF信号102x的功率电平在RF信号102y的功率电平的20%和100%之间。作为又一例证,在状态S2期间,RF信号102x的功率电平在RF信号102y的功率电平的20%和不到100%之间。作为另一例证,在状态S2期间,RF信号102x的功率电平不近似为零,并且RF信号102y的功率电平不近似为零。进一步举例而言,在状态S2期间RF信号102x的功率电平不在0和300瓦之间的范围内,并且在状态S2期间RF信号102y的功率电平不在0和300瓦之间的范围内。应注意,RF信号102x和102y的状态S2的占空比以及在状态S2期间RF信号RF102x和102y之间的功率电平比增加弓形钝化,这将在下文进一步描述。作为另一示例,在状态S0期间,RF信号102x的功率电平的范围从0瓦到300瓦并且包括0瓦和300瓦,并且RF信号102y的功率电平的范围从0瓦到300瓦并且包括0瓦和300瓦。

[0147] 应当注意,在RF信号102x和102y的状态S0期间RF信号102x和102y的功率电平大致相等。例如,RF信号102x和102y在RF信号102x和102y的状态S0期间的功率电平彼此相差处于预定范围内。举例而言,在RF信号102x的状态S0期间RF信号102x的功率电平在0和300瓦之间的范围内,并且在RF信号102y的状态S0期间RF信号102y的功率电平在0和300瓦之间的范围内。作为另一示例,在RF信号102x和102y的状态S0期间RF信号102x和102y的功率电平为零。

[0148] 还应注意,RF信号102x的状态S1至S3的占空比之和或总和等于时钟信号204的时钟周期的100%。例如,RF信号102x和102y中的每一个的状态S1、S2和S0的第一实例占据时钟信号204的周期1(图2A),而RF信号102x和102y中的每一个的状态S1、S2和S0的第二实例占据时钟信号204的周期2(图2A)。

[0149] 在一个实施方案中,RF信号的状态的占空比是一时间段,RF信号在该时间段期间具有唯一功率电平。例如,RF信号212的状态S1的占空比是时间t0和t0a之间的时间段,在该时间段期间RF信号212具有功率电平P4。作为另一示例,RF信号212的状态S2的占空比是时间t0a和t0b之间的时间段,在该时间段期间RF信号212具有功率电平P2。作为又一示例,RF信号212的状态S0的占空比是时间t0b和t2之间的时间段,在该时间段期间RF信号212具有功率电平P0。作为另一示例,状态S1的RF信号214的状态S1的占空比是时间t0和t0a之间的时间段,在该时间段期间RF信号214具有功率电平P1。作为又一示例,RF信号214的状态S2的占空比是时间t0a和t0b之间的时间段,在该时间段期间RF信号214具有功率电平P3。作为又一示例,RF信号214的状态S0的占空比是时间t0b和t2之间的时间段,在该时间段期间RF信号214具有功率电平P0。

[0150] 图7A是衬底堆叠件700的实施方案的示意图。衬底堆叠件700是在等离子体室106(图1)中处理之前的衬底S的示例。衬底堆叠件700包括由硅制成的衬底层714。衬底堆叠件700还包括覆盖在衬底层714顶部的停止层712。停止层712的示例是由诸如氧化物或氮化物之类的电介质制成的蚀刻停止层。氧化物层710沉积在停止层712的顶部。另外,氮化硅(SiN)层708覆盖在氧化物层710的顶部,氧化物层706沉积在氮化硅层708的顶部,另一氮化硅层704沉积在氧化物层706的顶部,并且掩模层702沉积在氮化硅层704的顶部。掩模层702是光刻掩模,其是不透明的板或膜。

[0151] 在一实施方案中,使用氮化物层代替氧化物层706。类似地,在一实施方案中,使用氮化物层代替氧化物层710。

[0152] 图7B是衬底堆叠件720的实施方案的示意图,其用于说明沉积在掩模层702(图7A)的特征702B上的钝化层722和沉积在氮化硅层704(图7A)的特征704B上的钝化层724之间的平衡。衬底堆叠件720包括掩模层702的特征702A、特征702B、氮化硅层704的特征704A、特征704B、氧化物层706(图7A)的特征706A和706B、氮化硅层708和氧化物层710。衬底堆叠件720的剩余层712和714(图7A)未在图7B中示出。

[0153] 通过在等离子体室106(图1)内蚀刻图7A的衬底堆叠件700来制造衬底堆叠件720。衬底堆叠件720是衬底堆叠件700的一些蚀刻之后的衬底S(图1)的示例。通过提供基于RF信号102x和102y(图1)生成的组合的修改的RF信号124(图1)到等离子体室106,蚀刻衬底堆叠件700以实现钝化层722和钝化层724之间的平衡。例如,当钝化层722和724以基本相同的方式沉积以覆盖掩模层702和氮化硅层704的相应特征时,实现钝化层722和724之间的平

衡。举例而言,钝化层722的宽度基本等于钝化层724的宽度。

[0154] 钝化层724的基本相等的钝化导致弓形控制。例如,由于钝化层724的基本相等的钝化,因此在氮化硅层704的特征的侧壁上没有形成弓形。作为示例,钝化层是当修改的RF信号124被施加到衬底S时沉积在另一层上或周围的层。举例而言,钝化层722和724包括作为衬底堆叠件720的一部分的材料(例如氮化硅和氧化硅)的组合以及一种或多种工艺气体的材料的组合。

[0155] 在两态脉冲化中,RF信号在时钟信号的一个时钟周期期间在第一状态和第二状态之间周期性地交替。在两态脉冲化的第一状态期间,存在高掩模选择性、特征702B的高水平钝化以及特征704B的可忽略或最小的钝化。此外,在第一状态期间,由于特征702B的高水平钝化以及由于特征704B的可忽略或最小的钝化,在特征704B中产生弓形。弓形是不可取的。此外,在两态脉冲化的第二状态中,与第一状态相比,存在较低的掩模选择性,特征704B的高水平钝化,以及特征702B的最小或可忽略的钝化。因此,在两态脉冲化期间,在特征702B的钝化和特征704B的钝化之间缺乏平衡,并且产生了弓形。由于在第一状态期间与特征704B相比,特征702B的钝化量相对较高,并且在第二状态期间与特征704A相比,特征704B的钝化量相对较高,因此出现不平衡。通过以参照图2A-2C或图4A-4C所示的方式脉冲化RF信号102x和102y,实现了特征702B和704B的钝化之间的平衡并且减少或不产生弓形。

[0156] 此外,与两态脉冲化相比,参考图2A-2C或4A-4C所示的RF信号102x和102y的脉冲化增加了掩模选择性。掩模选择性的示例包括蚀刻衬底堆叠件700(图7A)的任何层704-710的蚀刻速率与掩模层702的蚀刻速率的比值。掩模选择性越大,衬底堆叠件700(图7A)被蚀刻得越快,并且掩模选择性越低,衬底堆叠件700被蚀刻得越慢。

