



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104885186 B

(45)授权公告日 2017.03.08

(21)申请号 201380049073.3

(22)申请日 2013.08.08

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104885186 A

(43)申请公布日 2015.09.02

(30)优先权数据
61/682,356 2012.08.13 US
13/961,060 2013.08.07 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.03.20

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/054056 2013.08.08

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/028290 EN 2014.02.20

(73)专利权人 瓦里安半导体设备公司
地址 美国麻萨诸塞州格洛斯特郡都利路35号

(72)发明人 科斯特尔·拜洛
约瑟·C·欧尔森

艾德沃·W·比尔
玛尼·斯尔达斯奇

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205
代理人 马雯雯 臧建明

(51)Int.Cl.
H01J 37/08(2006.01)
H01J 37/317(2006.01)

(56)对比文件
EP 0756309 A1,1997.01.29,说明书第3页第35行-第5页第57行,第8页第10-22行,附图1,4a.

CN 102449739 A,2012.05.09,全文.
JP 特开2001-42099 A,2001.02.16,全文.
US 2010/0066252 A1,2010.03.18,全文.
Park, et al..An Array of Inductively Coupled Plasma Sources for Large Area Plasma.《Thin Solid Films》.1999,第355-356卷

审查员 孙金岭

权利要求书2页 说明书7页 附图4页

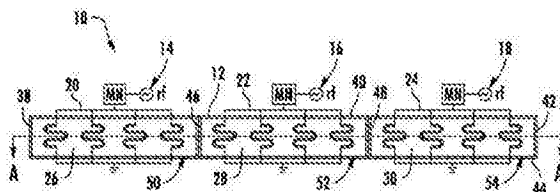
(54)发明名称

宽离子束用的具多天线电感性耦合等离子体离子源

(57)摘要

一种宽离子束源(10)包括多个射频窗(26, 18, 30),以预设关系布置;单一等离子体腔体(12),配置在多个射频窗的第一侧;多个射频天线(20,22,24),每一多个射频天线配置在各别的每一多个射频窗的第二侧,而且第二侧相对于第一侧;以及多个射频源(14,16,18),每一多个射频源耦接于各别的每一多个射频天线,其中藉由耦接于第一射频天线的第一射频源产生的第一射频信号及藉由耦接于与第一射频天线相邻的一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号之间的频率差异大于10千赫兹。本发明提供的射频离子源,能促进多重、空间重叠等离子体的运

转,以产生特别宽的离子束,且不需持续的监控与调整射频信号相位。



CN 104885186 B

1. 一种宽离子束源,包括:
多个射频窗,其以预设关系布置;
单一等离子体腔体,配置在所述多个射频窗的第一侧;
面板,密封所述单一等离子体腔体的相对所述多个射频窗的底端,所述面板具有提取开口,通过紧邻于所述面板的提取电极从所述单一等离子体腔体提取离子束;
多个射频天线,每一所述多个射频天线配置在各别的每一所述多个射频窗的第二侧,且所述第二侧与所述第一侧相对;以及
多个射频源,每一所述多个射频源耦接于各别的每一所述多个射频天线,其中藉由耦接于第一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号及藉由耦接于与所述第一射频天线相邻的一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号之间的频率差异大于10千赫兹。
2. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中所述频率差异小于100千赫兹。
3. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中所述第一射频源产生的所述第一射频信号的频率与所述第二射频源产生的所述第二射频信号的频率相差至少0.5%且少于1.0%。
4. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中所述多个射频窗的端对端尺寸为至少2米。
5. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中所述多个射频源彼此各别独立运作。
6. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中每一所述多个射频源还包括各自的匹配网络与射频电压平衡电容。
7. 根据权利要求6所述的宽离子束源,其中所述各别的匹配网络是以其各别的射频源频率作校准。
8. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中所述多个射频窗的所述预设关系包括共面关系。
9. 根据权利要求1所述的宽离子束源,其中多个射频源包括:
所述第一射频源,经组态以产生所述第一射频信号于13.46兆赫兹频率;
所述第二射频源,经组态以产生第二射频信号于13.56兆赫兹频率;以及
第三射频源,经组态以产生第三射频信号于13.66兆赫兹频率。
10. 根据权利要求1所述的宽离子束源,
其中所述提取开口经组态以从所述单一等离子体腔体中提取离子,
其中所述宽离子束源经组态以从所述提取开口提取离子后产生均匀度为8%或小于8%的所述离子束。
11. 一种产生宽离子束源的系统,包括:
多个射频窗,其以预设关系布置;
单一等离子体腔体,配置在所述多个射频窗的第一侧;
面板,密封所述单一等离子体腔体的相对所述多个射频窗的底端,所述面板具有提取开口,通过紧邻于所述面板的提取电极从所述单一等离子体腔体提取离子束;
多个射频天线,其中每一所述多个射频天线配置在各别的每一所述多个射频窗的第二侧,且所述第二侧相对于所述第一侧;以及
多个射频源,每一所述多个射频源经组态以运转于13.56兆赫兹,变异差在2%以内的频率,其中每一所述多个射频源耦接于各别的每一所述多个射频天线,其中藉由耦接于第一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号及耦接于与所述第一射频天线相邻的一射

