



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102282917 A

(43) 申请公布日 2011. 12. 14

(21) 申请号 200980154606. 8

代理人 许海兰

(22) 申请日 2009. 01. 15

(51) Int. Cl.

(85) PCT申请进入国家阶段日  
2011. 07. 15

H05H 1/46 (2006. 01)

H01L 21/36 (2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2009/050428 2009. 01. 15

(87) PCT申请的公布数据

W02010/082327 JA 2010. 07. 22

(71) 申请人 株式会社日立高新技术  
地址 日本东京都

(72) 发明人 西尾良司

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专  
利商标事务所 11038

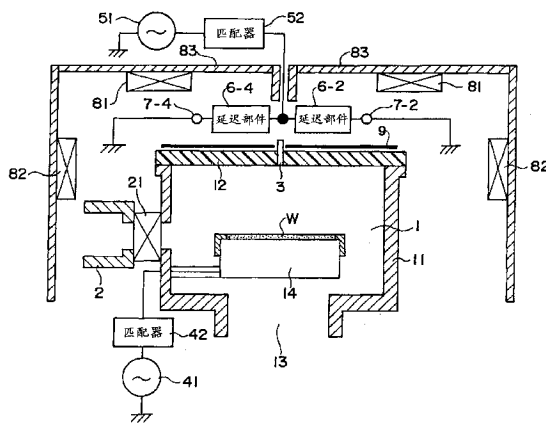
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 12 页

(54) 发明名称

等离子处理装置以及等离子生成装置

(57) 摘要

在 ICP 等离子处理装置中,改善等离子体的均匀性以及着火性。一种等离子处理装置,具备:真空处理室(1);绝缘材料(12);气体导入口(3);设置于真空处理室(1)的外部上方的高频感应天线(天线)(7);在真空处理室(1)内形成磁场的磁场线圈(81、82);控制真空处理室(1)内的磁场分布的磁轭(83);对天线(7)供给高频电流的等离子生成用高频电源(51);对磁场线圈(81、82)供给电力的电源,其中,将天线(7)分割成 n 个高频感应天线要素(7-1(未图示)、7-2、7-3(未图示)、7-4),将经过分割的天线要素呈纵列排列在一个圆周上,在呈纵列所配置的各天线要素上使经由延迟部件(7-2~7-4)依次逐一延迟  $\lambda$  (高频电源的波长)/n 的高频电流顺时针按顺序延迟并进行流动,并且自磁场线圈(81、82)施加磁场以使电子回旋共振(ECR)现象发生。



1. 一种等离子处理装置,具备:

构成能容纳试料的真空处理室的真空容器;

将处理气体导入到上述真空处理室的气体导入口;

设置在上述真空处理室外的高频感应天线;

在上述真空处理室内形成磁场的磁场线圈;

对上述高频感应天线供给高频电流的等离子生成用高频电源;以及

对上述磁场线圈供给电力的电源,

其中从上述高频电源对上述高频感应天线供给高频电流,使供给到真空处理室内的气体等离子体化并对试料进行等离子处理,

该等离子处理装置的特征在于:

将上述高频感应天线分割成  $n$  个高频感应天线要素,将该分割后的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,在呈纵列配置的各高频感应天线要素上,使依次逐一延迟了  $\lambda/n$  的高频电流相对于对上述磁场线圈供给电力所形成的磁场的磁力线方向右旋地按顺序延迟流动,形成沿一定方向进行旋转的电场以使等离子体发生并对试料进行等离子处理,

其中, $n$  为大于等于 2 的整数, $\lambda$  为高频电源的波长。

2. 按照权利要求 1 所记载的等离子处理装置,其特征在于:

将上述高频感应天线分割成  $n$  个高频感应天线要素,将该分割后的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,并在呈纵列配置的上述高频感应天线要素和上述高频电源之间设置延迟部件,在各高频感应天线要素上流过依次逐一延迟了  $\lambda/n$  的高频电流,形成沿一定方向进行旋转的电场并对试料进行等离子处理,

其中, $n$  为大于等于 2 的整数, $\lambda$  为高频电源的波长。

3. 按照权利要求 1 所记载的等离子处理装置,其特征在于:

将上述高频感应天线分割成  $n$  个高频感应天线要素,将该分割后的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,在呈纵列配置的上述高频感应天线要素上,自  $n$  个各高频电源将预先逐一延迟了  $\lambda/n$  的高频电流依次供给到高频感应天线要素,形成沿一定方向进行旋转的电场并对试料进行等离子处理,

其中, $n$  为大于等于 2 的整数, $\lambda$  为高频电源的波长。

4. 按照权利要求 1 所记载的等离子处理装置,其特征在于:

将上述高频感应天线分割成  $m$  个高频感应天线要素,将分割后的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,在呈纵列配置的上述高频感应天线要素上,自  $m/2$  个各高频电源将预先逐一延迟了  $\lambda/m$  的高频电流,从第 1 个高频感应天线要素到第  $m/2$  个高频感应天线要素为止依次供给到高频感应天线要素,

进而,从第  $m/2+1$  个高频感应天线要素到第  $m$  个高频感应天线要素为止依次供给与该高频感应天线要素相对的从第 1 到第  $m/2$  个高频感应天线要素相同相位的高频电流,构成该高频感应天线要素以使流经上述高频感应天线要素的电流的方向变得相反,形成沿一定方向进行旋转的电场并对试料进行等离子处理,

其中, $m$  为正的偶数, $\lambda$  为高频电源的波长。

5. 按照权利要求 1 所记载的等离子处理装置,其特征在于:构成多个天线和磁场以使由上述多个天线所形成的感应电场  $E$  和上述磁场  $B$  之间满足  $E \times B \neq 0$  的关系。

6. 按照权利要求 1 所记载的等离子处理装置,其特征在於:使由上述多个天线所形成的上述进行旋转的感应电场 E 的旋转频率和基于上述磁场 B 的电子回旋频率相一致。

7. 按照权利要求 1 所记载的等离子处理装置,其特征在於:上述磁场 B 的变动频率  $f_B$  和 Larmor 运动的旋转频率即电子回旋频率  $\omega_c$  之间满足  $2\pi f_B \ll \omega_c$  的关系。

8. 一种等离子生成装置,其特征在於:

具有真空处理室和设置在该真空处理室外并流过高频的多个高频感应天线,该多个天线在真空处理室中形成的感应电场分布在具有有限值的磁场中,沿一定方向进行旋转。

9. 一种等离子生成装置,其特征在於:

具有真空处理室和设置在该真空处理室外并流过高频的多个高频感应天线,该多个天线呈轴对称配置,且磁场分布为轴对称的分布,并且上述多个天线的轴和上述磁场分布的轴相一致,在真空处理室中所形成的感应电场分布沿一定方向进行旋转。

10. 按照权利要求 8 或者权利要求 9 所记载的等离子生成装置,其特征在於:上述沿一定方向进行旋转的上述感应电场分布的旋转方向相对于上述磁场的磁力线方向为右旋方向。

11. 按照权利要求 8 或者权利要求 9 所记载的等离子生成装置,其特征在於:构成多个天线和磁场以使由上述多个天线所形成的感应电场 E 和上述磁场 B 之间满足  $E \times B \neq 0$  的关系。

12. 按照权利要求 8 或者权利要求 9 所记载的等离子生成装置,其特征在於:使由上述多个天线所形成的上述进行旋转的感应电场 E 的旋转频率和基于上述磁场 B 的电子回旋频率相一致。

13. 按照权利要求 8 或者权利要求 9 所记载的等离子生成装置,其特征在於:上述磁场 B 的变动频率  $f_B$  和 Larmor 运动的旋转频率即电子回旋频率  $\omega_c$  之间满足  $2\pi f_B \ll \omega_c$  的关系。

## 等离子处理装置以及等离子生成装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及使用了电感耦合等离子体的等离子处理装置,尤其是涉及其高频感应天线的构造以及等离子生成装置。

### 背景技术

[0002] 对应于半导体器件的精细化,在等离子体处理(Process)中能够在晶片面内实现均匀的处理结果的处理条件(处理范围 Process Window)逐年变窄,在今后的等离子处理装置上要求更完全的处理状态的控制。为了实现这一点,就需要能够极高精度地控制等离子体的分布及加工气体的离解及反应器内的表面反应的装置。

[0003] 当前,作为这些等离子处理装置中所使用的具有代表性的等离子体源有高频电感耦合等离子体源(ICP:Inductively Coupled Plasma;以下简称为 ICP)。在 ICP 中,首先在高频感应天线上流过的高频电流 I 使天线周围发生感应磁场 H,这一感应磁场 H 形成感应电场 E。此时,若在欲使等离子体发生的空间存在电子,则该电子被感应电场 E 所驱动,将气体原子(分子)进行电离而使其发生离子和电子的对。这样所发生的电子与原电子一起再次被感应电场 E 所驱动,进一步发生电离。最终,因这一电离现象雪崩性地产生而发生等离子体。等离子体的密度最高的区域就是使等离子体发生的空间之中感应磁场 H 及感应电场 E 最强的空间、也就是说最靠近天线的空间。另外,这些感应磁场 H 及感应电场 E 的强度具有以高频感应天线上流过的电流 I 的线路为中心以距离的平方进行衰减之类的特性。从而,这些感应磁场 H 及感应电场 E 的强度分布、进而等离子体的分布就能够通过天线的形状来进行控制。

[0004] 如以上那样 ICP 通过流经高频感应天线的高频电流 I 使等离子体发生。一般而言若加大高频感应天线的匝数(圈数),则电感增大电流下降,但电压上升。若减少匝数则反之电压下降但电流上升。在 ICP 的设计中哪种程度的电流以及电压最佳,不仅根据等离子体的均匀性及安定性以及发生效率等观点,而且根据源于机械/电气工学上的立场的各种各样的理由来决定。例如,电流增大就会有发热的问题及其所引起的电力损耗的问题、匹配电路上使用的可变电容器的耐电流的问题。另一方面,电压增大就会有异常放电、高频感应天线和等离子体之间的电容耦合的影响、可变电容器的耐电压的问题等。因而,ICP 的设计者一面酌情考虑匹配电路上使用的可变电容器等电气元件的耐电流特性以及耐电压特性、高频感应天线冷却及异常放电的问题等,一面决定高频感应天线的形状及匝数。

[0005] 这种 ICP 具有能够根据高频感应天线的卷绕方式及形状来控制天线所产生的感应磁场 H 及感应电场 E 的强度分布也就是等离子体的分布之类的优点。基于它在 ICP 中各种各样的努力不断推进。

[0006] 作为实用例有利用 ICP 来处理基板电极上的基板的等离子处理装置。关于此等离子处理装置,人们提出将高频感应天线的一部分或者全部用多重涡旋型的天线而构成,以获得更均匀的等离子体,并且减小高频感应天线用匹配电路的匹配用并联线圈所导致的电力效率低下,使温度上升变小(例如,参照专利文献 1)。

[0007] 另外,人们还提出将完全相同的多个高频感应天线每一定角度并排进行设置的构造。例如,人们提出通过将 3 系统的高频感应天线每隔  $120^\circ$  进行设置,使圆周方向的均匀性得以提高(例如,参照专利文献 2)。此高频感应天线沿纵向进行卷绕、或者在平面上进行卷绕、或者沿半球面进行卷绕。若如专利文献 2 那样将完全相同的多个天线要素以回路方式进行并联,就还具有使多个天线要素所组成的高频感应天线的总电感得以减低之类的优点。

[0008] 进而,人们还提出将两个以上的同一形状的天线要素以回路方式进行并联而构成高频感应天线,并且呈同心圆状、或者放射状进行配置以使天线要素的中心与被处理物的中心相一致,将各天线要素的输入端每隔  $360^\circ$  除以各天线要素的个数所得的角度进行配置,且天线要素在直径方向和高度方向持有立体构造而构成(例如,参照专利文献 3)。

[0009] 相对于 ICP,电子回旋共振(ECR;Electron Cyclotron Resonance)等离子体源是利用了基于电子的电磁波的共振吸收的等离子体发生装置,具有电磁能的吸收效率较高、着火性(ignition)表现出色、能获得高密度等离子体之类的特征。目前,正在研讨使用  $\mu$  波(2.45GHz)或 UHF、VHF 频带的电磁波。电磁波放射至放电空间大多在  $\mu$  波(2.45GHz)下采用使用了波导管等的无电极放电,在 UHF、VHF 下则采用使用了放射电磁波的电极和等离子体之间的电容耦合的平行平板型电容耦合放电。

[0010] 还有使用高频感应天线并利用了 ECR 现象的等离子体源。这就是通过被称之为电啸波(whictler wave)的一种伴随于 ECR 现象的波来生成等离子体。电啸波也被称为螺旋波(welicon wave),利用了它的等离子体源也被称为螺旋等离子体源。此螺旋等离子体源的构成是例如在圆柱状的真空容器的侧面卷绕高频感应天线,并对其施加比较低的频率例如 13.56MHz 的高频电力,进而施加磁场。此时,高频感应天线在 13.56MHz 的一周期之中在半周期生成顺时针进行旋转的电子,在剩下的半周期则生成左旋地进行旋转的电子。通过这两种电子之中、右旋的电子和磁场的相互作用而产生 ECR 现象。但是,在此螺旋等离子体源中具有 ECR 现象产生的时间被限于高频的半周期;再者,因 ECR 发生的场所分散使电磁波的吸收长度较长故需要较长圆柱状的真空容器而难以获得等离子体的均匀性;除较长的真空容器外因等离子体特性呈阶跃状进行变化而难以控制成恰当的等离子体特性(电子温度及气体的离解等);等若干问题,不太适合用于产业。