[0157] 参考图2A-2C或4A-4C所示的RF信号102x和102y的脉冲化有助于实现掩模选择性和弓形控制之间的平衡。通过钝化氮化硅层704的特征的侧壁(例如侧壁734)来实现弓形控制。例如,与通过两态脉冲化实现的相比,通过以参考图2A-2C或4A-4C说明的方式脉冲化RF信号102x和102y来实现掩模层702的较低钝化量增加了掩模选择性。此外,与通过应用两态脉冲化实现的侧壁钝化量相比,使用组合的修改的RF信号124(图1)实现了通过蚀刻氮化硅层704产生的特征的侧壁钝化量的增加。通过蚀刻氮化硅层704产生的特征的侧壁钝化量的增加减少或消除了通过蚀刻氮化硅层704产生的特征的侧壁内的弓形,并且弓形的减少或消除增加了掩模选择性。

[0158] RF信号102x和102y的脉冲化有助于同时实现弓形控制和掩模选择性。通过管理RF信号102x和102y的脉冲化,可以达到最佳平衡以实现弓形控制和掩模选择性,同时最小化与两态脉冲化相关的任何折衷或妥协。

[0159] 图7C是衬底堆叠件720(图7B)的一部分730的放大视图。部分730包括掩模层702(图7A)的特征702B、氮化硅层704(图7A)的特征704B和氧化物层706(图7A)的特征706B。图7C中还示出了弓形件732,如虚线所示。弓形732在特征704B的侧壁734上产生。特征704B的侧壁734面对特征704A的侧壁726(图7B),并且当衬底堆叠件700(图7A)被蚀刻时在侧壁726和734之间产生间隙。应该注意,当向衬底S施加两态脉冲化时产生弓形732。然而,当参考图2A-2C或4A-4C所示的RF信号102x和102y的脉冲化通过组合的修改的RF信号124(图1)施加到衬底S时弯曲732减小或不产生。当参考图2A-2C和4A-4C示出的RF信号102x和102y的脉冲化实现特征702B和704B的钝化之间的平衡时,弓形732减小或不产生。

[0160] 当弓形732减小或不产生以实现或保持预定的关键尺寸时实现弓形控制。例如,由于有效的弓形控制,因而实现了预定的关键尺寸(CD),其是氮化硅层704的特征704B的侧壁734与特征704A的与侧壁734类似的侧壁之间的预定宽度。预定宽度小于弓形732与在特征704A的侧壁内产生的与该弓形类似的弓形之间的宽度,例如水平距离。

[0161] 图7D是在通过应用参考图2A-2C或图4A-4C所示的方法处理衬底堆叠件700(图7A)之后的衬底堆叠件740的实施方案的示意图。衬底堆叠件740是在参考图2A-2C或图4A-4C所示的RF信号102x和102y的脉冲化施加到衬底堆叠件700之后的衬底堆叠件S的示例。

[0162] 衬底堆叠件740包括掩模层702(图7A)的特征、氮化硅层704(图7A)的特征、氧化物层706(图7A)的特征、氮化硅层708(图7A)的特征、氧化物层710(图7A)的特征和停止层712(图7A)的特征。包括多个钝化部分(例如钝化层722(图7C)和钝化层724(图7C))的钝化层742沉积在特征702B、704B、706B、氮化硅层708的特征708B、氧化物层710的特征710B和停止层712的特征712B上。钝化层742是在基于参考图2A-2C或图4A-4C所说明的RF信号102x和102y生成的组合的修改的RF信号124施加于衬底堆叠件700时沉积的。

[0163] 图8是一实施方案的高级流程图。提供堆叠件(步骤804)。图9A是根据一个实施方案处理的堆叠件904的示意性截面图。堆叠件904包括衬底908。一个或多个中间层912,例如蚀刻停止层,可以在衬底908之上。第一氧化硅( $\text{SiO}_2$ )层916在一个或多个中间层912之上。氮化硅( $\text{SiN}$ )层920在第一 $\text{SiO}_2$ 层916之上。第二 $\text{SiO}_2$ 层924在第一 $\text{SiN}$ 层920之上。第二 $\text{SiN}$ 层928在第二 $\text{SiO}_2$ 层924之上。图案化掩模932在第二 $\text{SiN}$ 层928之上。在多种实施方案中,一个或多个层可以在图案化掩模932和第二 $\text{SiN}$ 层928之间。多种实施方案可以具有附加的交替 $\text{SiN}$ 层和 $\text{SiO}_2$ 层。其他实施方案可以具有其他材料层。在多种实施方案中,堆叠件904具有含硅层。在该实施方案中,图案化掩模932是硬掩模,例如多晶硅。

[0164] 堆叠件904可以放置在等离子体室106中。蚀刻气体流入等离子体室106中(步骤808)。在该实施方案中,蚀刻气体包括金属氟化物或含钨的钝化剂和蚀刻组分。在该实施方案中,金属氟化物或含钨钝化剂是六氟化钨( $\text{WF}_6$ )。在该实施方案中,蚀刻组分包括氧( $\text{O}_2$ )和碳氟化合物,例如六氟丁二烯( $\text{C}_4\text{F}_6$ )和/或八氟环丁烷( $\text{C}_4\text{F}_8$ )。

[0165] 实现多态脉冲方案以将蚀刻气体形成为蚀刻堆叠件904的等离子体。在该实施方案中,多态脉冲化方案包括在第一频率范围生成初级RF信号和在第二频率范围生成次级RF信号,其中第一频率范围小于第二频率范围。初级RF信号和次级RF信号在包括第一状态、第二状态和第三状态在内的至少三种状态之间脉冲化。在一示例中,初级RF信号具有400kHz的频率,而次级RF信号具有60MHz的频率。第一状态的占空比为3%到20%,其中初级RF信号的功率电平为17kW到30kW,而次级RF信号的功率电平大于5kW。在更具体的示例中,第一状态具有3%到5%的占空比,其中初级RF具有29kW的功率电平。第二状态的占空比为3%到40%,其中初级RF信号的功率电平大于8kW,而次级RF信号的功率电平大于3kW。在更具体的示例中,第二状态具有3%到5%的占空比,其中初级RF信号具有13kW的功率电平,而次级RF信号具有5kW的功率电平。第三状态的占空比为40%到94%,其中初级RF信号的功率电平小于2kW,而次级RF信号的功率电平为1kW。在一具体示例中,第三状态具有90%到94%的占空比,其中初级RF信号具有0kW的功率电平,并且次级RF信号具有0kW的功率电平。在一实施方案中,初级RF信号在第一状态期间的功率电平比次级RF信号在第一状态期间的功率电平的比值大于1,并且初级RF信号在第二状态期间的功率电平比次级RF信号在第二状态期间的

