



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105247967 B

(45)授权公告日 2019.10.08

(21)申请号 201480028235.X

(22)申请日 2014.05.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105247967 A

(43)申请公布日 2016.01.13

(30)优先权数据
61/835,847 2013.06.17 US
14/287,480 2014.05.27 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.11.16

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/039965 2014.05.29

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/204627 EN 2014.12.24

(73)专利权人 应用材料公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 W·比沙拉 S·巴纳

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限
公司 31100

代理人 黄嵩泉

(51)Int.Cl.
H05H 1/46(2006.01)
H01L 21/3065(2006.01)

审查员 郁亚红

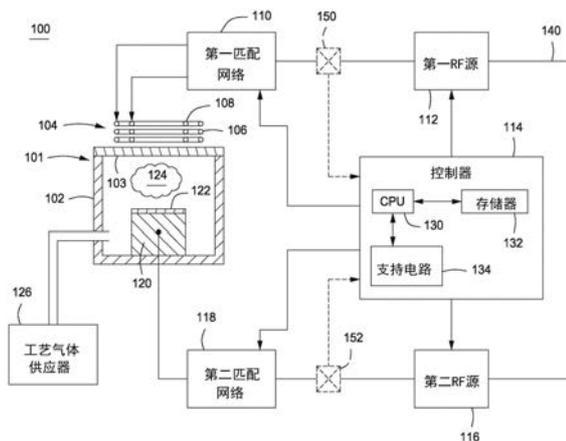
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

用于等离子体腔室中的快速且可重复的等
离子体点燃和调谐的方法

(57)摘要

本公开的诸实施例包括用于使用经由匹配
网络耦合至工艺腔室的RF电源在该工艺腔室中
进行等离子体处理的方法与设备。在一些实施例
中,该方法包括:当匹配网络处于保持模式时,由
RF电源以第一频率将RF功率提供给工艺腔室;在
第一时期期间,使用RF电源将第一频率调整为第
二频率以点燃等离子体;在第二时期期间,使用
RF电源将第二频率调整为已知的第三频率,同时
维持等离子体;以及将匹配网络的操作模式改变
为自动调谐模式以减小由RF电源提供的RF功率
的反射功率。



1. 一种用于在工艺腔室中进行等离子体处理的设备,所述设备包括:
第一RF电源,所述第一RF电源具有频率调谐;
第一匹配网络,所述第一匹配网络耦合至所述第一RF电源;以及
控制器,所述控制器用于控制所述第一RF电源与所述第一匹配网络,其中,所述控制器经配置以:

当所述RF电源以第一频率操作,并且所述匹配网络处于保持模式时,通过以下方式中的至少一种来发起等离子体转换:指示所述RF电源将RF功率提供给所述工艺腔室;指示所述RF电源改变传送至所述工艺腔室的RF功率的等级;或改变所述工艺腔室中的压力;

在第一时期期间,指示所述RF电源将所述第一频率调整为第二频率以在所述第一时期期间以所述第一频率与所述第二频率之间的频率点燃所述等离子体;

在第二时期期间,指示所述RF电源将所述第二频率调整为已知的第三频率,同时维持所述等离子体;以及

在所述第二时期期间,将所述匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小由所述RF电源提供的RF功率的反射功率。

2. 如权利要求1所述的设备,其特征在于,所述第一匹配网络嵌入在所述第一RF电源内,并且其中,所述控制器基于在所述第一RF电源的输出处测得的、由共同的传感器提供的共同的反射功率读数来控制以下两者:对所述第一匹配网络的调谐;以及RF循环的频率。

3. 如权利要求1所述的设备,其特征在于,将所述反射功率减小为在由所述RF电源提供的正向功率的0%与20%之间。

4. 如权利要求1所述的设备,其特征在于,所述反射功率的幅度是预定的阈值,当达到所述预定的阈值时,所述预定的阈值指示所述第一时期的结束。

5. 如权利要求1-4中的任一项所述的设备,其特征在于,所述第一时期的持续时间是已知的预定值。

6. 一种用于在工艺腔室中进行等离子体处理的系统,所述系统包括:

工艺腔室,所述工艺腔室具有天线组件与基板支撑基座;

第一匹配网络,所述第一匹配网络耦合至所述天线组件;

第一RF源,所述第一RF源耦合至所述第一匹配网络;

第二匹配网络,所述第二匹配网络耦合至所述基板支撑基座;

第二RF源,所述第二RF源耦合至所述第二匹配网络;

控制器,用于控制所述第一RF源、所述第一匹配网络、所述第二RF源与所述第二匹配网络,其中,所述控制器经配置以:

指示所述第一RF源将RF功率提供给所述工艺腔室,其中,所述第一RF源以第一频率操作,并且所述第一匹配网络处于保持模式;

在第一时期期间,指示所述第一RF源将所述第一频率调整为第二频率以在所述第一时期期间以所述第一频率与所述第二频率之间的频率点燃所述等离子体;

在第二时期期间,指示所述第一RF源将所述第二频率调整为已知的第三频率,同时维持所述等离子体;以及

在所述第二时期期间,将所述第一匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小由所述第一RF源提供的RF功率的反射功率。

7. 一种用于在工艺腔室中进行等离子体处理的方法,所述方法使用经由匹配网络耦合至所述工艺腔室的RF电源,所述方法包括:

当所述RF电源正以第一频率操作,并且所述匹配网络处于保持模式时,通过以下方式中的至少一种来发起等离子体转换:将RF功率提供给所述工艺腔室;改变传送至所述工艺腔室的RF功率的等级;或改变所述工艺腔室中的压力;

在第一时期期间,使用所述RF电源将所述第一频率调整为第二频率以在所述第一时期期间以所述第一频率与所述第二频率之间的频率点燃所述等离子体;

在第二时期期间,使用所述RF电源将所述第二频率调整为已知的第三频率,同时维持所述等离子体;以及

在所述第二时期期间,将所述匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小由所述RF电源提供的RF功率的反射功率。

8. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,在所述第一时期期间,所述匹配网络被维持在所述保持模式中。

9. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,在所述第二时期期间,将所述第二频率调整为所述已知的第三频率以及将所述匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小所述反射功率是同时进行的。

10. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,在所述第一时期期间,所述匹配网络的操作模式被改变为自动调谐模式。

11. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述反射功率的幅度是预定的阈值,当达到所述预定的阈值时,所述预定的阈值指示所述第一时期的结束。

12. 如权利要求7-11中的任一项所述的方法,其特征在于,所述反射功率被减小为在由所述RF电源提供的正向功率的0%与20%之间。

13. 如权利要求7-11中的任一项所述的方法,其特征在于,所述第一时期的持续时间是已知的预定值。

用于等离子体腔室中的快速且可重复的等离子体点燃和调谐的方法

技术领域

[0001] 本公开的诸实施例总体涉及基板处理系统,更具体而言,涉及用于在等离子体腔室中的快速且可重复的等离子体点燃和调谐的方法和设备。

背景技术

[0002] 在集成电路制造中,使用等离子体腔室来处理基板。等离子体腔室一般而言是耦合至射频(RF)源以在基板处理期间提供能量,从而点燃等离子体和/或维持等离子体。为了有效地将RF能量耦合至该腔室,在该RF源与该等离子体腔室之间连接匹配网络(也称为可调谐匹配电路或匹配箱)。

[0003] 用于在等离子体腔室中点燃等离子体(即,使等离子体打火)或跨等离子体转换进行调谐的先前技术包括使用具有机动化可变电容器的匹配箱来点燃等离子体。然而,发明人已经观察到,由于电容器步进电机的慢速度(例如,在0.5秒至2.0秒的范围内),此方法可能是慢的。此外,此方法经受差的可重复性。具体来说,发明人已经观察到,在需要高电压来点燃等离子体的等离子体腔室中,使用匹配箱可能无法达到那些高电压。取决于匹配箱特性,匹配电容器位置的轨迹可能错过该高压点,或可能以变化的延迟到达该高压点。

[0004] 用于点燃等离子体或跨等离子体转换来调谐的另一种技术是使用RF功率生成器的扫频以在等离子体腔室中达到高电压,从而辅助等离子体打火。发明人已经观察到,虽然此方法可以迅速点燃等离子体(<0.5秒),但生成器频率的变化可能导致晶片上工艺结果的变化以及导致RF测量结果的变化。

[0005] 因此,发明人相信,本领域中需要用于在等离子体腔室中的快速且可重复的等离子体点燃和/或跨等离子体转换进行调谐的改进的方法与设备。

发明内容

[0006] 本公开的诸实施例包括用于在工艺腔室中使用经由匹配网络耦合至该工艺腔室的RF电源来进行的等离子体处理的方法与设备。在一些实施例中,一种用于在工艺腔室中进行等离子体处理的设备可以包括:第一RF电源,所述第一RF电源具有频率调谐;第一匹配网络,所述第一匹配网络耦合至所述第一RF电源;以及控制器,所述控制器用于控制所述第一RF电源与所述第一匹配网络,其中,所述控制器经配置以:通过以下方式中的至少一种来发起等离子体转换:指示所述RF电源将RF功率提供给所述工艺腔室;指示所述RF电源改变传送到所述工艺腔室的RF功率的等级;或改变所述工艺腔室中的压力,其中,所述RF电源以第一频率操作,并且所述匹配网络处于保持模式;在第一时期期间,指示所述RF电源将所述第一频率调整为第二频率以点燃所述等离子体;在第二时期期间,指示所述RF电源将所述第二频率调整为已知的第三频率,同时维持所述等离子体;以及将所述匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小由所述RF电源提供的RF功率的反射功率。

[0007] 在一些实施例中,该方法包括:通过以下方式中的至少一种来发起等离子体转换:

将RF功率提供给工艺腔室;改变传送至所述工艺腔室的RF功率的等级;或改变所述工艺腔室中的压力,其中,所述RF电源以第一频率操作,并且所述匹配网络处于保持模式;在第一时期期间,使用所述RF电源将所述RF电源将所述第一频率调整为第二频率以点燃所述等离子体;在第二时期期间,使用所述RF电源将所述第二频率调整为已知的第三频率,同时维持所述等离子体;以及将所述匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小由所述RF电源提供的RF功率的反射功率。

[0008] 在一些实施例中,一种用于在工艺腔室中进行等离子体处理的系统可以包括:工艺腔室,所述工艺腔室具有天线组件与基板支撑基座;第一匹配网络,所述第一匹配网络耦合至所述天线组件;

[0009] 第一RF源,所述第一RF源耦合至所述第一匹配网络;第二匹配网络,所述第二匹配网络耦合至所述基板支撑基座;第二RF源,所述第二RF源耦合至所述第二匹配网络;控制器,所述控制器用于控制所述第一RF源、所述第一匹配网络、所述第二RF源与所述第二匹配网络,其中,所述控制器经配置以:指示所述第一RF源将RF功率提供给所述工艺腔室,其中,所述第一源以一第一频率操作,并且所述第一匹配网络处于保持模式;在第一时期期间,指示所述第一RF源将所述第一频率调整为第二频率以点燃所述等离子体;在第二时间期间,指示所述第一RF源将所述第二频率调整为已知的第三频率,同时维持所述等离子体;以及将所述第一匹配网络的操作模式改变为自动调谐模式以减小由所述第一RF源提供的RF功率的反射功率。

[0010] 在以下“具体实施方式”中提供其他和进一步的实施例。

附图说明

[0011] 因此,为了详细地理解本公开的上述特征的方式,可参考诸实施例来进行对上文中简要概述的本公开的诸实施例的更具体的描述,在所附附图中示出这些实施例中的一些。然而,要注意的是,这些所附附图仅示出本公开的典型实施例,并且因此不视为限制本公开的范围,因为本公开可以允许其他等效的实施例。