[0011] 专利文献 1 日本专利公开特开平 8-83696 号公报

[0012] 专利文献 2 日本专利公开特开平 8-321490 号公报

[0013] 专利文献 3 日本专利公开特开 2005-303053 号公报

[0014] 非专利文献 1L. Sansonnens et al., Plasma Sources Sci. Technol. 15, 2006, pp302

[0015] 非专利文献 2J. Hoopwood et al., J. Vac. Sci. Technol., A11, 1993, pp147

[0016] 在 ICP 中,高频电流 I 在环绕高频感应天线的时候,经由杂散电容流入等离子体及大地而发生损失。以此为由有时存在使感应磁场 H 在圆周方向持有强弱分布、结果损害圆周方向的等离子体的均匀性的现象变得显著的情况。这一现象不仅对高频感应天线周围空间的介电常数而且对导磁率也受到影响,并作为反射波效果或表皮深度效果等而显现的波长缩短现象。虽然这一现象是在诸如同轴电缆这样的通常高频传输电缆中也会发生的一般现象,但因高频感应天线与等离子体进行电感耦合或者电容耦合而使该波长缩短效果更为

显著地出现。另外,不仅是 ICP 而且在诸如 ECR 等离子体源及平行平板型电容耦合等离子体源这样的一般等离子体源中,在放射高频的天线及其周边的空间,朝向天线及真空容器内部的行波和返回来的反射波相重合而发生驻波。这是因为反射波从天线端部及等离子体、进而从放射高频的真空容器内的许多部分返回来。这一驻波也极大地干预到波长缩短效果。在这些状况下,在 ICP 即便使用波长约 22m 长的 13.56MHz 作为 RF 频率,若高频感应天线长度超过 2.5m 程度,就会在天线环路 (antenna loop) 内发生伴随于波长缩短效果的驻波。从而,天线环路内的电流分布变得不均匀,发生等离子体密度分布变得不均匀之类的问题。

[0017] 在 ICP 中,天线上流过的高频电流 I 周期性地相位也就是流动的方向发生逆转,伴随于此,就有感应磁场 H(感应电场 E) 的方向、也就是电子的驱动方向发生逆转之类的问题。也就是说,在施加的高频的每半周期,电子一时停止并反方向地加速这一情况反复进行。在这种状态下,高频的某半周期中电子所导致的雪崩现象的电离不充分时,就有在电子一时停止的时刻难以充分获得高密度的等离子体之类的问题。这是因为在电子减速并一时停止的期间,等离子体的生成效率降落下来。一般而言,ICP 较之于 ECR 等离子体源及电容耦合型平行平板型等离子体源来说等离子体的着火性较差,其中有上述那样的原因。高频的每半周期等离子体的生成效率变差,这一点螺旋等离子体源也同样如此。

[0018] 如以上所述,在 ICP 中,虽然发现种种使等离子体的均匀性提高的努力,但都是越下工夫则高频感应天线的构造变得越复杂,就发生作为产业用装置难以成立之类的问题。另外,以往,尚未谋求一面维持良好的等离子体均匀性一面使等离子体的着火性飞跃性地得以提高,着火性的不佳尚未得到消除。

[0019] 另一方面,ECR 等离子体源具有因波长较短故易于在装置内产生复杂的电场分布,而难以获得均匀的等离子体之类的问题。

[0020] 亦即,因  $\mu$  波 (2.45GHz) 的波长较短,故在大口径 ECR 等离子体源中  $\mu$  波在放电空间内以各种高次传播模式进行传播。据此,在等离子体放电空间内的各处电场局部地集中,并在该部分发生高密度的等离子体。另外,在基于入射  $\mu$  波的高次传播模式的电场分布中,从等离子体装置内部反射回来的  $\mu$  波相重合而发生驻波,故装置内的电场分布进一步易于变得复杂。根据以上两个理由,一般而言难以遍及大口径获得均匀的等离子体特性。而且,这种复杂的电场分布一旦发生,则控制其电场分布使其变化成在处理 (process) 上良好的电场分布事实上就很困难。这是因为需要进行装置构造的变更以使得高次传播模式不会发生、或者使从装置内反射回来的反射波不形成复杂的电场分布的缘故。几乎没有对各种放电条件而言最佳的装置构造是单一装置构造的情况。进而,为了用  $\mu$  波 (2.45GHz) 使 ECR 放电产生,将需要 875 高斯这样的较强磁场,就有使其发生的线圈消耗的电力及包含磁轭的构造变得非常大之类的缺点。

[0021] 另外,关于这些问题之中的磁场强度,在 UHF、VHF 因比较弱的磁场就行了故问题的大小得以缓和。但是,可知即便在波长比较长的 UHF、VHF 中驻波的问题深刻,放电空间内在电场产生分布,发生的等离子体密度分布并不平坦,在处理均匀性上将产生问题。就此即便现在理论上实验上的研究也仍正持续 (例如,参照非专利文献 1)。

[0022] 如以上所述,虽然在以往的 ICP,正在探讨使均匀性良好的等离子体发生,但天线的构造不得不变得复杂,另外还有等离子体的着火性较差之类的问题。另一方面,ECR 等离

子体源存在尽管着火性较好,但电磁波的高次传播模式及驻波所导致的等离子体均匀性却较差之类的问题。

### 发明内容

[0023] 本发明就是鉴于上述问题而完成的,其目的是提供一种即便在大口径的等离子处理装置中,着火性良好的均匀的等离子体源。

[0024] 本发明在使用了 ICP 的等离子处理装置中可以利用 ECR 放电现象。据此,就能够以最小限度的努力使天线构造最优化以使等离子体的均匀性变得良好,同时还能够飞跃性地改善等离子体的着火性。

[0025] 作为用于解决上述课题的第 1 步,在本发明中提供一种在设置于真空处理室外的高频感应天线上流过高频电流,并进一步施加磁场,使被供给到真空处理室内的气体等离子体化并对试料进行等离子处理的等离子处理装置,将上述高频感应天线分割成  $n$  个 ( $n \geq 2$  的整数) 高频感应天线要素,将该经过分割的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,在呈纵列配置的各高频感应天线要素上使依次逐一延迟  $\lambda$  (高频电源的波长)/ $n$  的高频电流,相对于磁力线方向右旋地按顺序延迟流动。据此,在等离子生成区域形成相对于磁力线方向右旋转的感应电场,并借助于此感应电场使等离子体中的电子进行右旋转,由此成就上述课题。

[0026] 用于解决上述课题的第 2 步是对上述顺时针进行旋转的电子进一步施加磁场  $B$ ,使电子产生 Larmor (拉莫尔) 运动。Larmor 运动是基于  $E \times B$  漂移的右旋转运动,为了使此运动产生,在上述感应电场  $E$  和磁场  $B$  之间就需要  $E \times B \neq 0$  的关系。此磁场  $B$  的施加方向是相对于此磁场  $B$  的磁力线方向,上述感应电场  $E$  的旋转方向为顺时针的方向。在满足这些时,基于感应电场  $E$  的右旋转的旋转方向和 Larmor 运动的旋转方向相一致。进而此磁场  $B$  的变化需要在其变动频率  $f_B$  和 Larmor 运动的旋转频率 (电子回旋频率  $\omega_c$ ) 之间满足  $2\pi f_B \ll \omega_c$  的关系。除这一磁场  $B$  施加外,通过使该磁场强度的电子回旋频率  $\omega_c$  和进行旋转的感应电场  $E$  的旋转频率  $f$  相一致使电子回旋共振现象发生,由此成就上述课题。

[0027] 为了解决上述课题,在本发明中提供一种等离子处理装置,具备:构成可容纳上述试料的真空处理室的真空容器;将处理气体导入到该真空处理室的气体导入口;设置在上述真空处理室之外的高频感应天线;在上述真空处理室内形成磁场的磁场线圈;对上述高频感应天线供给高频电流的等离子生成用高频电源;对上述磁场线圈供给电力的电源,其中从上述高频电源对上述高频感应天线供给高频电流,使供给到真空处理室内的气体等离子体化并对被处理试料进行等离子处理,该等离子处理装置构成为:将上述高频感应天线分割成  $n$  个 ( $n \geq 2$  的整数) 高频感应天线要素,将分割后的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,在呈纵列配置的各高频感应天线要素上馈电依次逐一延迟  $\lambda$  (高频电源的波长)/ $n$  的高频电流,并且对上述磁场线圈供给电力而形成磁场以使等离子体发生并对试料进行等离子处理,由此成就上述课题。

[0028] 接着,在本发明中提供一种等离子处理装置,具备:构成可容纳上述试料的真空处理室的真空容器;将处理气体导入到该真空处理室的气体导入口;设置在上述真空处理室之外的高频感应天线;在上述真空处理室内形成磁场的磁场线圈;对上述高频感应天线供给高频电流的等离子生成用高频电源;对上述磁场线圈供给电力的电源,其中从上述高频

电源对上述高频感应天线供给高频电流,使供给到真空处理室内的气体等离子体化并对被处理试料进行等离子处理,通过构成上述高频感应天线和上述磁场以使由上述天线所生成的感应电场  $E$  和上述磁场  $B$  之间满足  $E \times B \neq 0$  的关系,由此成就上述课题。

[0029] 进而,在本发明中提供一种等离子处理装置,具备:构成可容纳上述试料的真空处理室的真空容器;将处理气体导入到该真空处理室的气体导入口;设置在上述真空处理室之外的高频感应天线;在上述真空处理室内形成磁场的磁场线圈;对上述高频感应天线供给高频电流的等离子生成用高频电源;对上述磁场线圈供给电力的电源,其中从上述高频电源对上述高频感应天线供给高频电流,使供给到真空处理室内的气体等离子体化并对被处理试料进行等离子处理,使进行旋转的感应电场  $E$  的旋转频率  $f$  和基于磁场  $B$  的电子回旋频率  $\omega_e$  相一致。据此,通过使电子吸收电子回旋共振所导致的高频电力而成就上述课题。

[0030] 接着,在本发明中提供一种等离子处理装置,具备:构成可容纳上述试料的真空处理室的真空容器;将处理气体导入到该真空处理室的气体导入口;设置在上述真空处理室之外的高频感应天线;在上述真空处理室内形成磁场的磁场线圈;对上述高频感应天线供给高频电流的等离子生成用高频电源;对上述磁场线圈供给电力的电源,其中从上述高频电源对上述高频感应天线供给高频电流,使供给到真空处理室内的气体等离子体化并对被处理试料进行等离子处理,通过构成上述高频感应天线和上述磁场以使得由上述天线所生成的感应电场  $E$  的旋转方向相对于上述磁场线圈形成的磁场  $B$  的磁力线进行右旋转,由此成就上述课题。

[0031] 进而,本发明提供一种等离子生成装置,构成为:具有真空处理室和设置在该真空处理室外并流过高频的多个高频感应天线,该多个天线在真空处理室中形成的感应电场分布在具有有限值的磁场中,沿一定方向进行旋转。

[0032] 本发明提供一种等离子生成装置,构成为:具有真空处理室和设置在该真空处理室外并流过高频的多个高频感应天线,该多个天线呈轴对称进行配置,且磁场分布为轴对称的分布,同时上述多个天线的轴和上述磁场分布的轴相一致,在真空处理室中所形成的感应电场分布沿一定方向进行旋转。

[0033] 本发明是在上述等离子生成装置中构成为:上述沿一定方向进行旋转的上述感应电场分布的旋转方向相对于上述磁场的磁力线方向为右旋转。

[0034] 本发明是在上述等离子生成装置中构成多个天线和磁场以使得由上述多个天线所形成的感应电场  $E$  和上述磁场  $B$  之间满足  $E \times B \neq 0$  的关系。

[0035] 本发明是在上述等离子生成装置中构成为:使由上述多个天线所形成的上述进行旋转的感应电场  $E$  的旋转频率  $f$  和基于上述磁场  $B$  的电子回旋频率相一致。

[0036] 进而,本发明是在上述等离子处理装置中,磁场  $B$  既可以是静磁场也可以是变动磁场,但在变动磁场的情况下,通过在其变动频率  $f_b$  和 Larmor 运动的旋转频率(电子回旋频率  $\omega_e$ ) 之间满足  $2\pi f_b \ll \omega_e$  的关系而成就上述课题。