频天线的第二射频源产生的第二射频信号之间的频率差异大于10千赫兹。

12. 根据权利要求11所述的产生宽离子束源的系统,其中所述第一射频源产生的所述第一射频信号的频率与所述第二射频源产生的所述第二射频信号的频率相差至少0.5%且少于1.0%。

13. 根据权利要求11所述的产生宽离子束源的系统,其中所述多个射频源彼此各自独立运作。

14. 根据权利要求11所述的产生宽离子束源的系统,包括至少三个射频窗与至少三个射频天线,每一射频天线耦接于各别的一个射频窗,以及至少三个射频源,每一射频源耦接于各别的一个射频天线。

宽离子束用的具多天线电感性耦合等离子体离子源

[0001] 相关申请案

[0002] 本申请主张于2012年8月13日申请的美国暂时案专利申请案第61/682,356号的优先权,并将该案中所揭示内容纳入此申请中的全部参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及半导体元件制备的领域,特别是,涉及具有多个天线的离子源,用以产生宽离子束。

背景技术

[0004] 离子布植是一种用来掺杂离子进入工件或靶材的方法。大型的离子布植应用像是将离子植入大面积平板需要相当宽(例如2~6米宽)的带状离子束。除了必须配备所需的高密度等离子体用以维持高离子束流外,等离子体源使用于大型应用时,目标在于提供十分良好的等离子体均匀度(1~2%)于延伸长度上。对于气态前驱物来说,电感性耦合等离子体(inductively coupled plasma, ICP)源已被证明是一个适合用于产生带状宽离子束的解决方法。举例而言,射频(radio frequency, RF)电感性耦合等离子体源提供了适当的高离子束流(大约1mA/Boron)以及相对良好的等离子体均匀度(大于700毫米(mm)时变异差小于2%)。然而,由于射频天线(antenna)与介电(dielectric)射频窗长度的物理限制,不可能以单一射频天线来进一步扩展离子束宽度,举例而言,长天线具有高天线阻抗,在一般的射频频率下,需要具有非物理性调校及负荷电容值的匹配装置。

[0005] 此外,由于驻波效应可能发展于天线回路间,因此天线长度会被设计成不超过射频电磁波长的四分之一,而造成整体天线在长度上的限制。由于上述的考量,对于13.56兆赫兹(MHz)的运转频率而言,最大的天线长度(由加总所有天线回圈的长度取得)大约为5米。