[0012] 图1是根据本公开的一些实施例的半导体晶片处理系统的示意图。

[0013] 图2是适于结合本公开的一些实施例来使用的示例性匹配网络。

[0014] 图3是示出根据本公开的一些实施例的匹配网络与RF生成器的时序特征的示意性图表。

[0015] 图4是示出由根据本公开的一些实施例的匹配网络与RF生成器提供的频率的时序图的示意性图表。

[0016] 图5描绘用于在工艺腔室中点燃等离子体并减小反射功率的方法的流程图。

[0017] 为了促进理解,在可能的情况下,已经使用完全相同的附图标记来指定各附图所共有的完全相同的元件。各附图不是按比例来绘制的,并且可能为了清楚而进行简化。构想了在不需要进一步叙述的情况下就可将一个实施例中的元件和特征有益地合并进其他实施例。

具体实施方式

[0018] 本公开的诸实施例包含用于在工艺腔室中点燃等离子体和/或跨等离子体转换来

减少反射功率的方法与设备。本公开的示例性实施例提供组合了机械式匹配网络与具有一组时序规则的可变频率RF功率生成器的方法与设备。通过以适合的顺序与时序来操作这两个调谐技术,快速且可重复的等离子体点燃和/或调谐是可能的,并且具有可重复的结束频率和等离子体分布。在一些实施例中,用于快速且可重复的等离子体点燃和/或调谐的组合系统在晶片上工艺结果的轮到轮(run-to-run)与晶片到晶片(wafer-to-wafer)可重复性方面可促进更好的工艺性能。本公开的实施例提供为结合动态匹配网络而使用具有频率调谐(也称为频率扫描)的RF生成器提供允许可重复且稳定的操作窗口的步骤。由于在例如蚀刻工艺期间点燃等离子体和/或对系统调谐所需的时间是关键,因此这些步骤的一个优势在于,能在小于约0.5秒之内点燃并调谐等离子体,进而使基板暴露于不稳定的等离子体或未受良好控制的等离子体的时间最小化。虽然以下描述可能针对于某些工艺、RF频率与RF功率,但是可利用本文中提供的教导以为其他工艺、其他频率与其他功率等级带来优势。

[0019] 图1是等离子体增强的基板处理系统100,在一些实施例中,该处理系统100用于处理半导体晶片122(或其他基板与工作件)。虽然在蚀刻反应器和半导体晶片蚀刻工艺的上下文中描述了本公开所公开的诸实施例,但是本公开适用于在等离子体增强的工艺期间使用RF功率等离子体工艺的任何形式,并且适用于使用其他基板的情况。此类反应器包含电感耦合式等离子体(ICP)反应器、电容耦合式等离子体(CCP)反应器,以及用于等离子体退火、等离子体增强的化学气相沉积、物理气相沉积、等离子体清洁等的反应器。

[0020] 此说明性等离子体增强的基板处理系统100包括等离子体反应器101、工艺气体供应器126、控制器114、第一RF电源112、第二RF电源116、第一匹配网络110(也称为可调谐匹配电路或匹配箱)与第二匹配网络118。第一与第二RF电源112、116中的任一个或两者都可经配置以进行快速的等离子体点燃与快速的频率调谐(例如,源可能能够响应于感测到的反射功率测量以在约 $\pm 5\%$ 内改变频率,从而使反射功率最小化)。此类频率点燃与调谐可能需要约100微秒或少得多的时间以点燃等离子体,并使来自给定的稳态中的等离子体的反射功率最小化。在本文中所述的一些实施例中,正向功率是由RF电源112、116供应的RF功率,而反射功率是往回反射到RF电源112、116的RF功率。

[0021] 等离子体反应器101或工艺腔室包括真空容器102,该真空容器102包含阴极基座120,该阴极基座120形成该晶片122的基座。该工艺腔室的顶部或盖体103具有邻近所述盖体103的至少一个天线组件104。该盖体103可由电介质材料制成。在本公开的一些实施例中,该天线组件104包括一对天线106和108。本公开的其他实施例可以使用一个或多个天线,或可以取代天线而使用电极以将RF能量耦合至等离子体。在此特定的说明性实施例中,天线106和108将能量电感耦合至由工艺气体供应器126供应至容器102的内部的一种或多种工艺气体。将由天线106和108供应的RF能量电感耦合至这些工艺气体以在晶片122上方的反应区域中形成等离子体124。反应气体将蚀刻晶片122上的材料。

[0022] 在一些实施例中,被提供给天线组件104的功率点燃等离子体124,而耦合至该阴极基座120的功率控制该等离子体124。因此,RF能量耦合至天线组件104与阴极基座120两者。第一RF电源112(也称为源RF电源)将能量供应给第一匹配网络110,该第一匹配网络110接着将功率耦合至天线组件104。类似地,第二RF电源116(也称为偏置RF电源)将能量耦合至第二匹配网络118,该第二匹配网络118将能量耦合至阴极基座120。控制器114控制启用与停用RF电源112的116的时序和等级,也控制调谐第一与第二匹配网络110和118。耦合至

天线组件104的功率被称为源功率,而耦合至阴极基座120的功率被称为偏置功率。

[0023] 在一些实施例中,可以提供链路140来耦合第一与第二RF电源112、116,从而促进同步一个源对另一个源的操作。任一RF源都可以是引导RF生成器或主RF生成器,而另一个生成器跟随着,或者是从属RF生成器。链路140可以进一步促进完美同步地、或以所期望的偏移或相位差来操作第一与第二RF电源112、116。

[0024] 第一指示符装置或传感器150与第二指示符装置或传感器152用于确定匹配网络110、118匹配到等离子体124的能力的有效性。在一些实施例中,指示符装置150和152监测从对应的匹配网络110、118反射来的反射功率。这些装置一般被整合进匹配网络110、118或电源112、115之中;然而,出于描述性的目的,在此将它们示出为与匹配网络110、118分开。当使用反射功率作为指示符时,装置150和152耦合在电源112、116与匹配网络110和118之间。为了产生指示反射功率的信号,装置150和152是耦合至RF检测器的方向性耦合器,使得匹配有效性指示符信号是表示反射功率的幅度的电压。大反射功率指示未匹配情形。由装置150和152产生的信号耦合至控制器114。响应于指示符信号,控制器114产生调谐信号(匹配网络控制信号),该调谐信号耦合至匹配网络110、118。此信号用于对匹配网络110、118中的电容器或电感器调谐。调整过程力图使用例如在指示符信号中所表示的反射功率最小化,或实现特定等级的该反射功率。匹配网络110、118通常可能需要约100微秒至数毫秒之间的时间以使来自给定的稳态中的等离子体的反射功率最小化。