功率电平的比值小于1。

[0166] 图9B是在蚀刻完成之后的堆叠件904的示意性截面图。特征940已经通过包括如上所述的使蚀刻气体流动并且提供多态脉冲化方案的蚀刻工艺(步骤808)蚀刻到堆叠件904中。在该实施方案中,特征940是接触孔。在该实施方案中,单个蚀刻配方能够选择性地蚀刻第一和二氧化硅层916、924以及第一和第二氮化硅层920、928。在没有金属氟化物或含钨钝化剂的情况下,可能会导致由虚线指示的弓形948。单独添加金属氟化物或含钨的钝化剂会导致颈缩,如虚线944所示。金属氟化物或含钨的钝化剂与多态脉冲化方案的组合提供了能够防止颈缩和弯曲同时具有高蚀刻选择性的调整。相信具有三种功率电平的实施方案的多态脉冲化方案提供了在使用金属氟化物或含钨钝化剂时能够防止颈缩的离子通量和偏置能量。在该实施方案中,用于蚀刻介电堆叠件相对于多晶硅掩模的蚀刻选择性至少为2比1。更具体地,用于蚀刻介电堆叠件相对于多晶硅掩模的蚀刻选择性在2:1到3:1之间。

[0167] 在其他实施方案中,在第二状态期间初级RF信号的功率电平小于在第一状态期间初级RF信号的功率电平的80%。在第三状态期间初级RF信号的功率电平小于在第二状态期间初级RF信号的功率电平的20%。在第三状态期间次级RF信号的功率电平小于在第二状态期间次级RF信号的功率电平的20%。第一状态的占空比为3%到25%。第二状态的占空比为3%到50%。第三状态的占空比为25%到94%。在一些实施方案中,第一状态的占空比小于第三状态的占空比。第二状态的占空比小于第三状态的占空比。

[0168] 在多种实施方案中,第一频率范围可以是介于80kHz到14MHz之间的频率范围。第一频率范围用于产生用于离子轰击的偏置。第二频率范围可以是介于15MHz和120MHz之间的频率范围。第二频率范围用于激励等离子体,并且可以用于控制等离子体密度、离子通量和等离子体离解程度。在多种实施方案中,金属氟化物或含钨钝化剂是氟化钨。氟化钨可包括六氟化钨、五氟化氯化钨( $WClF_5$ )和四氟化二氯化钨( $WCl_2F_4$ )。在其他实施方案中,另一种含钨钝化剂是氟化钨, $WF_xCl_y$ ,其中 $x+y=4,5,6$ ,或 $WO_xF_y$ ,其中 $2x+y=4,5,6$ 。例如,含钨钝化剂可以是 $WO_2F_2$ 或 $WOF_4$ ,或 $WCl_2F_4$ 。

[0169] 在多种实施方案中,堆叠件具有至少一个氧化硅层。该堆叠件包括硅基层。在多种实施方案中,掩模是硬掩模,例如多晶硅。在其他实施方案中,堆叠件包括交替的氧化硅层和氮化硅层。多种实施方案提供具有大于20:1的深宽比的高深宽比(HAR)特征。

[0170] 在多种实施方案中,蚀刻气体的含钨钝化剂比总蚀刻气体流率的摩尔数比介于1比10和1比100之间。

[0171] 图10是可以在一实施方案中使用的蚀刻反应器的示意图。在一个或多个实施方案中,等离子体处理系统1000包括气体分配板1006,其在由室壁1052包围的等离子体处理室1049内提供气体入口和静电卡盘(ESC)1008。在等离子体处理室1049内,堆叠件1018位于ESC 1008上方。ESC 1008可以提供来自ESC源1048的偏置。来自ESC源1048的初级RF信号在ESC 1008处提供偏置。蚀刻气体源1010穿过气体分配板1006连接到等离子体处理室1049。在该实施方案中,蚀刻气体源1010可以包括聚合物钝化剂源1012、蚀刻组分气体源1017和 $WF_6$ (或含钨钝化剂)源1016。ESC温度控制器1050连接到冷却器1014。在该实施方案中,冷却器1014向ESC1008中或附近的通道1005提供冷却剂。射频(RF)源1030向下电极和/或上电极提供RF功率,其在该实施方案中是ESC 1008和气体分配板1006。在该实施方案中,次级RF信号可以由RF源1030提供。次级RF信号可以用于提供能量以形成等离子体。在示例性实施方

案中,400kHz、60MHz和可选的2MHz、27MHz电源构成RF源1030和ESC源1048。RF源1030和ESC源1048可以包括RF发生器RFG<sub>x</sub>、RF发生器RFG<sub>y</sub>和阻抗匹配网络IMN,如图1所示。在该实施方案中,上电极接地。在该实施方案中,为每个频率提供一个发生器。在其他实施方案中,发生器可以在单独的RF源中,或者单独的RF发生器可以连接到不同的电极。例如,上电极可以具有连接到不同RF源的内电极和外电极。在其他实施方案中,可以使用RF源和电极的其他布置。控制器1035可控地连接到RF源1030、ESC源1048、排放泵1020和蚀刻气体源1010。这种蚀刻室的示例是由Lam Research Corporation (Fremont, CA) 制造的改进的Exelan Flex™蚀刻系统。处理室可以是CCP(电容耦合等离子体)反应器或ICP(电感耦合等离子体)反应器。其他实施方案可以使用其他类型的等离子体处理室,例如电介质和导电蚀刻室或沉积室。

[0172] 其他实施方案可以具有不同尺寸的室。这样的室可以使用不同的相对功率。例如,较大的室可能使用高达或高于120kW的射频功率。在其他实施方案中,可以添加其他状态,从而可以存在第四或第五状态。

[0173] 本发明描述的实施方案可以用包含手持式硬件单元、微处理器系统、基于微处理器的或可编程的消费电子产品、小型计算机、大型计算机等的各种计算机系统配置来实施。本发明所描述的实施方案也可以在其中由通过计算机网络链接的远程处理硬件单元执行任务的分布式计算环境中实施。

[0174] 在一些实施方案中,控制器是系统的一部分,该系统可以是上述实施例的一部分。这种系统包含半导体处理设备,该半导体处理设备包含一个或多个处理工具、一个或多个室、用于处理的一个或多个平台和/或具体的处理组件(晶片基座、气流系统等)。该系统可以与用于控制它们在处理半导体晶片或衬底之前、期间和之后的操作的电子器件一体化。电子器件被称为“控制器”,该控制器可以控制系统的各种元件或子部件。根据处理要求和/或系统的类型,控制器被编程以控制本发明公开的任何处理,包含控制处理气体输送、温度设置(例如,加热和/或冷却)、压强设置、真空设置、功率设置、射频(RF)产生器设置、RF匹配电路设置、频率设置、流速设置、流体输送设置、位置及操作设置、晶片转移进出工具和其他转移工具和/或与具体系统连接或通过接口连接的装载锁。

[0175] 宽泛地讲,在多种实施方案中,控制器定义为接收指令、发布指令、控制操作、启用清洁操作、启用端点测量等等的具有各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件电子器件。集成电路包含存储程序指令的固件形式的芯片、DSP、定义为ASIC的芯片、PLD、一个或多个微处理器或执行程序指令(例如,软件)的微控制器。程序指令是以各种单独设置(或程序文件)的形式发送到控制器的指令,该设置(或程序文件)定义用于在半导体晶片上或针对半导体晶片执行特定过程的操作参数。在一些实施方案中,操作参数是由工艺工程师定义的用于在制备晶片的一个或多个(种)层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或管芯期间完成一个或多个处理步骤的配方的一部分。