[0006] 除此之外,用来让射频功率传输穿过并提供等离子体腔体真空密封的介电窗在尺寸上亦有限制,因为当介电窗尺寸变大时,其厚度也必须跟着变厚。举例而言,为了在摄氏(Celsius)250~300度的热应力(thermal stress)下承受一大气压力,长1米高15公分的窗户,若以石英(quartz)制作,需要大约15毫米的厚度,而若以氧化铝(alumina)制作,则需要大约10毫米的厚度。然而,厚介电窗提供不良的射频功率耦合并伴随对等离子体密度产生减损影响。

发明内容

[0007] 基于上述,本发明基于射频等离子体的新式宽离子束源。

[0008] 在本发明的一示范实施例中,宽离子束源包括多个射频窗,以预设关系布置。单一等离子体腔体配置在多个射频窗的第一侧。多个射频天线,每一多个射频天线配置在各别的每一多个射频窗的第二侧,且第二侧与第一侧相对。宽离子束源还包括多个射频源,每一多个射频源耦接于各别的每一多个射频天线,其中藉由耦接于第一射频天线的每一射频源

产生的第一射频信号及藉由耦接于与第一射频天线相邻的一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号之间的频率差异大于10千赫兹(kHz)。

[0009] 在另一实施例中,一种用以产生宽离子束源的方法包括:以预设关系布置多个射频窗相邻于单一等离子体腔体,且单一等离子体腔体沿多个射频窗的第一侧配置;将每一多个射频天线配置在各别的每一多个射频窗的第二侧,且第二侧相对于第一侧;以及耦接每一多个射频源于各别的每一多个射频天线,其中藉由耦接于第一射频天线的第一射频源产生的第一射频信号及藉由耦接于与第一射频天线相邻的一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号之间的频率差异大于10千赫兹。

[0010] 在又一实施例中,一种用以产生宽离子束的系统包括:

[0011] 多个射频窗,以预设关系布置;单一等离子体腔体,配置在多个射频窗的第一侧;多个射频天线,其中每一多个射频天线配置在各别的每一多个射频窗的第二侧,且第二侧相对于第一侧。系统还包括多个射频源,每一多个射频源经组态以于13.56兆赫兹且变异在2%之间的频率运转,其中每一多个射频源耦接于各别的每一多个射频天线,其中藉由耦接于第一射频天线的第一射频源产生的第一射频信号及藉由耦接于与第一射频天线相邻的一射频天线的第二射频源产生的第二射频信号之间的频率差异大于10千赫兹。

附图说明

[0012] 通过举例的方式,所揭示装置的特定实施例将被说明,并以所伴随附图作为参考,其中:

[0013] 图1为说明根据本发明一实施例的离子源俯视图。

[0014] 图2为图1的离子源沿图1的A-A'线的剖面图。

[0015] 图3为说明根据本发明另一实施例的替代离子源俯视图。

[0016] 图4A为波形图,说明计算调变效应用于两个运转频率相差5赫兹的13.56兆赫兹波。

[0017] 图4B说明一具有两个设定于相同运转频率射频源的离子源其量测束流剖面曲线图。

[0018] 图4C为波型图,说明计算调变效应用于两个运转频率相差100千赫兹的13.56兆赫兹波,图示于100毫秒。

[0019] 图4D为波型图说明计算调变效应用于两个运转频率相差100千赫兹的13.56兆赫兹波,图示于接近10毫秒。

[0020] 图5为说明一具有三个设定于不同运转频率射频源的离子源其量测束流剖面曲线图。

具体实施方式

[0021] 以下伴随附图作为参考,对根据本说明书的装置作更完整的叙述,其中所示为本发明的较佳实施例。然而,本装置可以多种不同形式实施,不应限定解释为此处所阐述的实施例。比较合理的解释是,提供这些实施例以使本说明书更加详尽且完整,并且可完全地传达本装置所欲涵盖的范围给本领域的技术人员。在图中,用相同的编号代表相同或相似的元件。

[0022] 本发明提出的实施例是有关于使用射频等离子体提供宽离子源的装置与方法。在不同的实施例中,宽离子源被揭示用以促进多重或空间重叠等离子体的运作以产生特别宽的离子束,且不需要持续不断的监控与调整射频相位。