## 附图说明

[0037] 图 1 是说明适用于本发明的等离子处理装置之构成概要的纵断面图。

[0038] 图 2 是说明本发明所涉及的针对高频感应天线要素的馈电方法的图。



- [0039] 图 3 是说明本发明中的根据电场形态的等离子体生成形态的图。
- [0040] 图 4 是说明由以往的天线所生成的电场强度之分布的图。
- [0041] 图 5 是说明由本发明的天线所生成的电场强度之分布的图。
- [0042] 图 6 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0043] 图 7 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0044] 图 8 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0045] 图 9 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0046] 图 10 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0047] 图 11 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0048] 图 12 是说明针对本发明所涉及的高频感应天线要素的馈电方法的图。
- [0049] 附图标记说明

[0050] 1 真空处理室 ;11 真空容器 ;12 绝缘材料 ;13 真空排气手段 ;14 电极 ( 试料台 ) ;2 搬送系统 ;21 闸阀 ;3 气体导入口 ;41 偏压高频电源 ;42 偏压匹配器 ;51 等离子生成用高频电源 ;52 等离子生成用匹配器 ;53 馈电点 ;54 发射器 ;6 延迟部件 ;7 高频感应天线 ;7-1 ~ 7-4 高频感应天线要素 ;78 馈电线 ;79 接地线 ;81 上磁场线圈 ;82 下磁场线圈 ;83 磁轭 ;9 法拉第屏蔽 ;A 馈电端 ;B 接地端 ;W 被处理体 ( 半导体晶片 )。

### 具体实施方式

[0051] 本发明所涉及的等离子处理装置其使用并非仅仅被限定于半导体器件的制造领域,还可以应用于液晶显示器的制造、各种材料的成膜、表面处理等的等离子处理的各领域。在这里,以半导体器件制造用的等离子蚀刻装置为例来表示实施例。

[0052] 使用图 1 来说明被应用本发明的等离子处理装置之构成概要。高频电感耦合型等离子处理装置具有如下部件而构成:具有内部被维持于真空的真空处理室 1 的真空容器 11;作为真空处理室的盖子并将通过高频所产生的电场导入到真空处理室内的绝缘材料 12;在将真空处理室 1 内维持于真空的例如真空泵上所结合的真空排气部件 13;载置被处理体 ( 半导体晶片 )W 的电极 ( 试料台 )14;具备将被处理体即半导体晶片 W 在外部和真空处理室内之间进行搬送的闸阀 21 的搬送系统 2;导入处理气体的气体导入口 3;对半导体晶片 W 供给偏置电压的偏压高频电源 41;偏压匹配器 42;等离子生成用高频电源 51;等离子生成用匹配器 52;多个延迟部件 6-2、6-3 ( 未图示 )、6-4;被配置于真空处理室 1 的周边部上、构成高频感应天线 7 的被分割成多个并在圆周上呈纵列配置的高频感应天线要素 7-1 ( 未图示 )、7-2、7-3 ( 未图示 )、7-4;用于施加磁场的构成上天线 81 和下天线 82 的电磁铁;控制磁场分布的用磁性体所制作的磁轭 83;控制上述高频感应天线要素 7-1 ( 未图示 )、7-2、7-3 ( 未图示 )、7-4 与等离子体进行电容耦合的法拉第屏蔽 9。

[0053] 真空容器 11 是例如对表面经过防蚀铝处理的铝制或不锈钢制的真空容器,被电接地。另外,作为表面处理不仅是防蚀铝还能够使用其他的耐等离子体性较高的物质 ( 例如氧化钇 : $Y_2O_3$  )。在真空处理室 1 具备真空排气部件 13 以及具有用于将作为被处理物的半导体晶片 W 进行搬入搬出的闸阀 21 的搬送系统 2。在真空处理室 1 中设置有用于载置半导体晶片 W 的电极 14。通过搬送系统 2 被搬入到真空处理室中的晶片 W 被搬运到电极 14 上,并保持在电极 14 上。在电极 14 以控制在等离子处理中入射到半导体晶片 W 的离子的

能量这一目的,经由偏压匹配器 42 而连接着偏压高频电源 41。蚀刻处理用的气体自气体导入口 3 被导入到真空处理室 1 内。

[0054] 另一方面,在与半导体晶片 W 相对的位置,高频感应天线要素 7-1(未图示)、7-2、7-3(未图示)、7-4 隔着石英或氧化铝陶瓷等绝缘材料 12 在大气侧被设置于半导体晶片 W 的相对面。高频感应天线要素...、7-2、...、7-4 以其中心与半导体晶片 W 的中心相一致的方式被配置在同心圆上。虽然没有在图 1 中明示出来,高频感应天线要素...、7-2、...、7-4 由多个持有同一形状的天线要素组成。多个天线要素的馈电端 A 经由等离子生成用匹配器 52 被连接到等离子生成用高频电源 51,接地端 B 均完全相同地被连接到接地电位。

[0055] 在高频感应天线要素...、7-2、...、7-4 和等离子生成用匹配器 52 之间设置有使各高频感应天线要素...、7-2、...、7-4 上流过的电流之相位进行延迟的延迟部件 6-2、6-3(未图示)、6-4。

[0056] 在绝缘材料 12 中设置着省略了图示的冷却用的冷媒流路,通过在此冷媒流路中流过水、电子氟化液(flavorinert)、空气、氮等流体而得以冷却。天线、真空容器 11、晶片搭载台 14 亦成为冷却/调温的对象。

[0057] 实施例 1

[0058] 使用图 2 来说明本发明所涉及的等离子处理装置的第 1 实施例。在此实施例中,如从图 1 上方所观看的图 2(A) 所示那样,将高频感应天线 7 在一个圆周上分割成 4( $n \geq 2$  的整数)个高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4。各个高频感应天线要素 7-1、7-2、7-3、7-4 的馈电端 A 或者接地端 B 沿顺时针旋转方向每  $360^\circ / 4 (360^\circ / n)$  离开进行配置,在各个高频感应天线要素 7-1、7-2、7-3、7-4 上从等离子生成用高频电源 51 经由等离子生成用匹配器 52,并从馈电点 53 经由各馈电端 A 供给高频电流。在此实施例中,各高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4 分别在同一圆周上右旋地从馈电端 A 侧离开约  $\lambda / 4$  而配置接地端 B 侧。虽然各高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4 的长度不需要是  $\lambda / 4$ ,但最好是在所发生的驻波的  $\lambda / 4$  以下。在馈电点 53 和各个高频感应天线要素 7-2、7-3、7-4 的馈电端 A 间分别插入  $\lambda / 4$  延迟电路 6-2、 $\lambda / 2$  延迟电路 6-3、 $3\lambda / 4$  延迟电路 6-4。据此,各感应天线要素 7-1 ~ 7-4 上流过的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$  就如图 2(B) 所示那样按顺序每  $\lambda / 4 (\lambda / n)$  逐一延迟相位。用电流  $I_1$  所驱动的等离子体中的电子用电流  $I_2$  连续进行驱动。另外用电流  $I_3$  所驱动的等离子体中的电子用电流  $I_4$  连续进行驱动。

[0059] 使用图 3 来说明使用了图 2 所示的高频感应天线时的等离子体中的电子驱动形态。在图 3 中,高频感应天线要素 7-1、7-2、7-3、7-4 的馈电端 A 和接地端 B 的构成与图 2 相同。另外,各感应天线要素上流过的电流  $I_1$ ~ $I_4$  的方向全部标记为从馈电端 A 朝向接地端 B。各高频感应天线要素上流过的电流与图 2 相同地  $I_1$ ~ $I_4$  的相位分别错开  $90^\circ$ 。使相位错开  $90^\circ$  是因为将高频电流的 1 个周期 ( $360^\circ$ ) 分配给 4 个高频感应天线要素,所以具有  $360^\circ / 4 = 90^\circ$  的关系。这里所说的电流 I 以及感应电场 E 使用感应磁场 H 通过下述 (1) 式以及 (2) 式所示的麦克斯韦的方程式而赋予关系。在下述 (1) 式以及 (2) 式中, E、H 和 I 是高频感应天线和等离子体的全部电场(电场)以及磁界(磁场)以及电流的矢量,  $\mu$  是导磁率,  $\epsilon$  是介电常数。

[0060] 
$$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad \dots \quad (1)$$

$$[0061] \quad \nabla \times H = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + J \quad \dots \quad (2)$$

[0062] 在图 3(A) 的右侧表示电流的相位关系。这里所示的某时间 ( $t = t_1$ ) 处的感应电场 E 的、被高频感应天线所包围的区域中的方向,在图 3(A) 的左侧用点线和箭头来表示。如根据此方向可知那样,感应电场 E 的分布为线对称。在图 3(B) 中表示电流的相位自图 3(A) 进一步超前  $90^\circ$  时 ( $t = t_2$ ) 的感应电场 E 的方向。感应电场 E 的方向沿顺时针旋转  $90^\circ$ 。根据图 3 可知本发明中的高频感应天线产生与时间一起右旋转、亦即顺时针方向进行旋转的感应电场 E。在这一右旋转的感应电场 E 之中存在电子时,电子亦被感应电场 E 所驱动而右旋转。在此情况下,电子的旋转周期与高频电流的频率相一致。但通过工学上的努力可以产生具有与高频电流的频率不同的旋转周期的感应电场 E,此时,电子就不是以高频电流的频率而是以与感应电场 E 的旋转周期相同的周期进行旋转。这样与通常的 ICP 相同,在本发明中也是电子被感应电场 E 所驱动。但是,与高频感应天线的电流 I 的相位无关地沿一定方向(在此图中为右旋)驱动电子、又不存在此旋转停止的瞬间这两点是本发明不同于通常的 ICP 及螺旋等离子体源的特点。

[0063] 这里,就本发明的高频感应天线在等离子体中使怎样的感应电场 E 生成进行说明。虽然在这里用感应电场 E 来进行说明,但如(1)式所示那样,感应电场 E 和感应磁场 H 是可以相互变换的物理量,它们是等价的。首先,图 4 示意性地表示以往的 ICP 所产生的感应电场 E 之分布。在以往的 ICP 中,若使天线绕一周来描绘圆,则当天线被分割就在天线上流过同相电流,故天线所产生的感应电场 E 在圆周方向上相同。也就是说,产生如图 4 所示那样在天线正下方出现感应电场 E 的最大值,并相对于天线的中心和天线周围衰减的环形状的电场分布。此分布是在 X-Y 平面上相对于中心点 O 的点对称。理论上,天线中心点 O 处的感应电场 E 为  $E = 0$ 。此环形状的电场分布随着电流的方向(半周期)朝右旋转或者朝左旋转。在感应电场 E 的旋转方向改变时,就是电流为零之时,感应电场 E 就一时在全区域为  $E = 0$ 。这样的感应电场 E 已经被测定并确认为感应磁场 H(例如,参照非专利文献 2)。

[0064] 接着,说明本发明的天线所产生的感应电场 E。首先,考虑与图 3(A) 相同的电流状态。也就是说,在  $I_4$  流过正的峰值电流,在  $I_2$  流过反方向的峰值电流。相对于,  $I_1$  和  $I_3$  为较小这样的状况。在此情况下,感应电场 E 的最大值出现于流过  $I_4$  的天线要素 7-4 和流过  $I_2$  的天线要素 7-2 的下方。另外,在几乎不流过电流的天线要素 7-1 和 7-3 的下方则不出现较强的感应电场 E。图 5 对这一点示意性地进行表示。在这里,表示在 X-Y 平面状的 X 轴上出现二个峰值的情形。如在图 5 中所明确的那样,本发明的感应电场 E 在天线圆周上持有二个较大的峰值、且在 X-Y 平面为轴对称(在此图中为 Y 轴对称)。而且,在 Y 轴上出现具有平缓的峰值的分布。此平缓分布的峰值高度较低、其位置出现在中心坐标 O。也就是说,天线的中心点 O 处的感应电场并非  $E = 0$ 。这样,在根据本发明的图 2 的构成中就产生与以往的 ICP 及螺旋等离子体源完全不同的感应电场 E,而且,其与高频感应天线的电流 I 的相位无关地沿一定方向(在此图中为右旋)进行旋转。另外,如根据图 3 所明确的那样,没有在所有高频感应天线要素上流过的电流 I 同时为  $I = 0$  的瞬间。从而,旋转的感应电场 E 为  $E = 0$  的瞬间不存在这一点也是本发明的特征。

[0065] 在本发明中,虽然生成这样持有局部峰值的感应电场分布,但这并不会使所发生的等离子体的均匀性恶化。首先,图 5 的 X 轴上的感应电场分布取决于天线所发生的感应磁

场分布。也就是说,在流过相同电流的情况下,图 4 的 X 轴上的感应电场分布和图 5 的 X 轴上的感应电场的分布相等。进而由于本发明的感应电场以与天线上流过的高频电流相同的频率进行旋转,所以若在高频电流的一周期进行平均就会发生在 X-Y 平面中相对于中心点 O 的点对称的感应电场分布。也就是说,在本发明中,虽然产生完全不同的感应电场分布,但以往的 ICP 所持有的良好特征,也就是说感应电场分布取决于天线的构造和能够发生点对称并在圆周方向上均匀的等离子体之类的特征仍原样保持下来。