[0025] 图2描绘说明性匹配网络的示意图,该匹配网络用作例如第一RF匹配网络110或第二RF匹配网络118。图2中所示的匹配网络仅是可用于本公开的诸实施例的匹配网络的类型的一个示例。在本公开的诸实施例中可以使用匹配网络的其他设计。图2中的该特定实施例具有单个输入200与双输出(即,主输出202与辅输出204)。每一输出用于驱动两个天线中的一个。匹配电路206由C1、C2与L1形成,而容性功率分配器208由C3和C4形成。容性分配器的值设置成建立将供应至每一个天线的特定功率量。在机械或自动调谐模式中,可自动地调谐电容器C1与C2的值是经自动调整以调整对网络110的匹配。在一些实施例中,当在自动调谐模式中时,可调整这些电容器以使反射功率最小化。可通过调整C1和C2中的任一个或两者的位置来调谐这些值。可调谐C1或C2或两者以调整该网络的操作。在保持(hold)模式中,C1和C2的位置以及因此它们的值保持固定。

[0026] 匹配网络的其他实施例可以具有可调谐电感器或不同拓扑的可变或固定元件(诸如,电容器和电感器)。由网络110匹配的源功率大约在13.56MHz,并具有高达约3000瓦的功率等级。此类匹配网络可从科罗拉多州科林斯堡的艾仪公司(AE, Inc.)的模组系列NAVIGATOR 3013-ICP85下获得。可根据在本文中所提供的教导来利用匹配网络的其他各种配置。往回参考图1,控制器114包括中央处理单元(CPU) 130、存储器132与支持电路134。控制器114耦合至等离子体增强的基板处理系统100的各种组件以促进对工艺的控制,所述工艺诸如蚀刻工艺或其他合适的等离子体增强的基板工艺。控制器114经由接口来调节并监测工艺腔室中的处理,所述接口可被广泛地描述为模拟、数字、有线、无线、光学和光纤接口。为了按下述方式促进对工艺腔室的控制,CPU 130可以是可在用于控制各种腔室和子处理器工业设置中使用的通用计算机处理器的任何形式中的一种形式。存储器132耦合至CPU 130。存储器132或计算机可读介质可以是一种或多种易于获得的存储器装置,诸如,随机存取存储器、只读存储器、软盘、硬盘或数字储存设备的任何其他形式,无论是本地的还是远

程的。支持电路134耦合至CPU 130,以便以常规方式支持处理器。这些电路包含高速缓存、电源、时钟电路、输入/输出电路和相关的子系统等。

[0027] 蚀刻或其他工艺指令一般作为软件例程(通常称为工艺配方)被存储在存储器132中。该软件例程也可由第二CPU(未示出)储存和/或执行,该第二CPU位于受CPU 130控制的硬件的远程。在由CPU 130执行该软件例程时,该软件例程将该通用计算机转换为控制系统操作的专用计算机(控制器)114,诸如,用于在基板工艺(例如,蚀刻工艺)期间控制等离子体的专用计算机。虽然本公开的工艺可实作为软件例程,但是也可在硬件中以及由软件控制器来执行本文中公开的方法步骤中的一些。因此,本公开的诸实施例可以在执行于计算机系统上的软件中实现,并且可实现为作为专用集成电路的硬件或硬件实现的其他类型,或软件与硬件的组合。

[0028] 常规的匹配网络与生成器通常各自包含用于调谐独立的对应系统的控制算法。相应地,每一个算法在两个系统应当旨在减小到生成器的反射功率的时间或方式方面不链接到另一个算法。缺乏此类链路可能在这两个调谐演算法之间造成显著的竞争,并因此可能造成系统不稳定。为了克服此问题,在本公开的一些实施例中,可将集成的匹配网络嵌入到具有频率调谐能力的RF生成器(例如,第一或第二RF源112或116)中,同时,可基于在生成器输出处(例如,使用共享传感器)测得的同样的读数来控制用于调谐匹配网络以及RF循环频率的两个算法。通过这样做,可以消除这两个独立算法之间的竞争,并且可以增加等离子体反应器的操作窗口。在一些实施例中,第一RF源112与第一匹配网络110(和/或该第二RF源116与第二匹配网络118)可以物理地集成或可以仅共享引导这对装置的调谐过程的控制器来消除这两者之间的调谐竞争,从而使整体系统的调谐效率最大化。在一些实施例中,第一RF源112与第一匹配网络110(和/或第二RF源116与该第二匹配网络118)可以仅共享用于读取反射功率的公共传感器,使得它们至少进行调谐以使相同读数的反射功率最小化。

[0029] 图3与图4描绘了可随时间独立地受控制或被设置为预定值以促进快速且可重复的等离子体点燃以及随在宽范围的等离子体处理期间将等离子体的阻抗匹配到RF源生成器的阻抗的变量的图示。图3与图4示出针对诸如第一RF源112之类的RF源生成器与诸如第一匹配网络110之类的可调谐匹配网络(即,匹配箱)的独立于时间的操作参数。这些参数是解耦的,并且可独立地受控。能以频率扫描(或频率调谐)模式来操作RF源生成器。能以自动调谐模式或保持模式(其中,匹配网络固定匹配的部件的值/位置,并且不为了使反射功率最小化而进行调谐)来操作。在这些模式中的每一个模式之间的切换可独立地受控,以促进在跨宽工艺窗口的等离子体工艺期间使反射功率最小化并稳定等离子体处理。

[0030] 在图3与图4中, f_0 是RF源生成器在 T_{start} ($T_{开始}$)时的起始RF频率; T_{var_freq} ($T_{变化频率}$)是上电后允许RF源生成器频率来调谐功率等级改变和在 T_{start} 处开始的其他转换的持续时间; T_{freq_ramp} ($T_{频率回跳}$)是RF源生成器频率往回转换到 f_0 或其他的已知的频率值的持续时间; T_{hold} ($T_{保持}$)是以保持模式中来固定匹配网络的持续时间;而 Pos_0 是匹配网络的初始的固定值/位置(例如,在一些实施例中,匹配网络中的电容器的固定初始位置)。