[0176] 在一些实施方案中,控制器是与系统集成、耦合或者说是通过网络连接系统或它们的组合的计算机的一部分或者与该计算机耦合。例如,控制器在“云”中或者是晶片厂(fab)主机系统的全部或一部分,从而可以允许远程访问晶片处理。控制器启用对系统的远程访问以监测制造操作的当前进程,检查过去的制造操作的历史,检查多个制造操作的趋势或性能标准,以改变当前处理的参数,以设置处理步骤来跟随当前的处理或者开始新的处理。

[0177] 在一些实施方案中,远程计算机(例如,服务器)通过计算机网络给系统提供处理配方,计算机网络包含本地网络或互联网。远程计算机包含允许输入或编程参数和/或设置的用户界面,该参数和/或设置然后从远程计算机传输到系统。在一些实施例中,控制器接收数据形式的用于处理晶片的指令。应当理解,设置针对将要在晶片上执行的处理类型以及工具类型,控制器被配置成连接或控制该工具类型。因此,如上所述,控制器例如通过包含一个或多个分立的控制器而分布,这些分立的控制器通过网络连接在一起并且朝着共同的目标(例如,本文所述的实现处理)工作。用于这些目的的分布式控制器的实施例包含与一个或多个远程集成电路(例如,在平台水平或作为远程计算机的一部分)通信的室上的一个或多个集成电路,它们结合以控制室内处理。

[0178] 在多种实施方案中,本文所述的等离子体系统包含但不限于,等离子体蚀刻室、沉积室、旋转清洗室、金属电镀室、清洁室、倒角边缘蚀刻室、物理气相沉积(PVD)室、化学气相沉积(CVD)室、原子层沉积(ALD)室、原子层蚀刻(ALE)室、离子注入室、轨道室、以及在半导体晶片的制备和/或制造中关联或使用的任何其他半导体处理系统。

[0179] 应进一步指出的是,虽然上述的操作参照平行板等离子体室(例如,电容耦合等离子体室等)进行描述,但在一些实施方案中,上述操作适用于其他类型的等离子体室,例如,包含感应耦合等离子体(ICP)反应器的等离子体室,变压器耦合等离子体(TCP)反应器,导体工具,电介质工具,包含电子回旋共振(ECR)反应器的等离子体室,等等。例如,x MHz RF产生器,yMHz RF产生器和z MHz RF产生器被耦合到ICP等离子体室内的电感器。

[0180] 如上所述,根据工具将要执行的一个或多个处理步骤,控制器与一个或多个其他的工具电路或模型、其他工具组件、组合工具、其他工具界面、相邻的工具、邻接工具、位于整个工厂中的工具、主机、另一个控制器、或者在将晶片的容器往来于半导体制造工厂中的工具位置和/或装载口搬运的材料搬运中使用的工具通信。

[0181] 考虑到上述实施方案,应该理解的是,一些实施方案采用涉及存储在计算机系统中的数据的各种计算机实现的操作。这些计算机实现的操作是那些操纵物理量的操作。

[0182] 一些实施方案还涉及用于执行这些操作的硬件单元或装置。该装置针对专用计算机构成。当被定义为专用计算机时,该计算机执行其他的处理,不属于专用部分的程序执行或例程,同时仍能够操作以供专用。

[0183] 在一些实施方案中,本发明描述的操作通过选择性地激活的计算机执行,由存储在计算机存储器中的一个或多个计算机程序配置,或者通过计算机网络获得。当通过计算机网络得到数据,该数据可以由计算机网络(例如,云计算资源)上的其他计算机处理。

[0184] 本发明所描述的一个或多个实施方案也可以制造为在非暂时性计算机可读介质上的计算机可读代码。非暂时性计算机可读介质是存储数据的任何数据存储硬件单元(例如,存储设备),这些数据之后由计算机系统读取。计算机可读介质的示例包含硬盘驱动器、网络附加存储器(NAS)、ROM、RAM、光盘只读存储器(CD-ROM)、可录光盘(CD-R)、可重写CD(CD-RW)、磁带和其他光学以及非光学数据存储硬件单元。在一些实施方案中,非暂时性计算机可读介质包含分布在与网络耦合的计算机系统计算机可读有形介质,使得计算机可读代码以分布的方式存储和执行。

[0185] 尽管如上所述的一些方法操作以特定的顺序呈现,应当理解的是,在不同的实施方案中,其他日常操作在方法操作之间执行,或者方法操作被调整以使它们发生在稍微不

同的时间,或分布在允许在不同的时间间隔的方法操作发生的系统内,或以与上述不同的顺序执行。

[0186] 还应该注意的,在一个实施方案中,在不脱离本公开内容所描述的各种实施方案中描述的范围的情况下,来自上述的任何实施方案的一个或多个特征与任何其他实施方案的一个或多个特征组合。

[0187] 虽然为了清晰理解的目的,已经在一定程度上详细描述了上述实施方案,但显而易见,可以在所附权利要求的范围内实践某些变化和改变方案。因此,本发明的实施方案应被视为说明性的,而不是限制性的,并且这些实施方案并不限于本文给出的细节,而是可以在所附权利要求的范围和等同方案内进行修改。