[0066] 这里,通过使用图 1 所示的上下磁场线圈 81、82 和磁轭 83,就能够施加具有垂直于此感应电场 E 的旋转面的磁场分量的磁场 B。在本发明中,此磁场 B 应满足的条件有两个。第一个是施加上述进行旋转的感应电场 E 的旋转方向相对于磁场 B 的磁力线方向始终为右旋转的磁场 B。例如在图 2 的构成中如迄今为止所说明那样,感应电场 E 相对于纸面以顺时针的方向、也就是进行右旋转。在此情况下,磁力线的方向中就需要从纸面的表面朝向里面这一方向的分量。据此感应电场 E 的旋转方向和 Larmor 运动的旋转方向相一致。另外,这第一个条件还能够是施加感应电场 E 的旋转方向和 Larmor 运动的旋转方向相一致的磁场 B 之类的表述。

[0067] 剩余的条件是针对感应电场 E 施加  $E \times B \neq 0$  的磁场 B。其中, $E \times B \neq 0$  这样的条件虽然在欲使等离子体发生的空间的某处是需要的,但并非在欲使等离子体发生的全部空间都需要如此。虽然施加磁场的方法有各种各样,但只要不使用局部持有复杂构造的磁场,“ $E \times B \neq 0$ ”这样的条件就包含于前述的第一个条件。根据“ $E \times B \neq 0$ ”这样的条件,电子进行以磁力线为中心 (Guiding Center) 的被称之为 Larmor 运动的旋转运动。此 Larmor 运动不是前述的基于旋转感应电场的旋转运动而是被称之为电子回旋运动。其旋转频率被称为电子回旋频率  $\omega_c$ ,用下述 (3) 式来表达。在下述 (3) 式, q 是电子的素电荷, B 是磁场强度,  $m_e$  是电子的质量。此电子回旋运动的特征是其频率仅仅取决于磁场强度。

$$[0068] \quad \omega_c = \frac{qB}{m_e} \quad \cdots \quad (3)$$

[0069] 这里,若使旋转的感应电场 E 的旋转频率 f 和此回旋频率  $\omega_c$  相一致,则产生电子回旋共振,高频感应天线上流过的高频电力以共振方式被电子所吸收,就能够使高密度等离子体发生。其中,“使感应电场 E 的旋转频率 f 和此回旋频率  $\omega_c$  相一致”这样的条件,虽然在欲使等离子体发生的空间的某处是需要的,但并非在欲使等离子体发生的全部空间都需要如此。这一 ECR 的发生条件用下述 (4) 式来表达。

$$[0070] \quad 2\pi f = \omega_c \quad \cdots \quad (4)$$

[0071] 另外,这里进行施加的磁场 B 既可以是静磁场也可以是变动磁场。但是,在变动磁场的情况下,其变动频率  $f_B$  与 Larmor 运动的旋转频率 (电子回旋频率  $\omega_c$ ) 之间必须满足  $2\pi f_B \ll \omega_c$  的关系。这一关系意味着如果从进行电子回旋运动的电子的一周期来看,变动磁场的变化充分小、被视为静磁场。

[0072] 根据以上说明,就能够利用电子回旋 (ECR) 加热之类的等离子体加热方法,飞跃性地获得电子的等离子生成能力。其中,在产业上的应用中,若考虑获得所希望的等离子体特性,则希望使天线构造最优化来控制感应电场 E 的强度及其分布,并且通过对上述磁场 B 的强度分布进行可变控制,在需要处按需要形成上述磁场 B 及满足频率条件的空间,并对离子生成及其扩散进行控制。图 1 是考虑了这一情况的一实施例。

[0073] 另外,在本发明所述的高频电感耦合型等离子体源中可以进行 ECR 放电的方法不依赖于所用的高频频率及磁场强度,通常只要满足到此为止所述的条件就可以利用。当然,关于工学上的应用,根据将使之发生的等离子体的容器做成怎样的大小等现实性限制,在能够使用的频率及磁场强度上将发生限制。例如,在用下式所示的 Larmor 运动的半径  $r_L$  大于将等离子体封闭的容器的情况下,因电子将碰撞到容器壁而不会旋回运动,故不产生 ECR 现象。在 (5) 式中,  $v$  是在图 3 所示的电场的平面上水平方向的电子速度。

$$[0074] \quad r_L = \frac{v}{\omega_c} \quad \dots \quad (5)$$

[0075] 当然,在此情况下,就需要使所用的高频频率变高,还需要提高磁场强度以使 ECR 现象发生。但是,这一频率和磁场强度的选择是工学设计的范畴,无损于本发明所示的原理本身。

[0076] 这里,若归纳在本发明所示的 ICP 中可以进行 ECR 放电的原理上的必要充分条件就是以下 4 点。第 1 点是形成相对于在生成等离子体的空间施加的磁场 B 的磁力线方向始终进行右旋转的感应电场 E 的分布。第 2 点是针对此磁场 B 和相对于其磁力线方向进行右旋转的感应电场 E 的分布,施加满足  $E \times B \neq 0$  的磁场 B。第 3 点是使进行旋转的感应电场 E 的旋转频率  $f$  和基于磁场 B 的电子回旋频率  $\omega_c$  相一致。第 4 点是如果从进行电子回旋运动的电子的一周期来看,磁场 B 的变化充分小、被视为静磁场。虽然满足以上 4 点的实施例是图 1,但即便对图 1 的实施例进行变形只要满足上述必要充分条件则进行任意变形都可以在 ICP 中进行 ECR 放电。也就是说,必须注意到无论使图 1 的装置构成如何进行变形,只要满足上述必要充分条件就成为本发明的一实施例。其变形只是工学上的设计问题,并非变更本发明所示的物理性原理。以下,就图 1 的变形例简单地进行归纳。

[0077] 在图 1 中,绝缘材料 12 为平板状,并在其上构成有高频感应天线 7。这一构成意味着能够在欲生成等离子体的空间、也就是被绝缘材料 12 和被处理体 W 所夹着的空间,形成相对于磁场 B 的磁力线方向始终进行右旋转的感应电场 E 的分布。这就是上述必要充分条件的第 1 点内容。从而,无论是绝缘体 12 为平板状还是高频感应天线 7 构成在绝缘体 12 之上,对本发明而言都不是必须的构成。例如,绝缘体 12 还可以是梯形状或球体的钟形罩,只要能够在被钟形罩和被处理体 W 所夹着的空间实现上述必要充分条件的第 1 点内容,则高频感应天线相对于钟形罩处于怎样的位置都无妨。这一点在圆柱状的绝缘体 12 的横向构成高频感应天线 7 也同样如此,只要能够在被圆柱状的绝缘体 12 和被处理体 W 所夹着的空间实现上述必要充分条件的第 1 点内容就是本发明的一实施例。

[0078] 在图 1(图 2)中,经过 4 分割的高频感应天线 7 被配置在一个圆周上。此“一个圆周上”之类的构成也不是用于实现上述必要充分条件的第 1 点内容的必须构成。例如,即使考虑大小二个圆周而在平板状绝缘体 12 的内周和外周,或者上下或倾斜地配置 4 分割后的高频感应天线,也能够实现上述必要充分条件的第 1 点内容。也就是说,只要能够实现上述必要充分条件的第 1 点内容,则圆周个数及它们的配置能够自由地构成。与平板状绝缘体 12 相同,在梯形状或球体的钟形罩时及圆筒形的绝缘体 12 无论是配置于内周外周还是上下或倾斜地进行配置都可以。进而,不仅是考虑二个圆周而且还可以在三个以上的圆周上分别配置分后割的天线。

[0079] 在图 1(图 2)中,4 分割后的圆弧状的高频感应天线 7 被配置在一个圆周上。此

“4 分割”之类的构成也不是用于实现上述必要充分条件的第 1 点内容的必须构成。高频感应天线的分割数考虑满足  $n \geq 2$  的整数  $n$  即可。还能够使用  $n$  根圆弧状天线而构成一个圆周的高频感应天线 7。进而,在图 1 中,表示通过高频流动的电流的相位控制而形成相对于磁力线方向进行右旋转的感应电场  $E$  这一方法,这在  $n \geq 3$  下能够可靠地形成。在  $n = 2$  时为特殊,例如使用 2 个半圆状的天线来形成一个圆周,意味着分别赋予  $(360^\circ)/(2 \text{ 个天线}) = (180^\circ)$  的相位差而流过电流。在此情况下,仅仅只是流过电流,感应电场  $E$  就既能够右旋转又能够左旋转,可看作不满足上述必要充分条件的第 1 点内容。但是,若施加满足本发明的必要充分条件的磁场,则因电子通过 Larmor 运动而自发地进行右旋转,故感应电场  $E$  结果也进行右旋转。从而,本发明中的高频感应天线的分割数如上述那样考虑满足  $n \geq 2$  的整数  $n$  即可。

[0080] 在图 1(图 2) 中,4 分割后的圆弧状的高频感应天线 7 被配置在一个圆周上。此“圆周上的配置”也不是用于实现上述必要充分条件的第 1 点内容的必须构成。例如,即使配置成使用了直线状的 4 根天线的矩形,也能够实现上述必要充分条件的第 1 点内容。当然,还能够使用满足  $n \geq 2$  的  $n$  根直线状天线而构成  $n$  角形(在  $n = 2$  时分离某程度距离使其相对即可)的高频感应天线 7。

#### [0081] 实施例 2

[0082] 在图 1(图 2) 中,4 分割后的圆弧状的高频感应天线的馈电端 A 和接地端 B 在一个圆周上以 ABABABAB 这样点对称的方式进行配置。此“馈电端和接地端以点对称的方式进行配置”也不是用于实现上述必要充分条件的第 1 点内容的必须构成。馈电端 A 和接地端 B 能够自由地进行配置。在图 6 中表示与图 2 相对应的这一实施例。在图 6 中,作为一例使高频感应天线要素 7-1 的馈电端 A 和接地端 B 的位置进行倒置,以使高频电流  $I_1$  的方向进行逆转。但是,在此情况下,通过使高频感应天线要素 7-1 上流过的高频电流  $I_1$  的相位从图 2 所示的相位进行逆转(例如使其延迟  $3\lambda/2$ ),就能够产生图 5 所示的进行旋转的感应电场  $E$ 。根据这一情况可知,使馈电端 A 和接地端 B 的位置进行倒置就等于使相位进行逆转:也就是使其延迟  $\lambda/2$ 。

[0083] 利用这一点就能够使图 2 的构成进一步简化,在图 7 中表示这一点。图 7 的构成是利用在图 2 中  $I_1$  与  $I_3$ 、 $I_2$  与  $I_4$  分别进行  $\lambda/2$  延迟也就是进行逆转这一点,就是在  $I_1$  与  $I_3$ 、 $I_2$  与  $I_4$  中分别流过同相电流但使  $I_3$  与  $I_4$  的馈电端 A 和接地端 B 进行逆转这一构成。而且在  $I_1$  与  $I_3$ 、 $I_2$  与  $I_4$  之间加入  $\lambda/4$  延迟 6-2,所以能够形成与图 2 相同的进行旋转的感应电场  $E$ (图 5 所示的)。如以上那样,将高频感应天线的构成和相位控制组合起来就制作出许多更改。但是,这些更改只不过是工学上的设计而已,在构成为满足上述必要充分条件第 1 点内容的情况下,全都是本发明的一实施例。

#### [0084] 实施例 3

[0085] 在图 1 中,在处于电源输出部的匹配器和高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4 之间设置有相位延迟电路。此“在匹配器和高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4 之间设置有相位延迟电路”也不是用于实现上述必要充分条件的第 1 点内容的必须构成。为了满足上述必要充分条件的第 1 点内容,只是在高频感应天线上流过电流以形成图 5 所示的进行旋转的感应电场  $E$ 。这里,虽然与图 2 相同地形成图 5 所示的进行旋转的感应电场  $E$ ,但在图 8 中表示不同构成的实施例。图 8 的构成是通过与高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4 相同数量的高频电源 51-1 ~

51-4,在高频感应天线要素 7-1 ~ 7-4 上流过电流,但在一个发射器 54 的输出上分别经由无延迟部件以及  $\lambda/4$  延迟部件 6-2 以及  $\lambda/2$  延迟部件 6-3 和  $3\lambda/4$  延迟部件 6-4 连接高频电源 51-1 ~ 51-4、匹配器 52-1 ~ 52-4,以分别进行必要的相位延迟。通过这样增加高频电源 51,虽然匹配电路 53 会增加却能够减小高频电源单体的电力量,就可以提升高频电源的可靠性。另外,通过对各天线上供给的电力进行微调,就能够控制圆周方向的等离子体的均匀性。

#### [0086] 实施例 4

[0087] 这种电源构成和高频感应天线构成的更改并不限于这一个。例如,若应用图 2 和图 8 所示的构成就与图 2 相同地形成图 5 所示的进行旋转的感应电场 E,却能够制作出进一步不同的构成。在图 9 中表示这一实施例。图 9 的实施例是从发射器 54 上所连接的高频电源 51-1 和经由  $\lambda/2$  延迟部件 6-3 所连接的高频电源 51-2 这二台高频电源互相对馈电点 53-1、53-2 输出  $\lambda/2$  延迟后的高频,并在这些输出和高频感应天线要素 7-2、7-4 之间进一步经由  $\lambda/4$  延迟部件 6-2 进行必要的延迟。