[0031] 在图4中,是由根据一些实施例的可调谐匹配电路与RF生成器提供的频率的时序图。在图4中,RF生成器在时刻 T_{start} 开始输出功率或改变其输出等级,并且 f_0 作为生成器的起始RF频率。在一些实施例中,在时刻 T_{start} ,在腔室中开始诸如压力改变之类的等离子体转换。在一些实施例中,该起始RF频率 f_0 是可以在生成器中心频率的5%至10%之内的已知的

预定值。在一些实施例中,该生成器中心频率可以大约为2MHz、13.56MHz或更高。

[0032] 在此时刻,将匹配箱电容器/电感器保持在固定的位置/数值(Pos₀),同时允许生成器频率进行调谐以使反射功率最小化。在一些实施例中,取决于工艺与硬件要求,最小化的反射值可以是正向功率的约0%至约20%。在一些实施例中,如果适当地控制匹配网络操作,则可提供尽可能的最低反射功率。也就是说,该匹配可受控为两种主要模式中的任一种:自动调谐模式或保持模式(例如,固定位置模式)。

[0033] 允许RF生成器频率进行调谐达持续时间 $T_{\text{var_freq}}$ 。在一些实施例中, $T_{\text{var_freq}}$ 可以是约1毫秒至约1秒。在此期间,生成器频率将移离初始频率 f_0 。在此期间结束时,生成器将具有频率 f_1 。在一些实施例中,能以非单调方式将该频率从 f_0 调整至 f_1 。在一些实施例中,RF频率 f_1 可以是与 f_0 相差大约5%至大约10%。虽然 f_1 示出为比 f_0 更高的频率,但是在一些实施例中, f_1 可以小于 f_0 。在一些实施例中, f_0 、 f_1 和 $T_{\text{var_freq}}$ 中的至少一个是在点燃工艺的开始之前就已知预定值。在其他实施例中,起始频率 f_0 与 $T_{\text{var_freq}}$ 是已知的预定值,而 f_1 是未知的。在一些实施例中,反射功率可以是预定的阈值,当到达该预定的阈值时,其指示 $T_{\text{var_freq}}$ 时期的结束。

[0034] 在时刻 $T_{\text{start}}+T_{\text{var_freq}}$,RF源生成器频率开始往回向RF源生成器的起始频率 f_0 单调地改变。从 f_1 往回向 f_0 的转换可以是线性关系或任何其他单调关系,并且可在时间 $T_{\text{freq_ramp}}$ 内完成。在一些实施例中,该 $T_{\text{freq_ramp}}$ 时期可以是约10毫秒至约1秒。

[0035] 在 $T_{\text{freq_ramp}}$ 的结束处的频率可以是不等于 f_0 的第三频率 f_x 。在一些实施例中, f_x 可以等于或基本上等于 f_0 。在一些实施例中,RF频率 f_x 可以与 f_0 相差约5%至约10%。在一些实施例中,第三频率 f_x 与 $T_{\text{freq_ramp}}$ 是已知的预定值,从而在指定的时刻形成明确定义的最终等离子体与腔室条件。允许匹配网络在从 T_{start} 起的 T_{hold} 之后移动/调整值并进行调谐。在一些实施例中, T_{hold} 时期可以是约10毫秒至约2秒。虽然在图3与图4中将 T_{hold} 示出为在 $T_{\text{var_freq}}$ 之后结束(即, $T_{\text{hold}}>T_{\text{var_freq}}$),但是在一些实施例中,允许匹配网络在 $T_{\text{var_freq}}$ 期间移动/调整值并进行调谐(即, $T_{\text{hold}}<T_{\text{var_freq}}$)。在完成了该序列之后,可使RF源生成器频率往回回跳(ramp)到固定的频率 f_x (在一些实施例中,其可以等于 f_0),并且匹配网络自动地进行调谐。

[0036] 在图5中示出根据以上参照图1-4所述的本公开的至少一个示例性实施例的方法500,图5描绘了具有一系列步骤的流程图,所述一系列步骤用于:使用经由匹配网络耦合至工艺腔室的源RF电源来点燃等离子体,或跨等离子体转换进行调谐,以及减小工艺腔室中的反射功率。详细地说,方法500开始于502处,并继续进行至504,在504处,当由RF电源以第一频率将RF功率提供给工艺腔室,同时匹配网络处于保持模式时,发起等离子体条件的转换。可由RF功率的传送、RF功率等级的改变、腔室中的化学条件或压力的改变或影响等离子体的其他转换来发起该等离子体转换。该第一频率可以是上文中针对图3与图4所述的 f_0 。在保持模式中,保持匹配网络的位置和/或值固定。

[0037] 在506处,在第一时期(例如, $T_{\text{var_freq}}$)期间,将RF电源频率从第一频率(例如, f_0)调整为第二频率(例如, f_1),以点燃等离子体或在转换期间进行调谐,并减小在使用该RF电源的工艺腔室中的反射功率。在一些实施例中,能以非单调方式将频率从第一频率增加或减少为第二频率(也就是说,伴随如在图4中所示的第一时期期间的可能的中间频率),并且能在第一频率与第二频率之间的某个频率来点燃等离子体。在第一时期期间,可继续将该频率调整为第二频率,直到将反射功率最小化到某个等级为止。在该第一时期期间,将匹配

网络维持在保持模式中。

[0038] 在508处,在第二时期(例如, $T_{\text{freq_ramp}}$)期间,将频率从第二频率(例如, f_1)调整到第三频率(例如, f_x)。该第三频率与第二频率不同,并且在一些实施例中,该第三频率可以是预定的已知量(例如,目标值)。在一些实施例中,在510处,在第二时期期间的某时刻(例如,在 T_{hold} 时期之后,其中, $T_{\text{hold}} > T_{\text{var_freq}}$),将匹配网络的操作模式从保持模式改变为自动调谐模式以进一步减小反射功率,同时将由RF功率源提供的频率调整为第三已知的频率。在其他实施例中,在510处,在第一时期期间的某时刻(例如,在 T_{hold} 时期之后,其中 $T_{\text{hold}} < T_{\text{var_freq}}$),将匹配网络的操作模式从保持模式改变为自动调谐模式以进一步减小反射功率,同时将由RF功率源提供的频率调整为第三已知的频率。