[0023] 参考图1与图2,在一实施例中射频等离子体离子源10(以下皆称“射频离子源10”)根据本发明提出的揭示内容,射频离子源10可包括单一等离子体腔体12,多个射频源14、16与18(每一射频源包括射频产生器“rf”以及匹配网络“MN”)具有各别的射频天线20、22与24;多个射频窗26、28与30;一个或一个以上的气体进气口32,以及面板34,其具有提取开口36,藉由提取开口36,离子从单一等离子体腔体12中被提取出来。为了叙述上的清楚与方便,用词像是“前”、“后”、“上端”、“底端”、“上”、“下”、“里面”、“外面”、“水平”、“垂直”、“横向”及“纵向”在此将用以叙述射频离子源10构件的相对定位与方向,每一构件皆有相对于射频离子源10各别的几何位置与方向如图2所示。所述用词将包括特定用语及其缩写以及其他相似意思的用语。图1与图2的叙述亦可参考XYZ坐标系统,如图1中的水平方向与X轴平行,垂直方向与Y轴平行,以及Z轴垂直于图1平面。图2的坐标轴定向例如为图2的水平方向与X轴平行,图2的垂直方向平行于Z轴以及Y轴垂直于图2平面。

[0024] 上述等离子体腔体12形状可为矩形、圆柱型或其他更复杂形状的包封体,用以在低压下保持住里面的原料气体。等离子体腔体12可包括垂直延伸(例如延伸于图2中的z方向)的侧壁38、40、42及44,这些侧壁界定一个在x方向具有3米全宽的内部空间。等离子体腔体12可依据期望的离子束宽度,像是带状离子束,被制作成较大或是较小。延长的连接肩部46与48可沿y方向延伸(图2)跨越等离子体腔体12的开口顶端,并与射频窗支撑件50、52以及54呈间隔平行关系,其可具有相同特征、形状与尺寸。面板34密封等离子体腔体12底端;提取开口36可延伸跨越等离子体腔体12的整个面板34,可提供开口使得宽离子束得以如下所述从等离子体腔体12经开口被提取出来。提取开口36可以是一个几乎等于全长3米的射频离子源10的开口。在一实施例中,提取开口36大约是一个在y方向上长度为3~30毫米的矩形开口,并且为离子束的全尺寸(例如在x方向上3米长)。面板34在z方向上的厚度为3~10毫米,且提取开口36的边缘可经组态以促使离子从等离子体被提取时更易形成离子束。侧壁38、40、42及44以及连接肩部46与48可由铝(aluminum)、铝合金(aluminum alloys)或不锈钢(stainless steel)制成。面板可由钨(tungsten)、不锈钢、石墨(graphite)或是介电质材料,例如氧化铝、石英或蓝宝石(sapphire)制成。在等离子体腔体内,能用以覆盖金属等离子体腔体侧壁的薄阻障层(thin liner)可由石英、石墨、碳化硅(silicon carbide)或是喷覆硅铝(silicon sprayed aluminum)制成。

[0025] 射频窗26、28、30可为平面构件,且在水平面上各自具有相似于射频窗支撑件50、52、54的形状。射频窗26、28及30可以预设关系布置。举例而言,射频窗26、28及30可布置为互相平行。射频窗26、28及30可置放于同一平面而彼此呈共面关系,其实施例不限于本文内容。射频窗26、28及30可被装设在射频窗支撑件50、52及54中,并可真空密封,举例而言,射频窗26、28及30的边缘可座落在侧壁38、40、42及44与连接肩部46及48垂直平面的凹槽中,或者,可考虑利用像是接着剂或是机械紧固件将射频窗26、28及30固定在侧壁38、40、42及44与连接肩部46及48的上端平面。还可考虑使用高温O型环或其他适合的密封构件配置在射频窗26、28及30边缘及侧壁38、40、42及44与连接肩部46及48的中间以形成真空密封,射频窗26、28及30也因此可配置在水平方向上垂直分隔单一等离子体腔体12内部与射频天线