#### [0088] 实施例 5

[0089] 下一实施例是将图 9 和图 7 的实施例组合起来,在图 10 中对其进行表示。在图 10 中,使用与图 9 相同的发射器 54 上所连接的二台高频电源 51-1、51-2,但其相位是在发射器 54 的输出部将  $\lambda/4$  延迟部件 6-2 插入到一方高频电源 51-3 侧以使相位错开  $\lambda/4$ ,并且高频感应天线要素 7-1、7-2 与图 9 同样地设定馈电端 A 和接地端 B,而高频感应天线要素 7-3、7-4 则与图 7 同样并与高频感应天线要素 7-1、7-2 反方向地(使其逆转)设定馈电端 A 和接地端 B。若设输出的相位基准为  $I_1$  的相位,则  $I_1$  和  $I_3$  成为同相电流,但  $I_3$  的方向(馈电端 A 和接地端 B)与图 2 相比进行逆转,所以  $I_1$  和  $I_3$  形成的感应电场 E 就与图 2 相同。另外, $I_2$  和  $I_4$  与  $I_1$  相比其相位滞后  $\lambda/4$ , $I_2$  和  $I_4$  亦成为同相电流,但  $I_4$  的方向(馈电端 A 和接地端 B)与图 2 相比进行逆转,所以  $I_2$  和  $I_4$  形成的感应电场 E 就与图 2 相同。结果,虽然图 10 所示的实施例其构成与图 2 不同,但形成与图 2 相同的感应电场 E。

[0090] 亦即,此实施例的等离子处理装置具备:构成可容纳试料的真空处理室的真空容器;将处理气体导入到上述真空处理室的气体导入口;设置在上述真空处理室外的高频感应天线;在上述真空处理室内形成磁场的磁场线圈;对上述高频感应天线供给高频电流的等离子生成用高频电源;对上述磁场线圈供给电力的电源,从上述高频电源对上述高频感应天线供给高频电流,使被供给到真空处理室内的气体等离子体化并对试料进行等离子处理,在所述等离子处理装置中特别将上述高频感应天线分割成  $m$ ( $m$  为正的偶数)个高频感应天线要素,将经过分割的各个高频感应天线要素呈纵列排列在圆周上,在呈纵列所配置的上述高频感应天线要素,自  $m/2$  个各高频电源将预先逐一延迟  $\lambda$ (高频电源的波长)/ $m$  的高频电流,从第 1 个高频感应天线要素到第  $m/2$  个高频感应天线要素为止依次供给到高频感应天线要素,进而从第  $m/2+1$  个高频感应天线要素到第  $m$  个高频感应天线要素为止依次供给与该高频感应天线要素相对的从第 1 个到第  $m/2$  个高频感应天线要素相同相位的高频电流,构成该高频感应天线要素以使流经上述高频感应天线要素的电流的方向变得相反,形成沿一定方向进行旋转的电场并对试料进行等离子处理,通过如此构成而构成为相对于在上述磁场线圈上供给电力所形成的磁场的磁力线方向右旋地按顺序使其延迟进行流动,形成沿特定方向进行旋转的电场以使等离子体发生并对试料进行等离子处理。

[0091] 相据以上说明,虽然图 2、图 6、图 7、图 8、图 9、图 10 全部构成不同,但如图 5 所示那样形成相对于磁力线方向进行右旋转的相同的感应电场分布 E。全都是满足前述必要充分条件的第 1 点内容的更改。

[0092] 实施例 6

[0093] 如前所述,在高频感应天线的分割数  $n$  为  $n = 2$  的情况下,通过施加满足前述必要充分条件的第 2 点内容的磁场 B,高频感应天线形成的感应电场 E 相对于磁力线的方向进行右旋转。在此实施例中,在两个高频感应天线要素上馈电错开  $\lambda/2$  相位的高频。图 11 中表示此实施例的基本构成。在图 11 的构成中,天线要素 7-1 的馈电端 A 和接地端 B、天线要素 7-2 的馈电端 A 和接地端 B 以 ABAB 呈点对称沿圆周方向进行排列而构成,并且发射器 54 的二个输出其一方经由高频电源 51-1 以及匹配器 52-1 连接到高频感应天线要素 7-1 的馈电端 A 的馈电点 53-1,另一方则经由  $\lambda/2$  延迟部件 6-3 和高频电源 51-2 以及匹配器 52-2 连接到高频感应天线要素 7-2 的馈电端 A 的馈电点 53-2。

[0094] 从而,如图 11 中所描绘那样,各高频感应天线要素的电流方向就是  $I_1$  和  $I_2$  用箭头所示的方向。然而,由于在各高频感应天线的要素 7-1 和 7-2 上流过相位发生逆转的(错开  $\lambda/2$  相位)电流,所以结果在各高频感应天线要素 7-1、7-2 上流过的高频电流就相对于图面,每相位的半周期成为向上或者向下中的某个。从而,图 11 中形成的感应电场 E 就与图 5 相同具有两个峰值。仅仅这样,被感应电场 E 所驱动的电子就既可以右旋转又可以左旋转。但是,若对其施加满足上述必要充分条件的磁场 B(从纸面的表面朝向里面的磁力线的磁场),则右旋的电子通过 ECR 现象以共振方式接受高频能量而高效率地产生雪崩性电离,左旋的电子因没有以共振方式接受高频能量故电离效率变差。结果,等离子体的发生就通过右旋的电子而主体性地进行,高效率地接受高频能量被加速至高速度的电子就剩余下来。此时,在等离子体之中流过的电流成分是低速的左旋电子和高速的右旋电子为主成分,当然,达到高速的右旋电子所引起的电流为支配性的,如根据(1)式以及(2)式可知那样感应电场 E 右旋转。这一情况,与在使用了  $\mu$  波或 UHF、VHF 的以往的 ECR 等离子体源中,即便不特别地使电场沿特定方向进行旋转也会发生 ECR 放电相同。

[0095] 实施例 7

[0096] 若对图 11 加入图 6(或者图 7、图 10)的效果,就能够如图 12 那样以简单的构成引起 ECR 现象。在图 12 中,不供给使相位发生逆转的高频而是对各个高频感应天线要素供给同相的高频,但通过使各个高频感应天线要素的馈电端 A 和接地端 B 相同而使电流的方向发生逆转,故能够获得与图 11 相同的效果。其中,在高频感应天线的分割数  $n$  为  $n = 2$  的情况下,存在两个高频感应天线要素上流过的电流同时变成零的情况,故例外地存在感应电场 E 为  $E = 0$  的瞬间。在高频感应天线的分割数  $n$  为  $n \geq 3$  的情况下,如创建与各个情况相应的与图 3 相同的图即可明白那样,因始终在两个以上的高频感应天线要素流过电流,故不存在感应电场 E 为  $E = 0$  的瞬间。

[0097] 在图 1 中,作为磁场的构成要件表示两个电磁铁即上线圈 81 和下线圈 82 以及磁轭 83。但是,对本发明而言必须的只是实现满足上述必要充分条件的磁场而已,磁轭 83 和二一个电磁铁都不是必须的构成。例如还可以只是上线圈 81(或者下线圈 82),只要使其满足上述必要充分条件即可。作为磁场的发生部件,无论电磁铁还是固定磁铁都可以,进而,还可以是电磁铁和固定磁铁的组合。



[0098] 在图 1 中表示法拉第屏蔽 9。此法拉第屏蔽本来具有抑制放射高频的天线和等离子体之间的电容耦合这一功能,故在电容耦合型的 ECR 等离子体源中无法使用。在本发明中,能够与通常的 ICP 同样使用法拉第屏蔽。但是,对本发明而言“法拉第屏蔽”不是必须的构成。这是因为与上述必要充分条件没有关系。其中,与通常的 ICP 同样,法拉第屏蔽在产业的利用上有效果。这是因为法拉第屏蔽对从天线所放射的感应磁场 H(亦即感应电场 E)几乎不带来影响,具有遮断天线和等离子体的电容耦合这一作用。为了使此遮断变得更加完全,法拉第屏蔽应当被接地。通常在 ICP 中,若遮断上述电容耦合则等离子体的着火性进一步变差。但是,在本发明中,因利用在电感耦合中产生的感应电场 E 所引起的高效率 ECR 加热,故即便将上述电容耦合完全遮断也可获得良好的着火性。但是,根据各种理由,还可以在此法拉第屏蔽上连接电气回路,将法拉第屏蔽上发生的高频电压控制成 0V 或者 0V 以上。

[0099] 在图 1 中除迄今为止所述的构成要素以外还表示有气体导入口 3、闸阀 21、晶片偏压(偏压电源 41 以及匹配器 42),但因它们与上述必要充分条件没有关系,故对本发明而言不是必须的构成。虽然需要气体导入口以生成等离子体,但其位置既可以处于真空容器 11 的壁面,也可以处于搭载晶片 W 的电极 14。另外,气体的喷出方式既可以呈面状进行喷出,也可以呈点状进行喷出。闸阀 21 在产业上的利用中,只是以搬送晶片为目的表示其构成而已。进而,在产业上的等离子处理装置的利用中未必需要晶片偏压(偏压电源 41 以及匹配器 42),在本发明的产业上的利用之际并非必须。

[0100] 在本发明中,由高频感应天线所形成的感应电场 E 相对于磁场的磁力线方向进行右旋转。旋转面的形状取决于高频感应天线的构造,为圆形或椭圆形等。从而,旋转的中心轴必定存在。在产业上的应用中,除这种中心轴存在以外,还有磁场 B、被处理体(圆形的晶片或矩形的玻璃基底等)、真空容器、气体喷出口、搭载被处理体的电极及真空排气口等。对本发明而言,完全不需要它们的中心轴一致,并非必须的构成要件。这是因为与上述必要充分条件没有关系。但是,在被处理体表面的处理均匀性(蚀刻速度及熔数速度、或者形状等)成问题的情况下,希望它们的中心轴一致。

[0101] 如以上那样,根据本发明,因始终在处理室内形成驱动电流的高频感应磁场,故提高等离子体的着火性能,获得高密度的等离子体。另外,根据本发明,能够控制高频感应天线的长度,怎样的大口径化的要求都能够对应,另外,还能够提高圆周方向的等离子体均匀性。