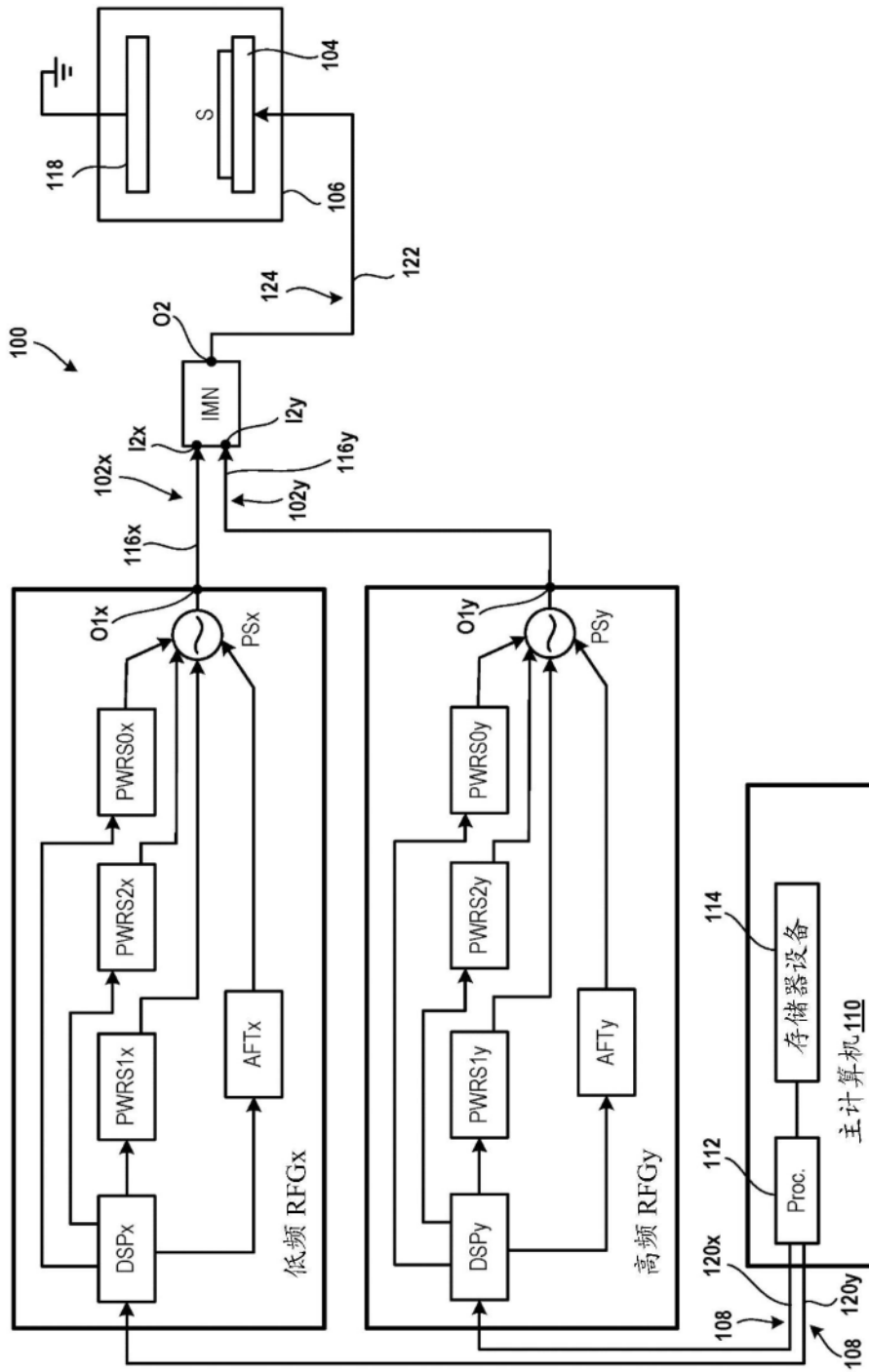


图1 (用于3态脉冲化的系统)

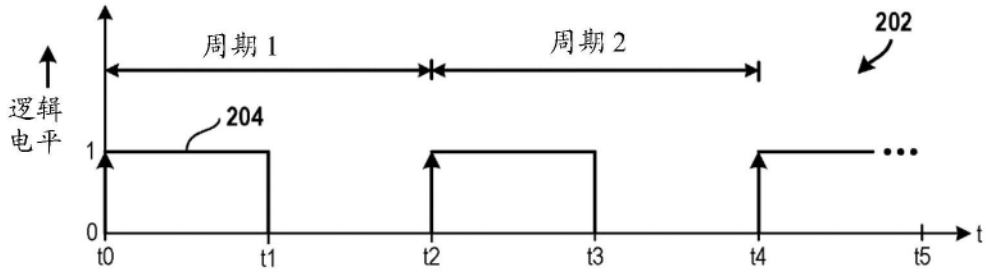


图2A

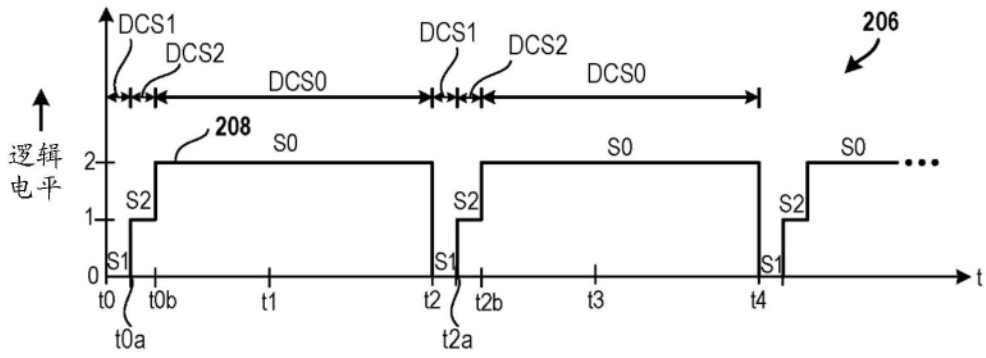


图2B

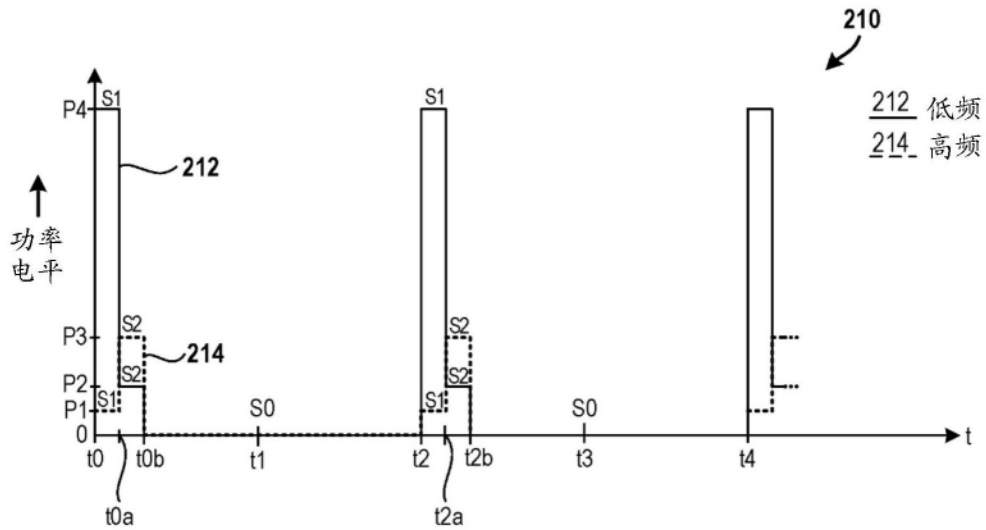


图2C (S1-S2-S0)

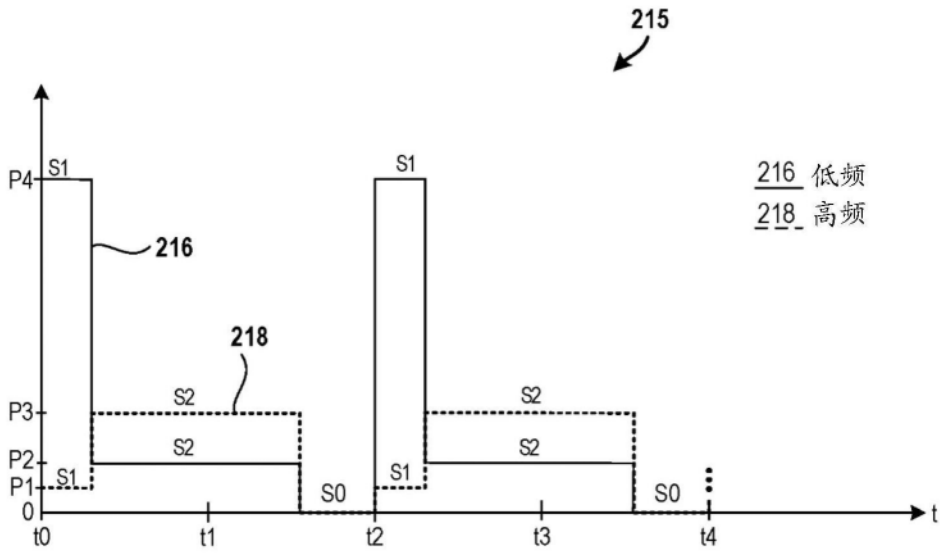


图2D (占空比不同于图2C的S1-S2-S0)