[0039] 方法500结束于514处。

[0040] 虽然前述内容是针对本公开的实施例,但是可设计本公开的其他和进一步的实施例而不背离本公开的基本范围。

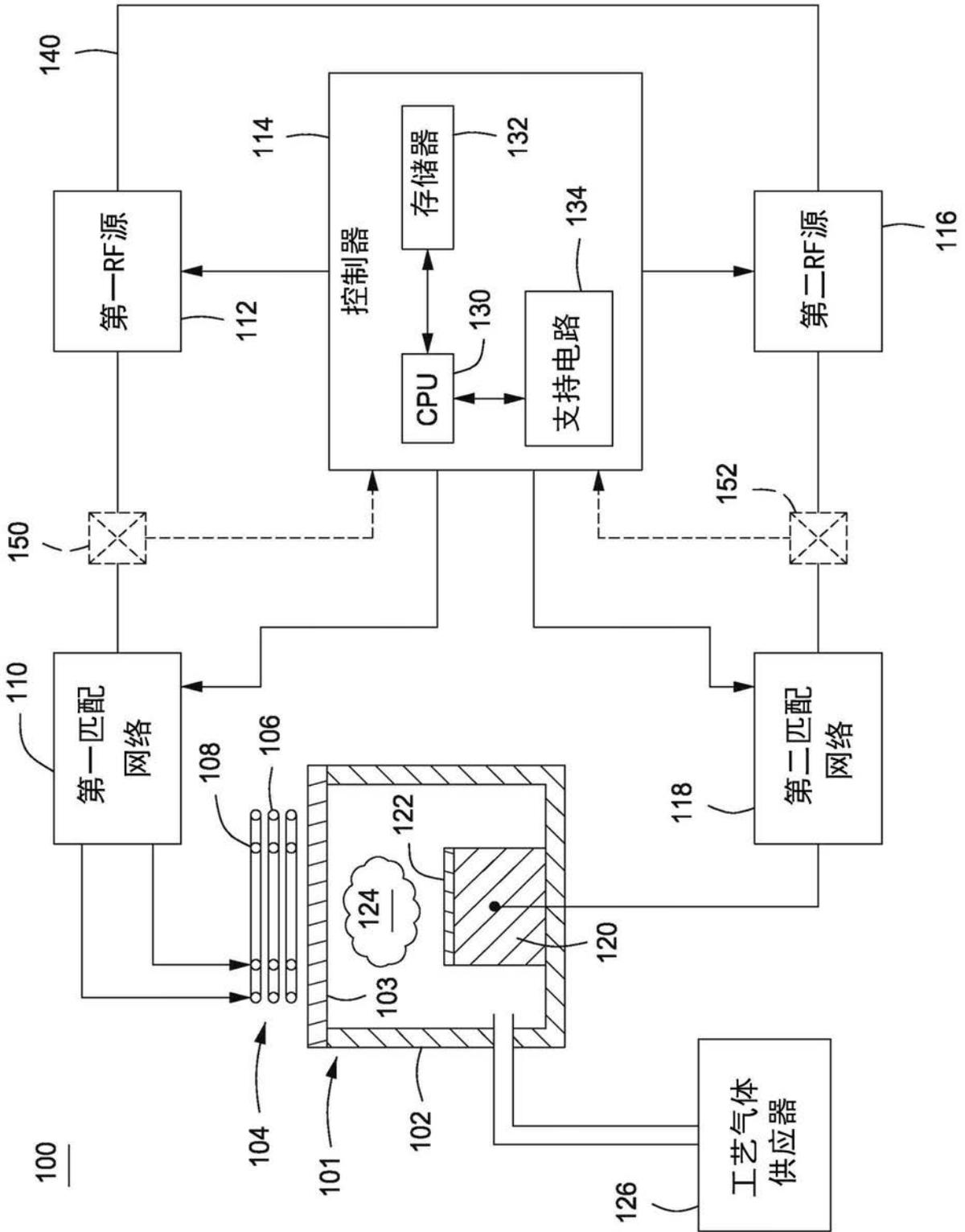