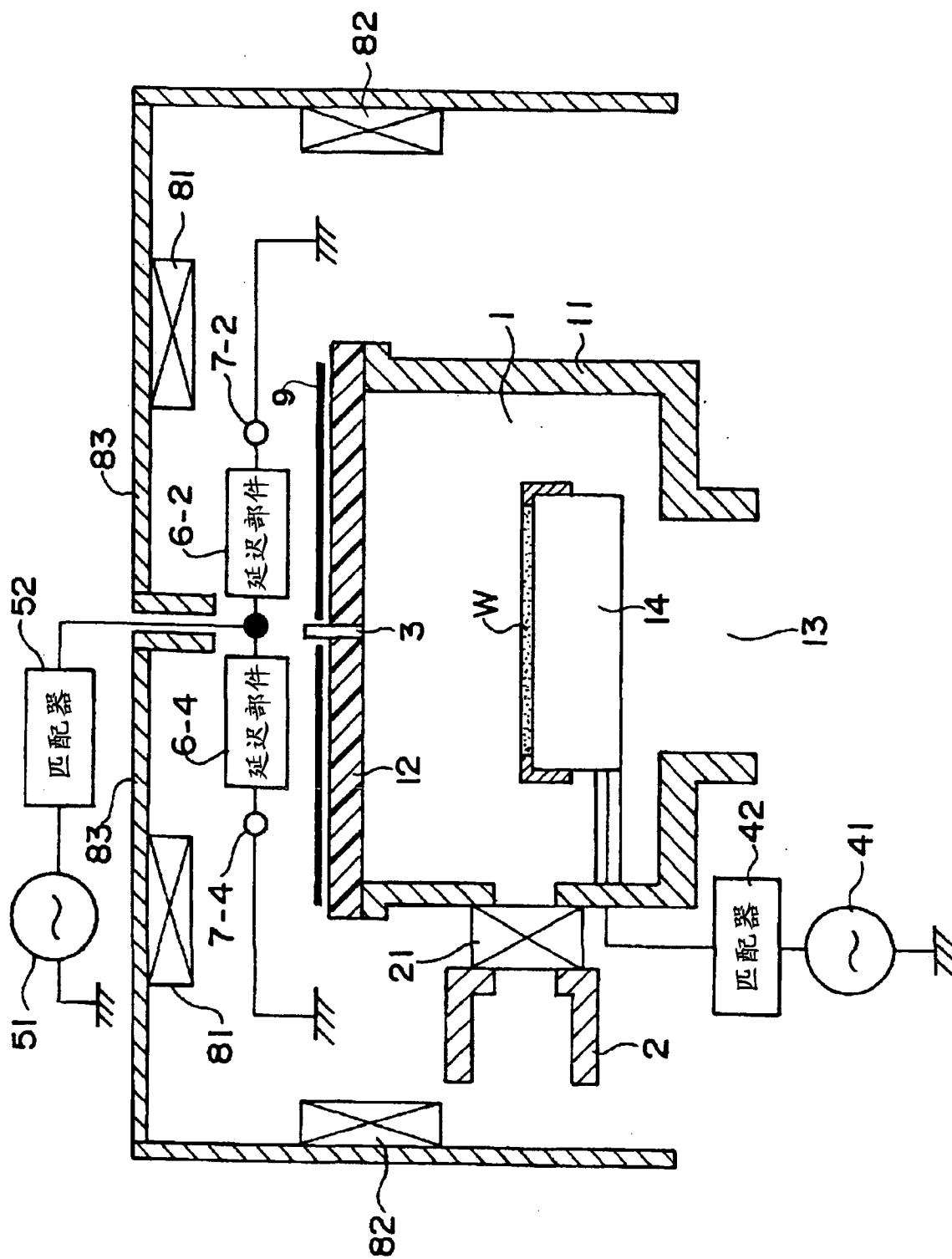


图 1

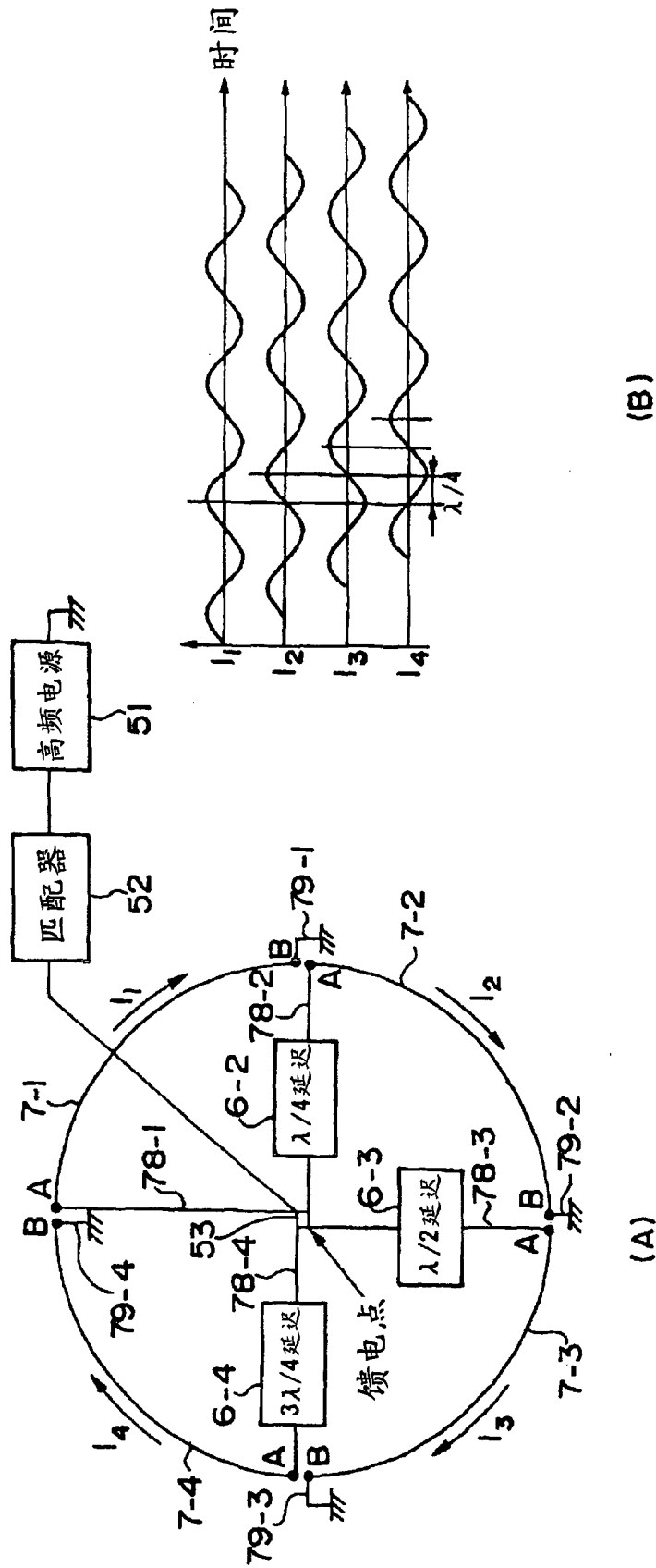


图 2

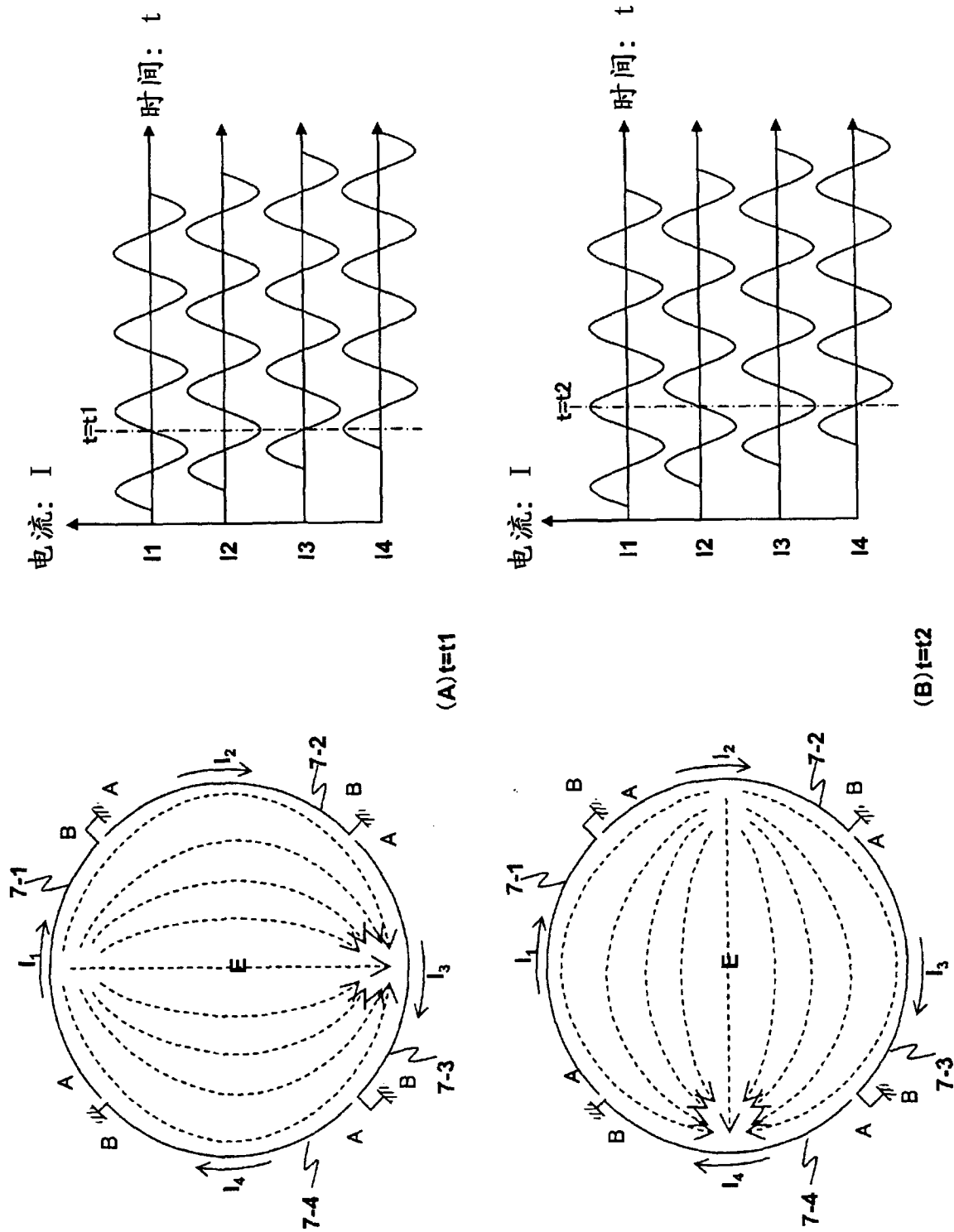


图 3

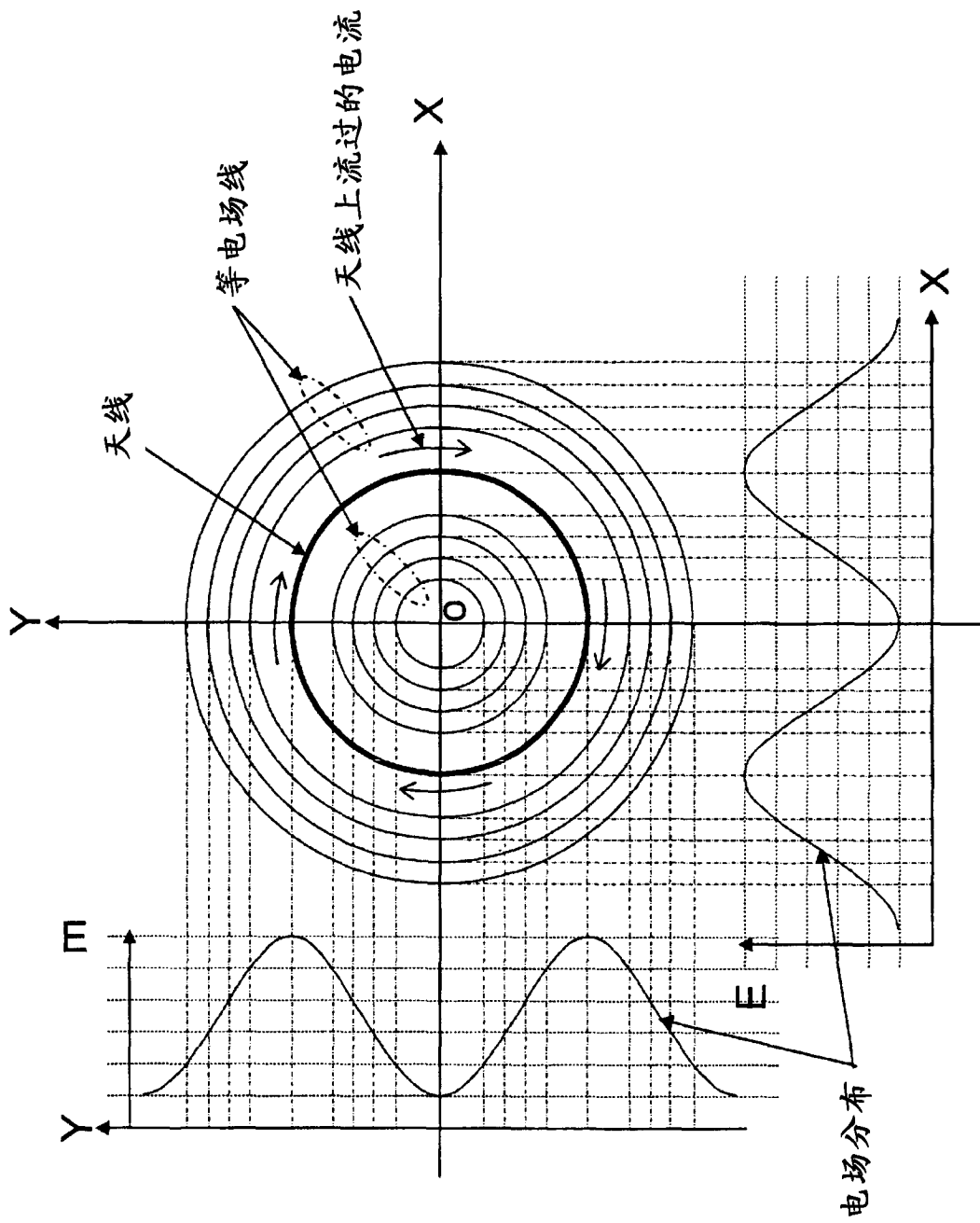


图 4