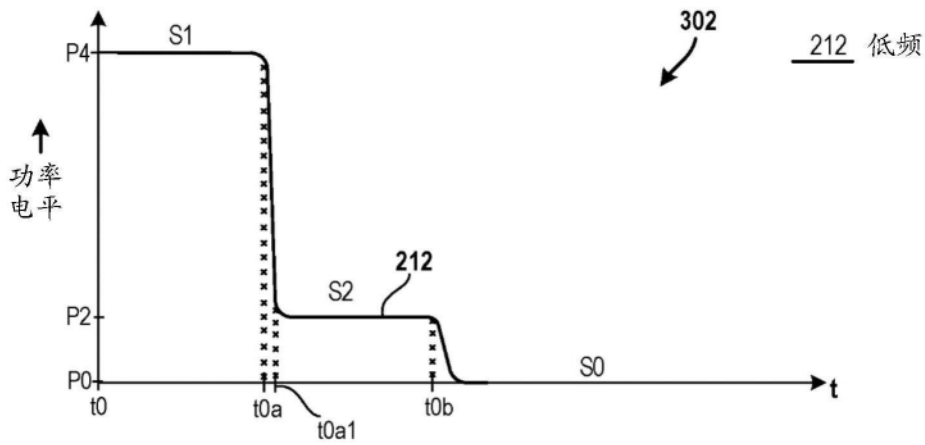


图3A (图2C的放大图)

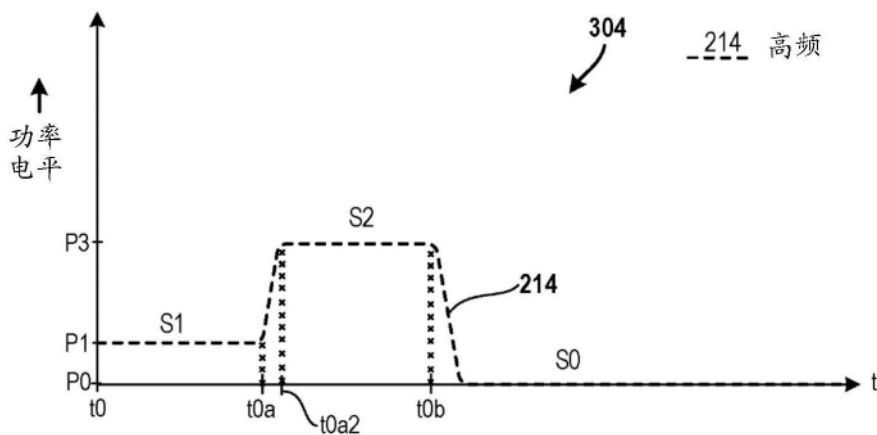


图3B (图2C的放大图)

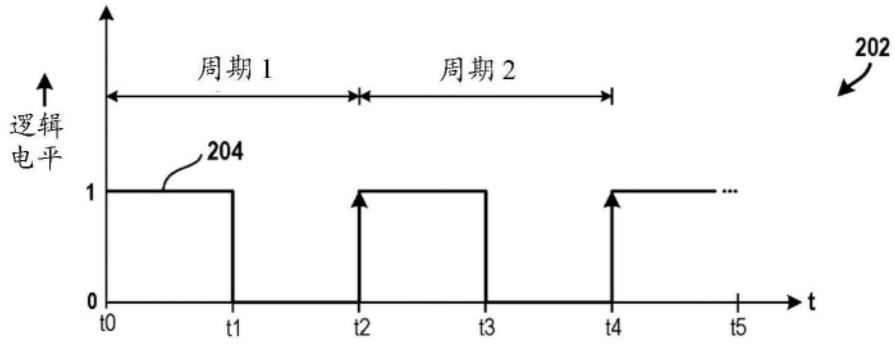


图4A

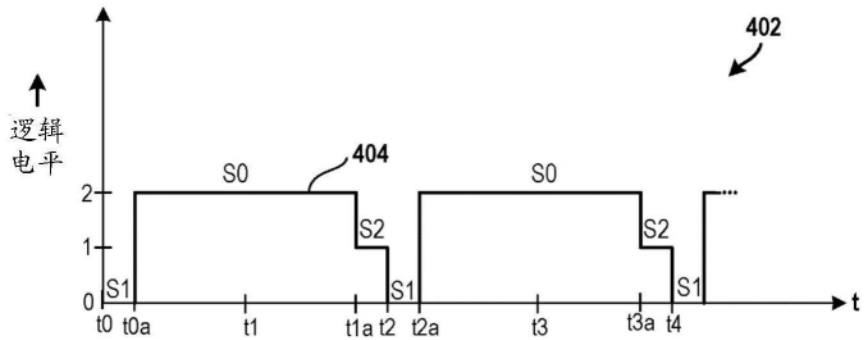


图4B

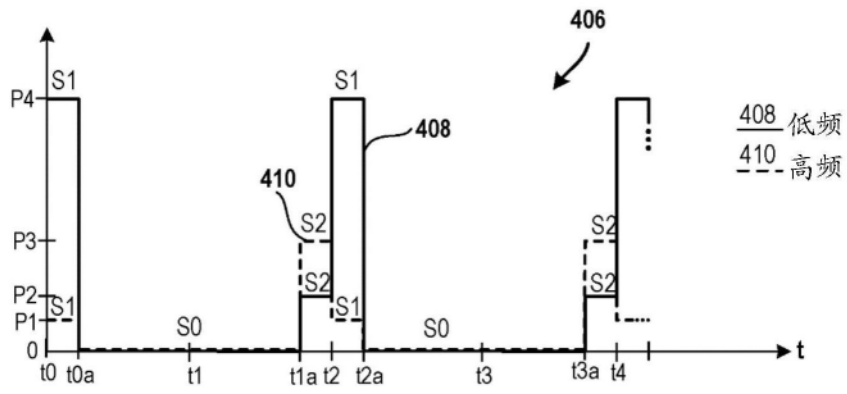


图4C (S1-S0-S2)