图1

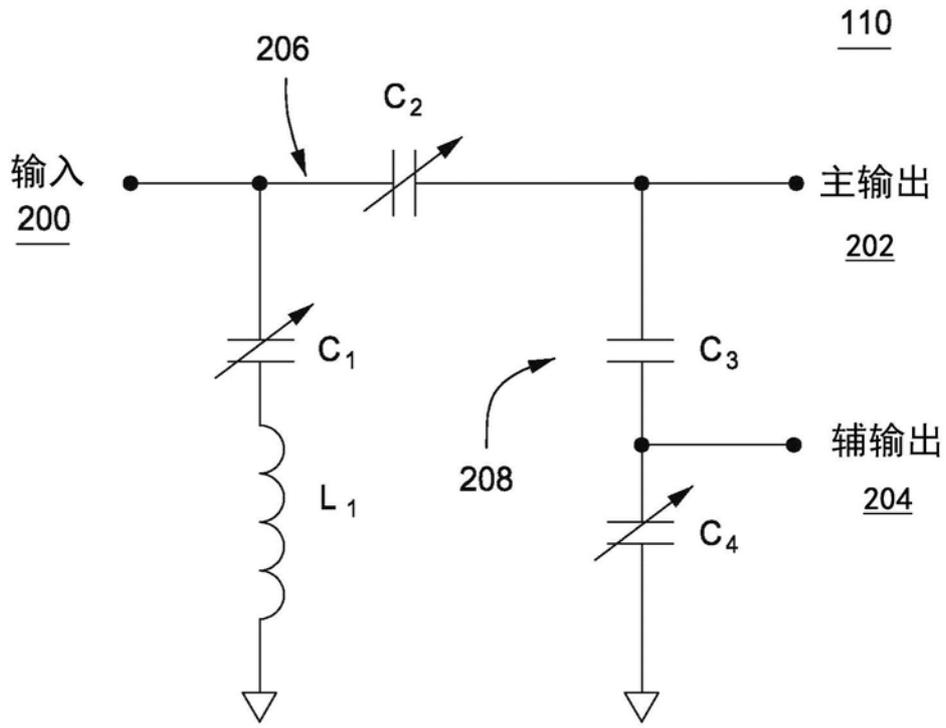


图2

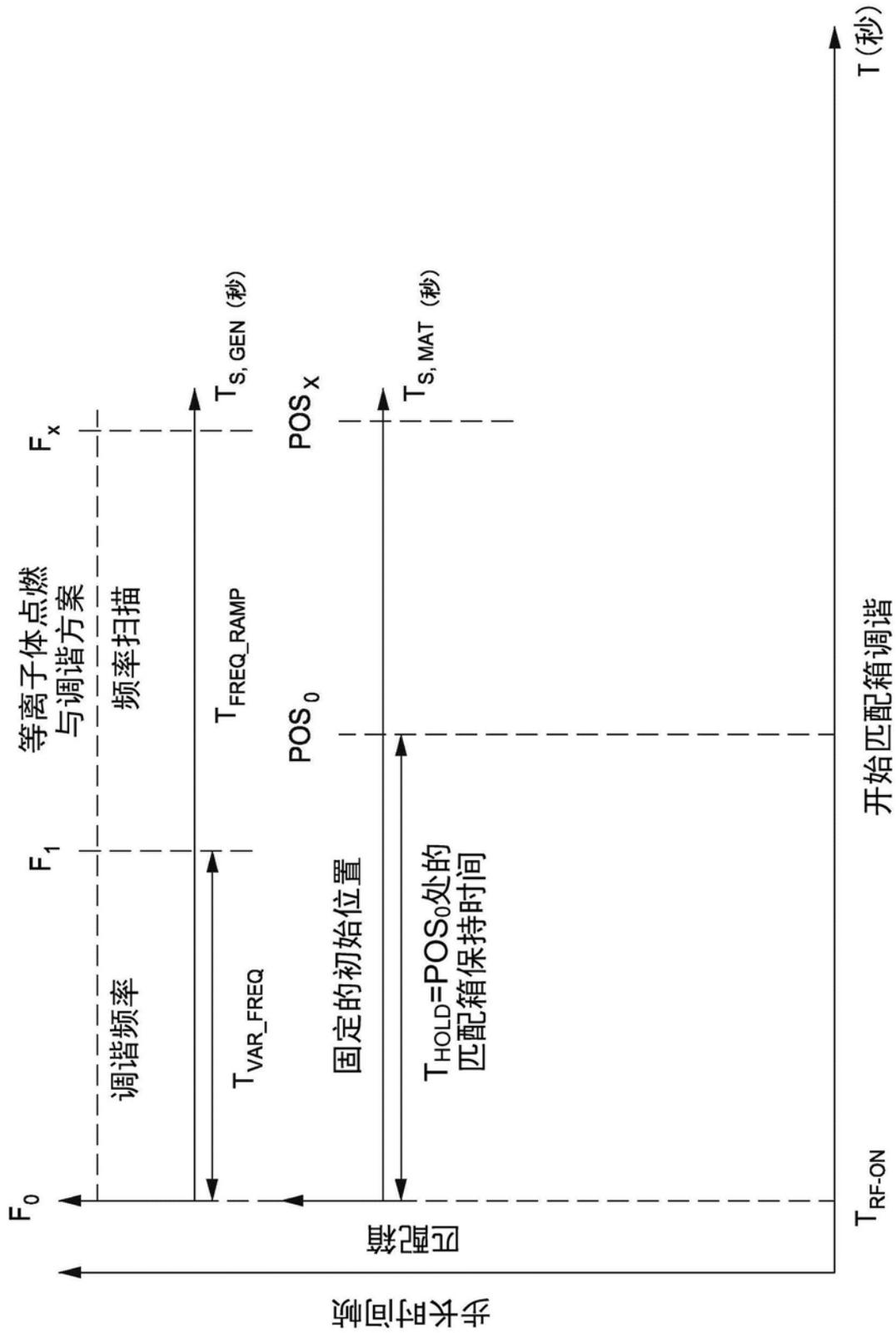