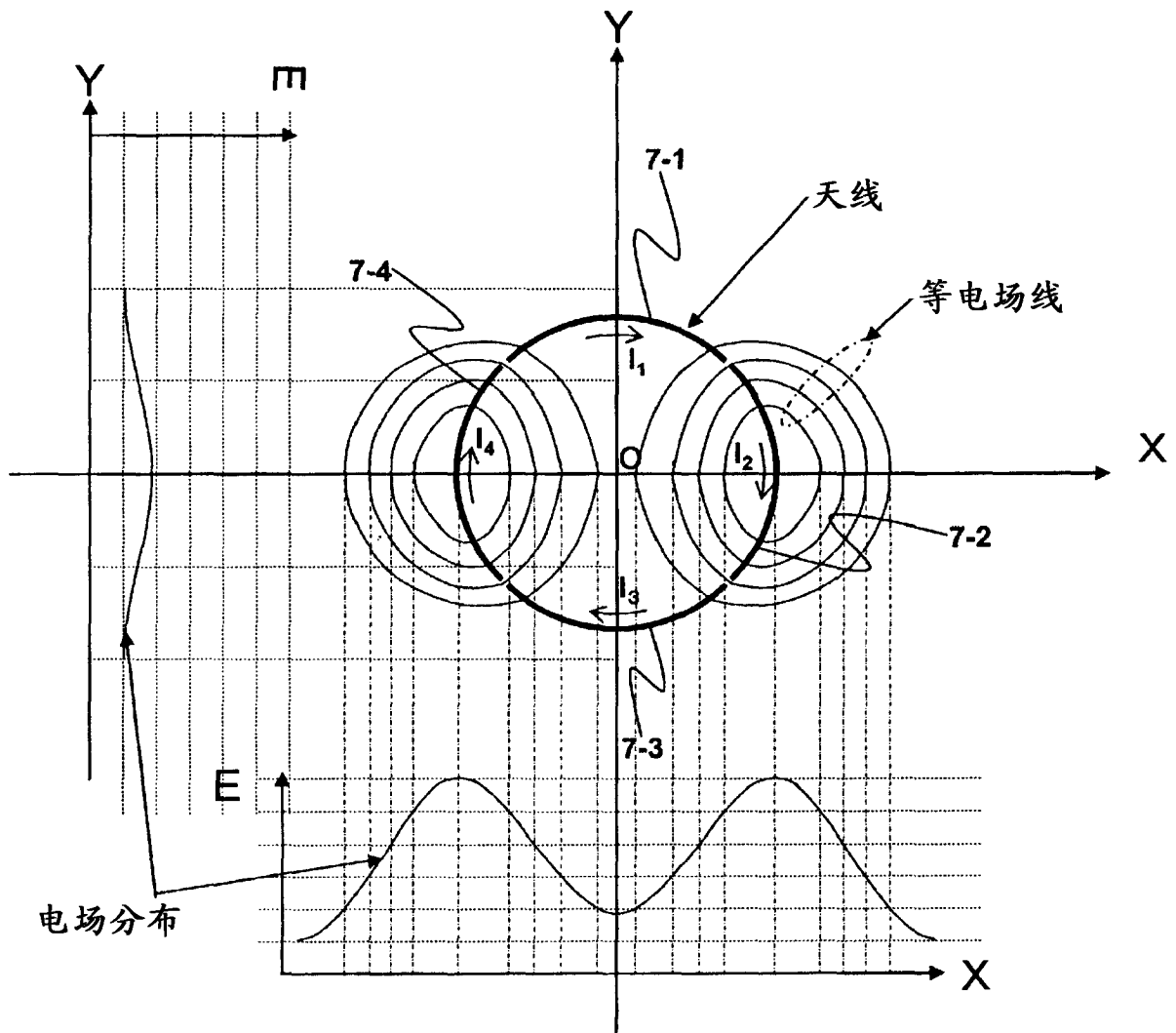


图 5

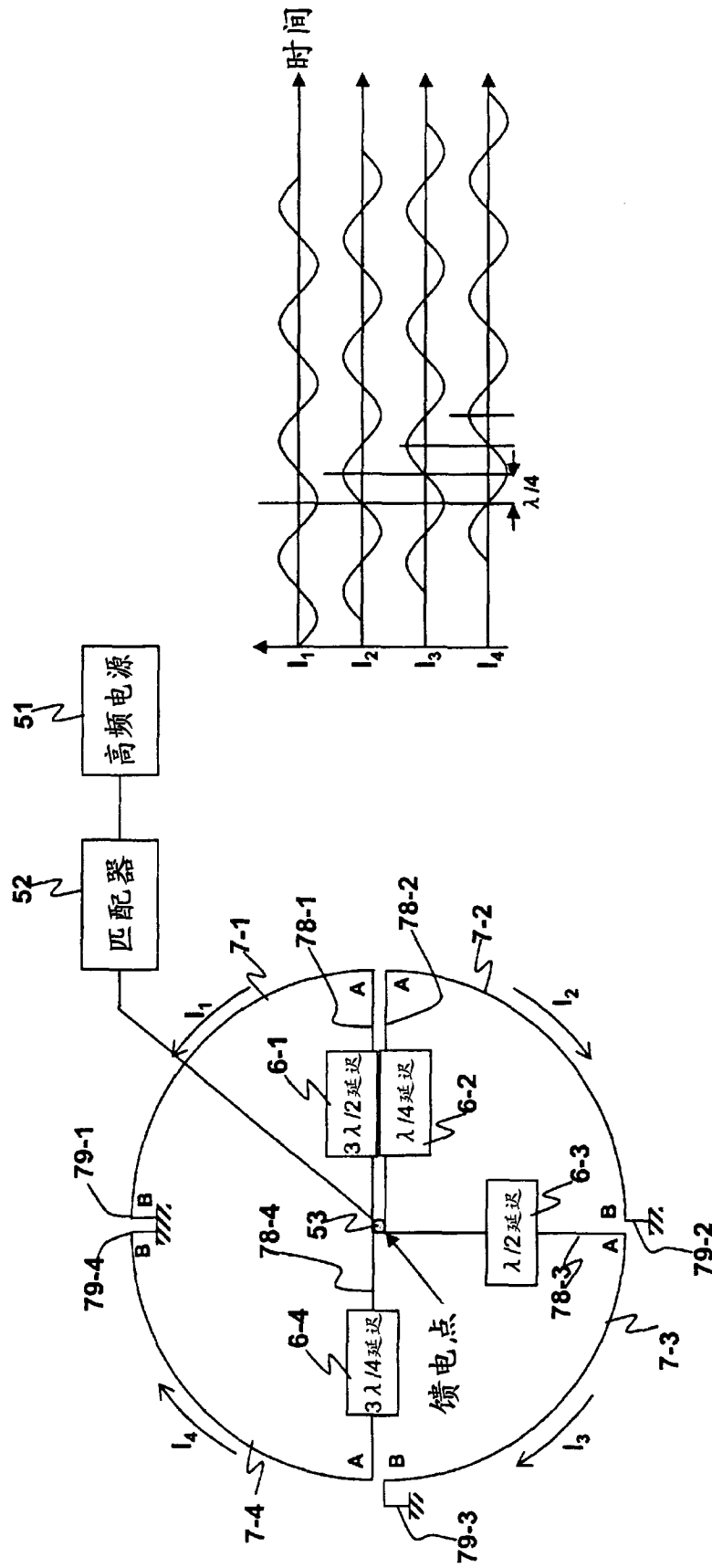


图 6

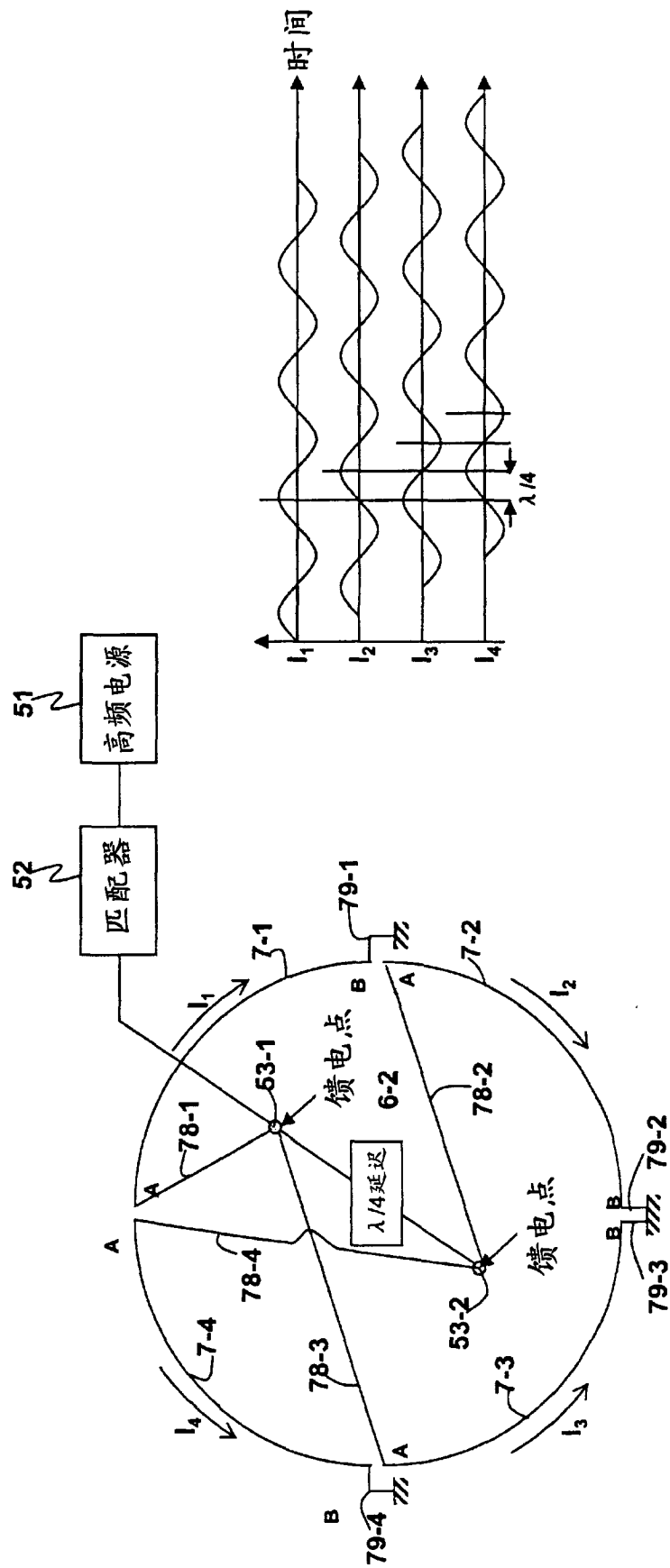


图 7



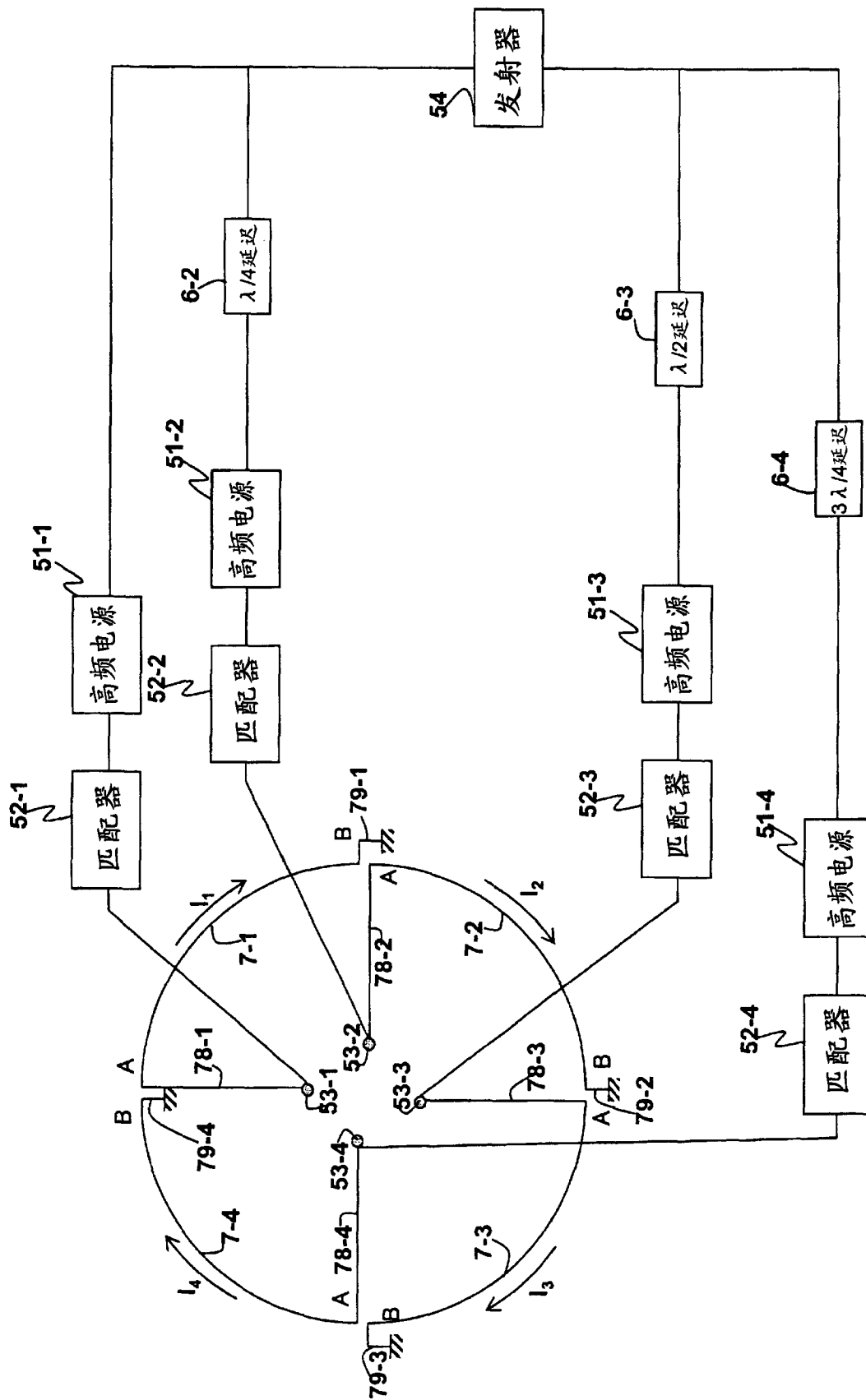


图 8