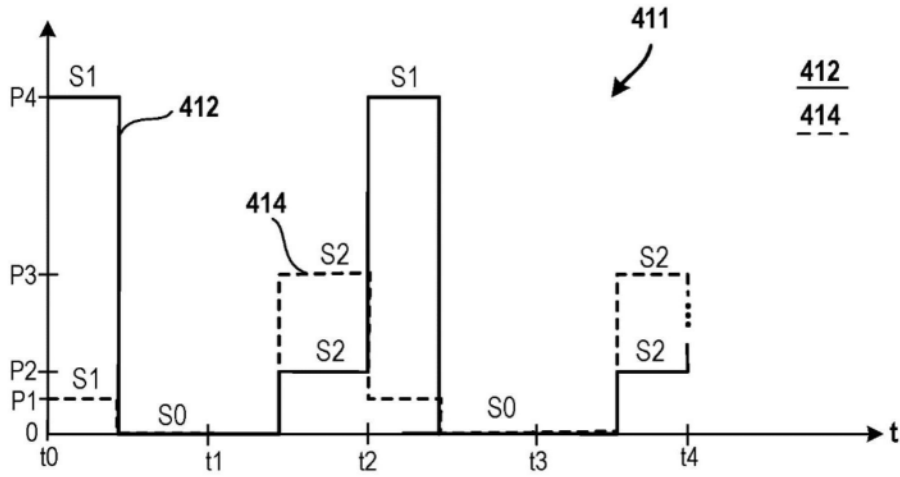


图4D (占空比不同于图4C的S1-S0-S2)

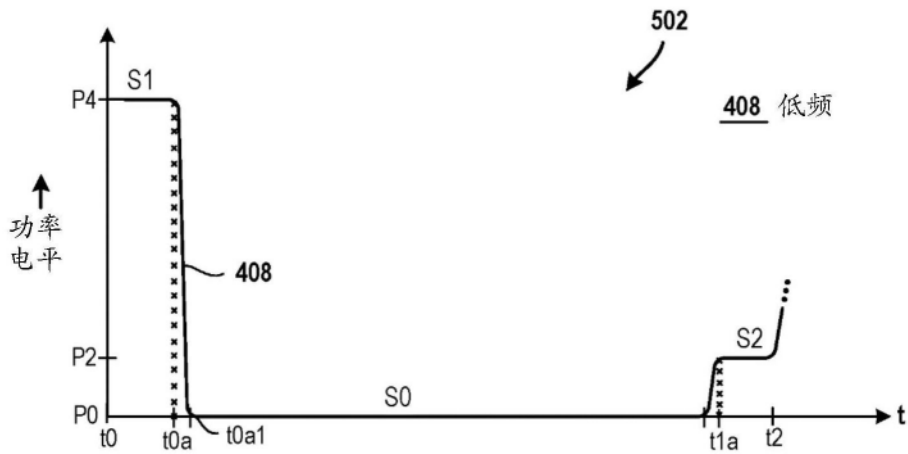


图5A (图4C的放大图)

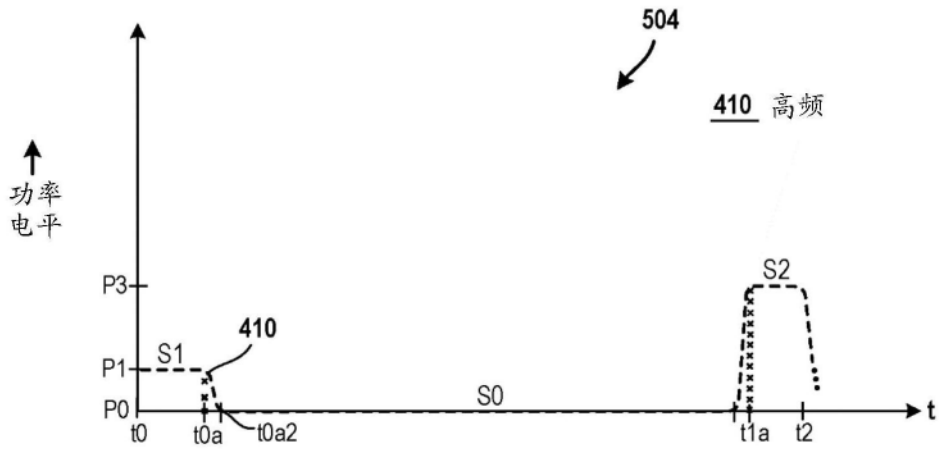


图5B (图4C的放大图)

600

状态	占空比	低频	高频	
S1	3% -25% (例如 3%-5%)	10kW (例如, 在低频和高频之间的比值为6-10)	1kW	增加选择性
S2	3% -50% (例如 3%-5%)	2kW (例如, 在低频和高频之间的比值为0.2-1)	5kW	增加弓形钝化
S0	25% -94%	0-300W (例如 0W)	0-300W (例如 0W)	

图6

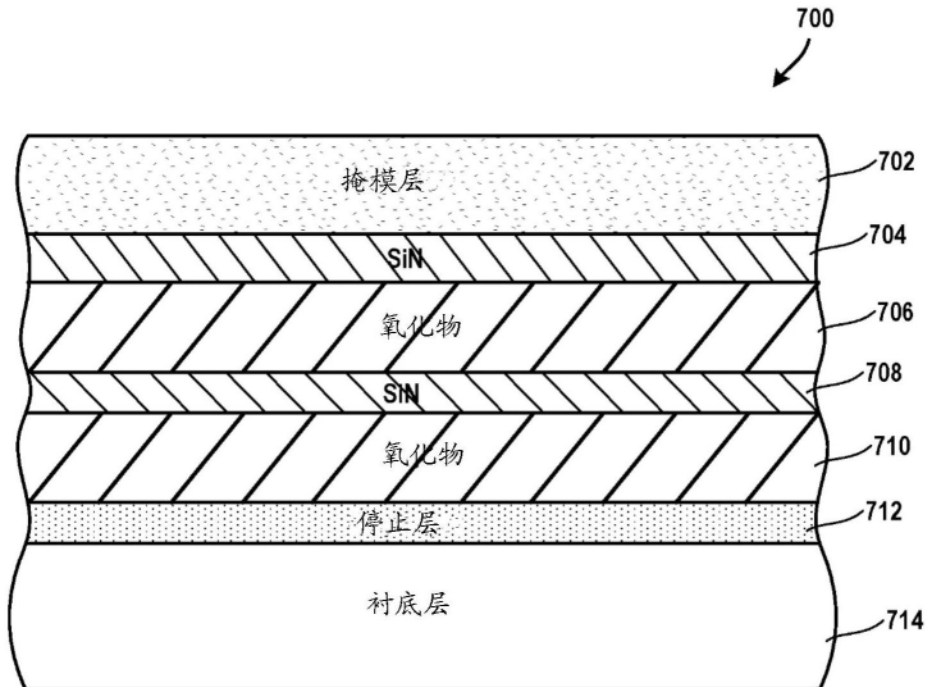


图7A

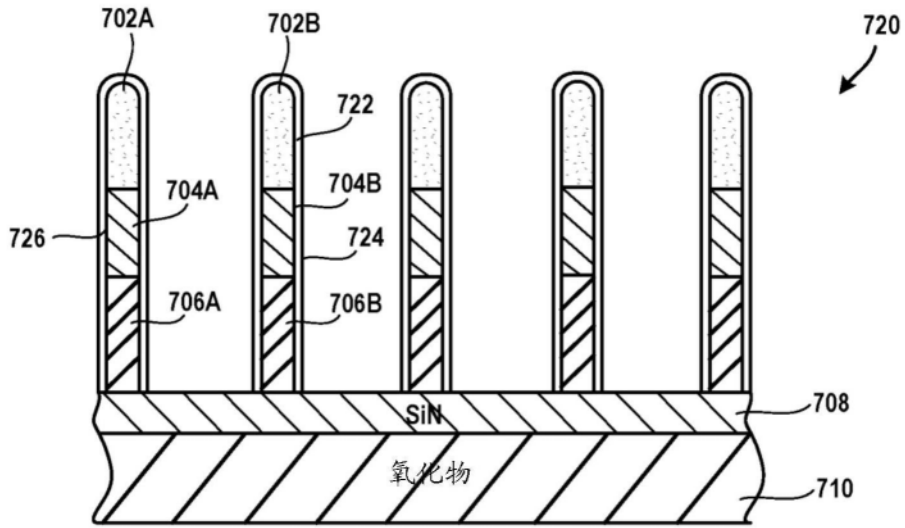


图7B (掩模层和SiN层的钝化之间的平衡)