图3

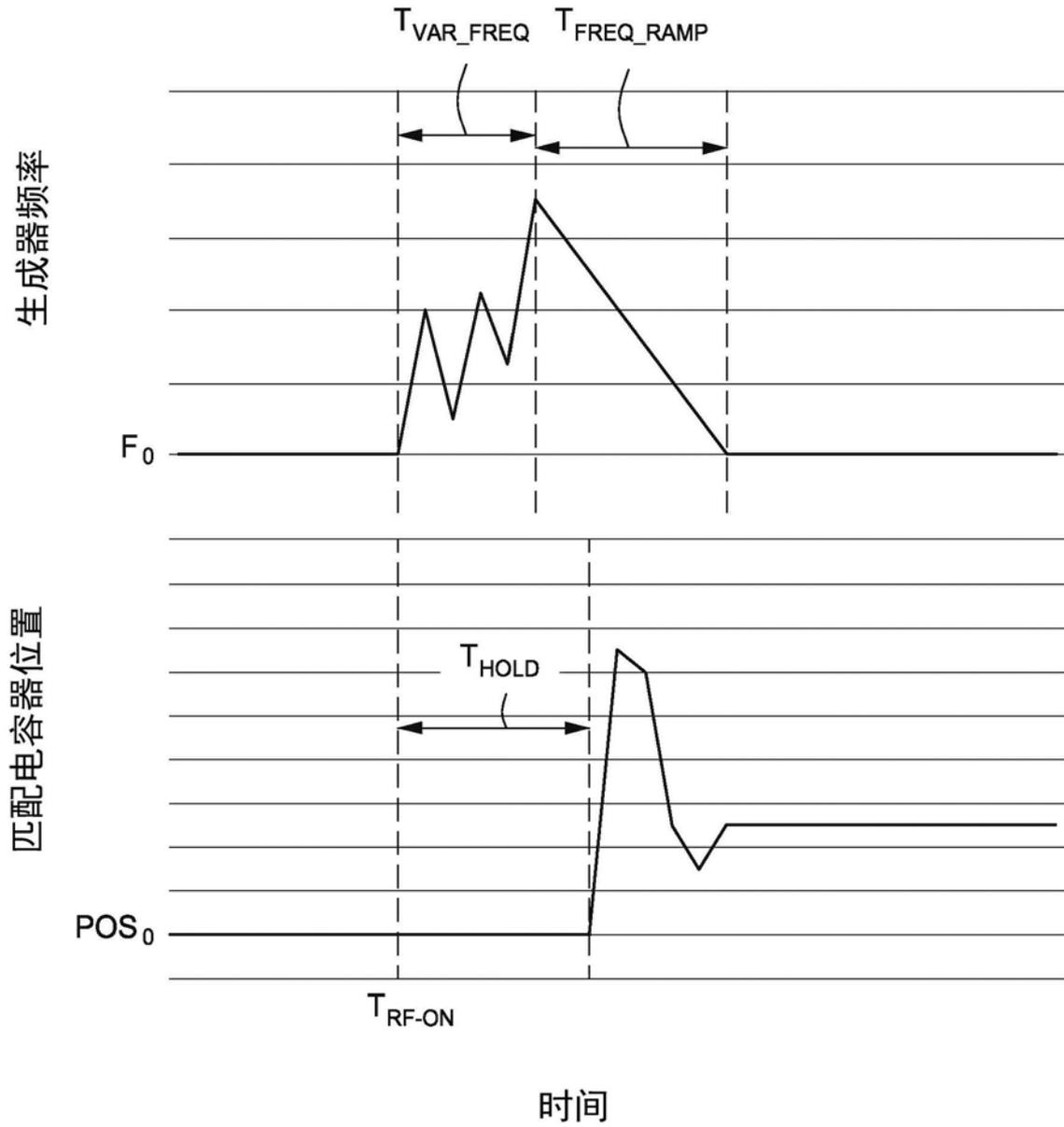


图4

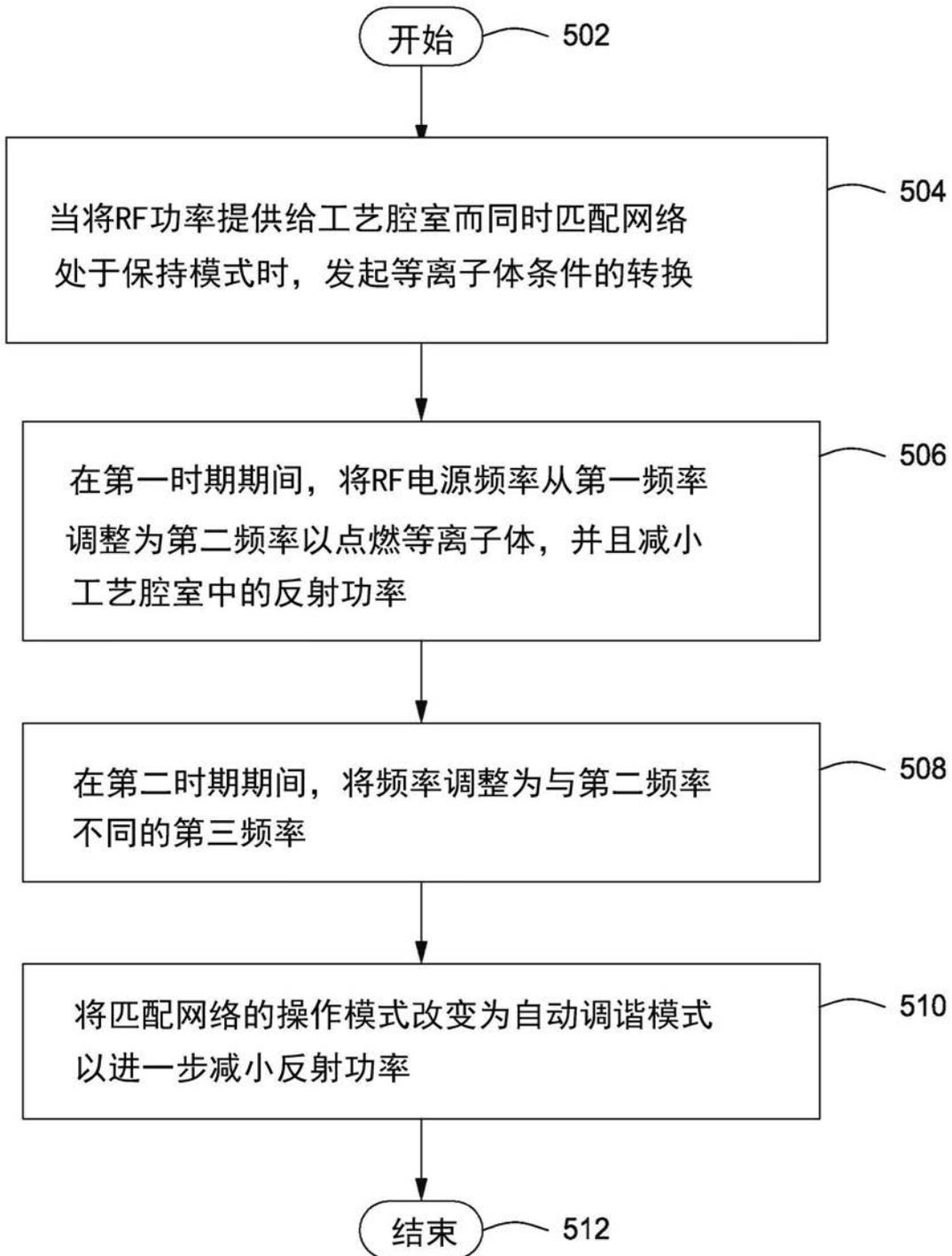


图5