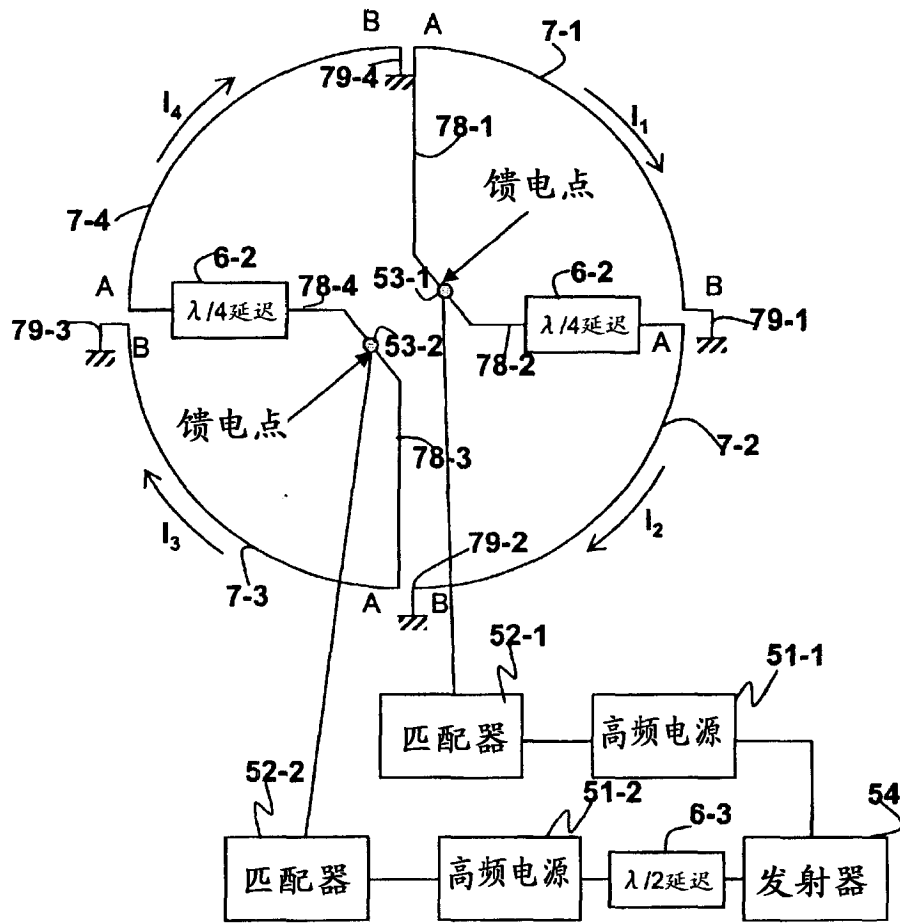


图 9

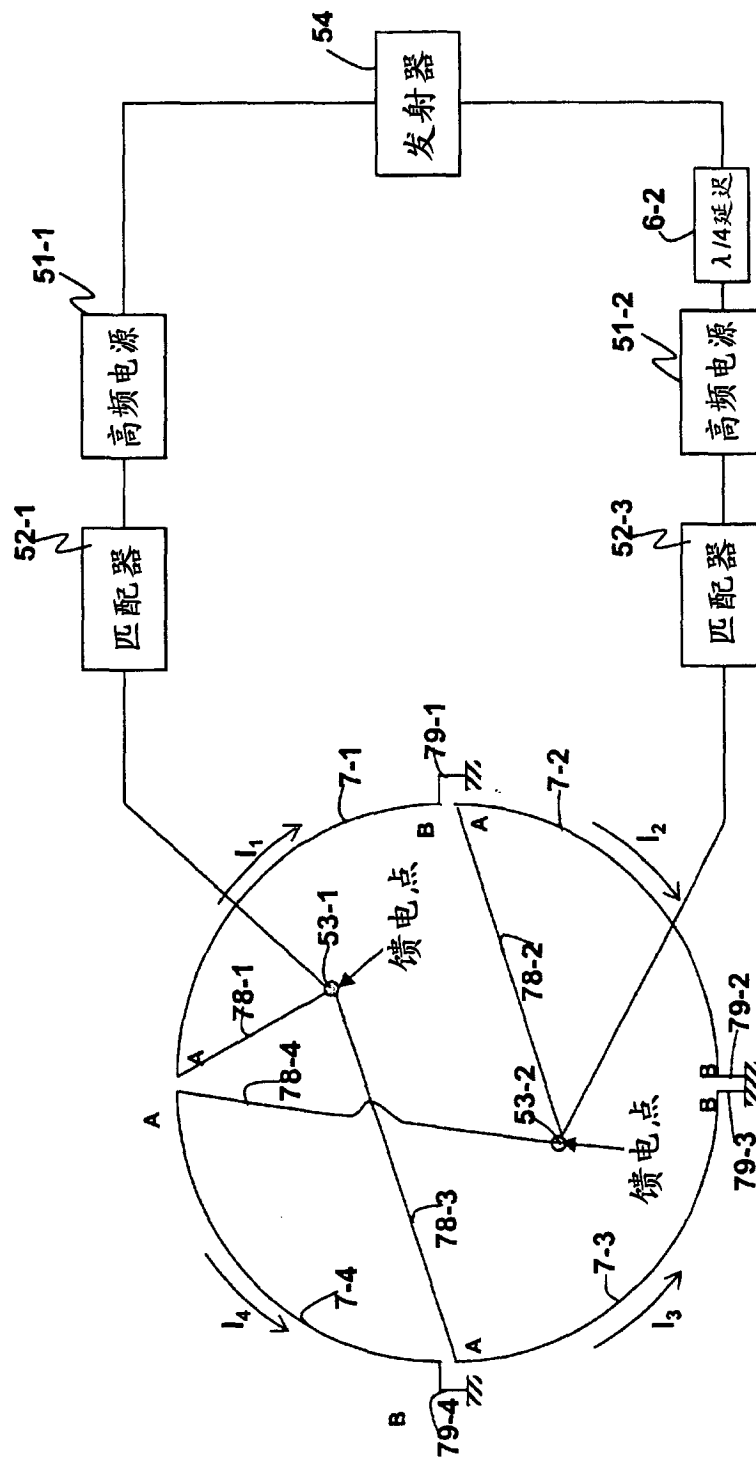


图 10

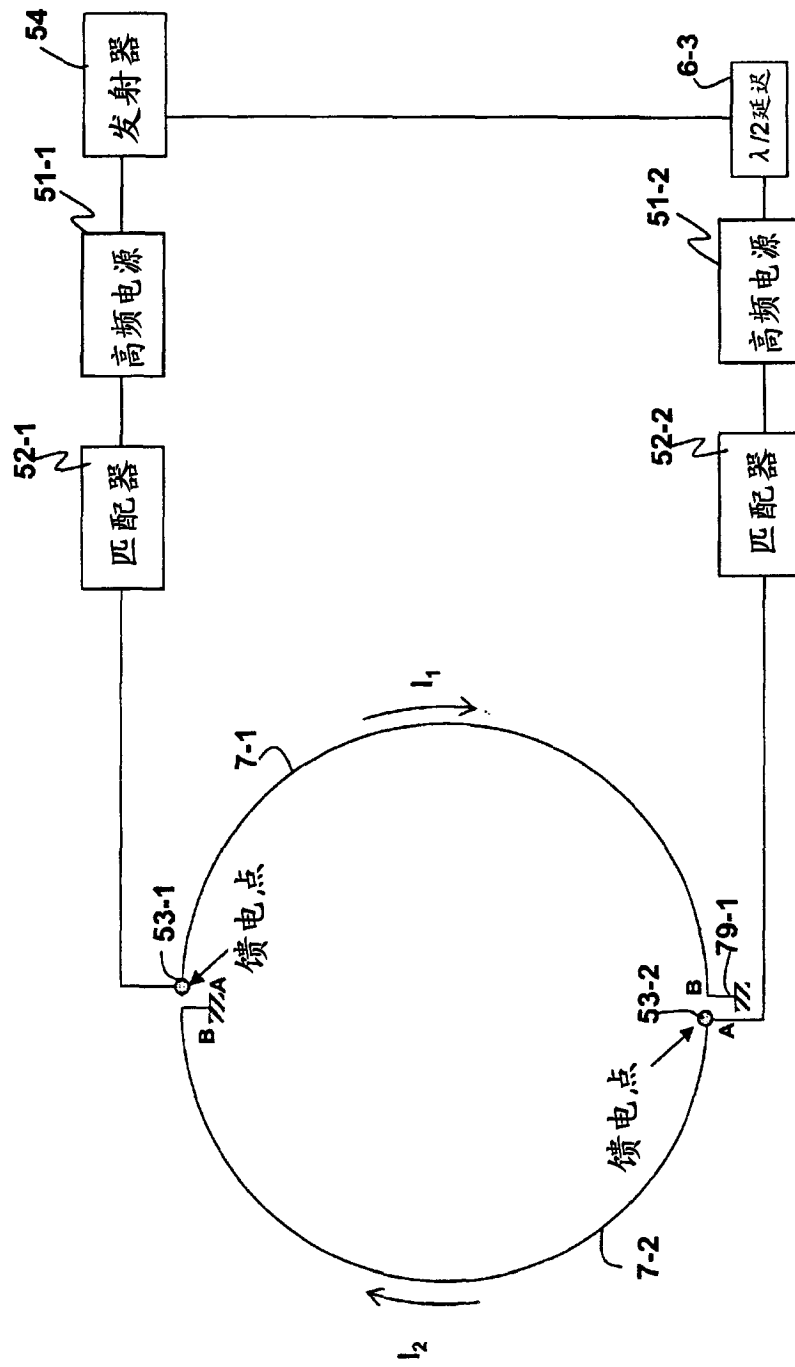


图 11

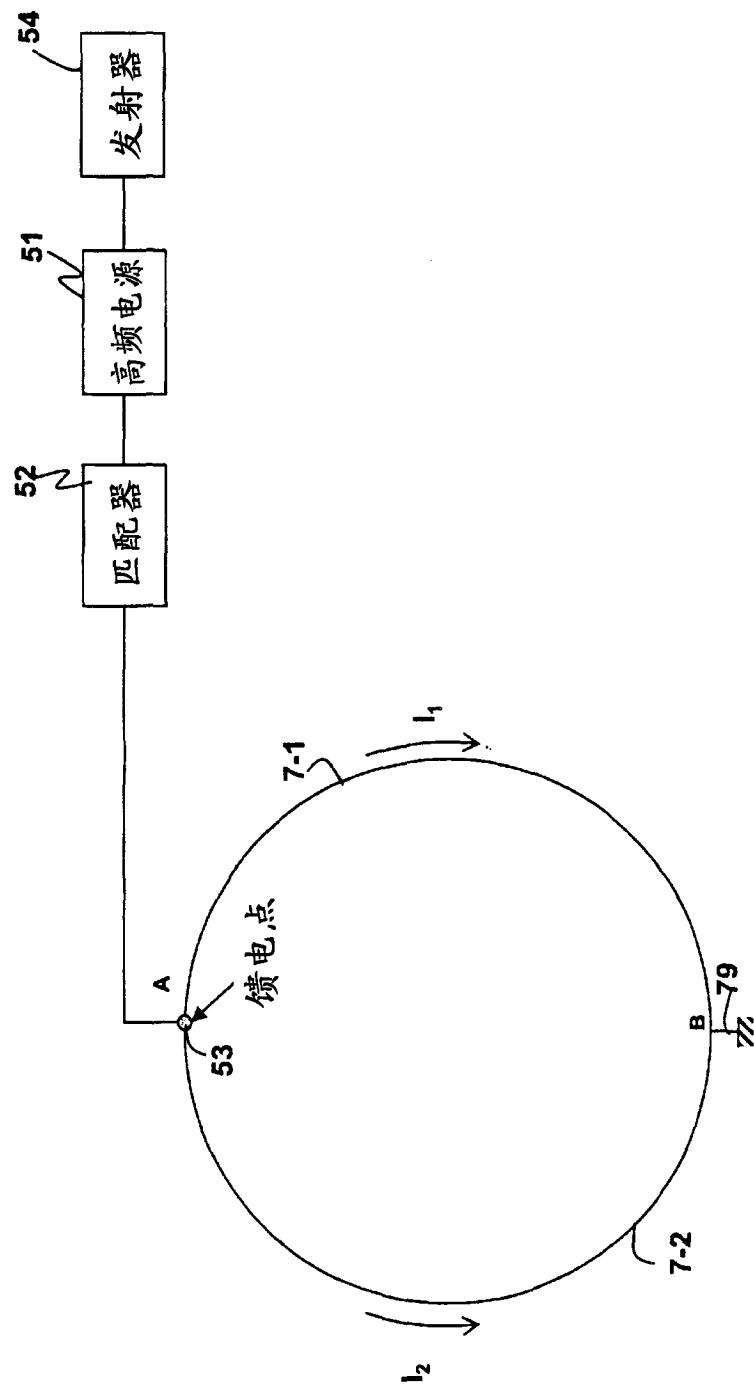


图 12