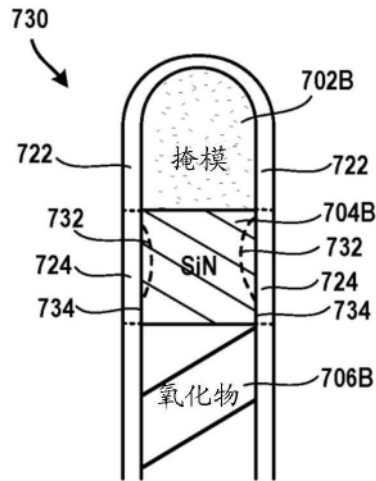


图7C (图7B的放大图)

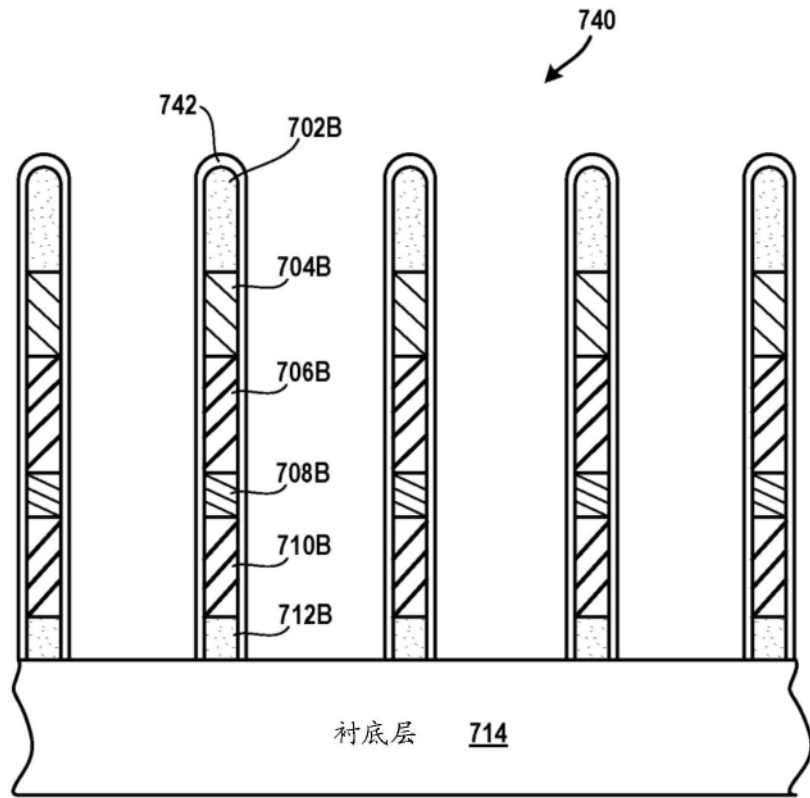


图7D

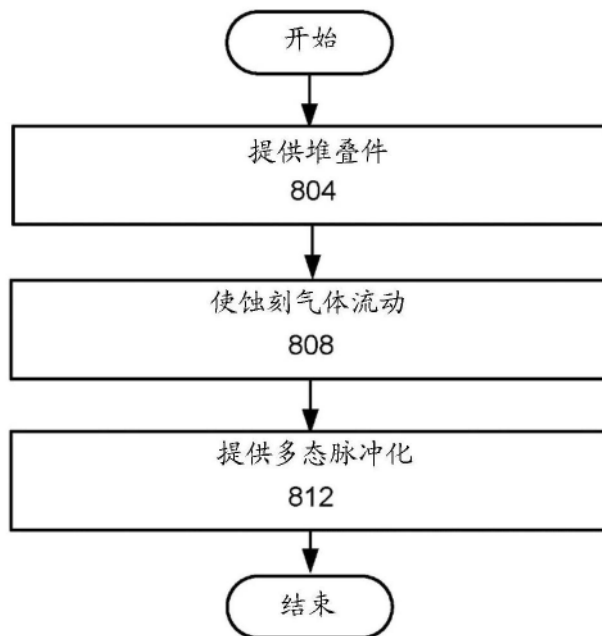


图8

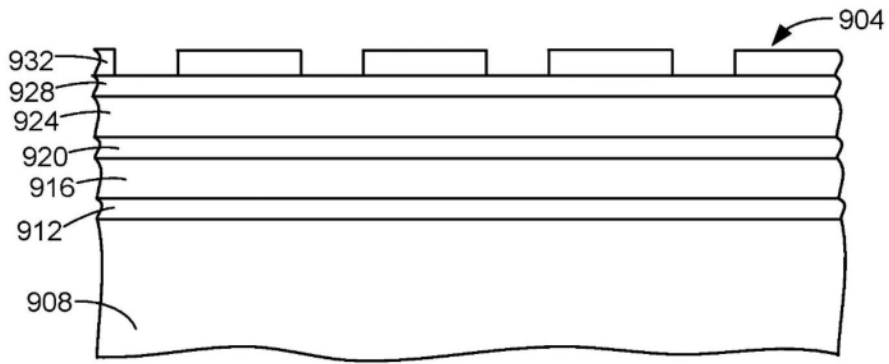


图9A

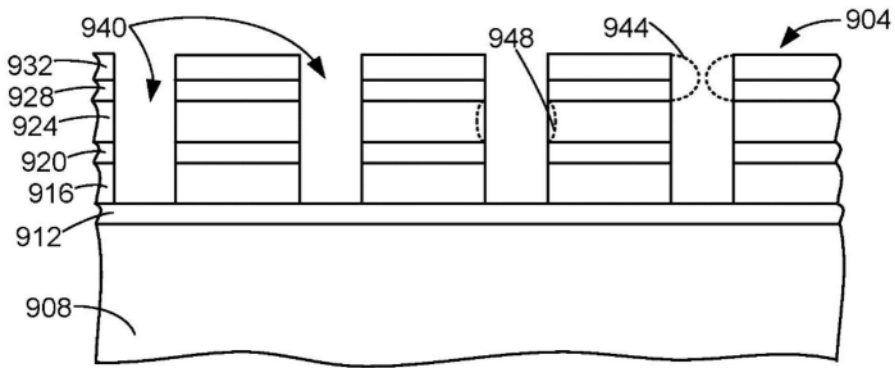


图9B