20、22及24(叙述如下)。

[0026] 在示范实施例中,射频离子源10如图1与图2所示具有三个射频窗支撑件50、52及54,及三个各别配置在其中的射频窗26、28及30,其中每一射频窗26、28及30可为一米宽。因此,以线性关系布置的射频窗26、28及30其端对端尺寸可为3米。然而,由于射频离子源10是由例如射频源14、16或18的独立射频源供给,射频窗支撑件、射频窗或是相关射频天线及射频源的数目便无任何限制。此外,射频天线20、22与24可以不同的形式排列,举例而言,射频天线20、22及24可以排列成一维样式(例如一行多列)以提供线型等离子体源,或是以二维样式排列(例如多行多列)用于大面积离子辅助镀膜。因为每一射频天线20、22与24是由独立的射频链路所供给(例如射频产生器+匹配网络+射频电压平衡电容),等离子体源宽(且隐含了提取离子束宽)理论上在一维几何与二维几何空间的面积是不受限的,因此本实施例延伸到可在两个互相垂直方向上产生具有延伸数米横截面离子束的离子源。

[0027] 射频天线20、22及24所产生的射频能量透过射频窗26、28及30耦合于单一等离子体腔体内的原料气体60,进一步叙述如下。射频窗26、28及30可由任何已知可加速此耦合进行材料制成的材料制成,包括氧化铝、蓝宝石或石英,但不限于以上材料。虽然氧化铝和石英对于某些应用提供理想的材料性质,但它们具有相对低的热传系数,而且容易在单一等离子体腔体12的侧壁38、40、42及44处于高运转温度的情况时,发生真空密封失效的情形。

[0028] 如图2所示,射频源14、16与18与各别的射频天线20、22及24可配置在射频窗26、28及30之上用于提供有效的的射频能量耦合于单一等离子体腔体12中的低压原料气体60。射频天线20、22及24可具有如图1所示的蛇纹状(serpentine shape),此形状为本领域中的普通技术人员所熟知的,然而,射频天线20、22和/或24的特定的形状、尺寸及配置可有所变化,但皆不离本发明。举例而言,可采用如图3平面螺旋变异形式射频天线。在图3的实施例中,射频离子源300包括射频产生器rf1、rf2及rf3藉由匹配网络MN1、MN2及MN3以及电压平衡电容C1、C2及C3耦接于各别的平面螺旋射频天线302、304及306。

[0029] 再参考图1与图2,在射频离子源10运作时,原料气体60经由平均分布在等离子体腔体12周围的气体进气口32被供应至等离子体腔体12内部。在某些实施例中,原料气体可以是,或可包括或含有氢气(hydrogen)、氦气(helium)、氧气(oxygen)、氮气(nitrogen)、砷(arsenic)、硼(boron)、磷(phosphorus)、铝(aluminum)、铟(indium)、锑(antimony)、碳硼烷(carborane)、烷烃(alkanes)或其他包含p型或n型掺杂质的混合气体。射频源14、16及18通过射频天线20、22及24经由射频窗26、28、30供应射频功率至单一等离子体腔体以解离并离子化原料气体中含掺杂质的气体分子,从而产生期望的离子物种。产生的掺杂离子藉由位于或紧邻于面板34的提取电极(未示出)依序从单一等离子体腔体12被提取出以形成指向基板(未示出)的宽离子束64。如图2中更清楚的表示,等离子体因此藉独立射频源14、16与18产生于等离子体腔体12内(例如在没有墙将等离子体腔体12隔为数个空间的情况下)。每一射频源14、16及18独立供电,以及多尖形磁场构造围绕等离子体源(未示出),提供更大的弹性以促进等离子体均匀遍及于具上述延伸宽度(例如示范实施例中的3米)的等离子体腔体中。多尖形磁场是由适当配置的永久磁铁所产生,而且可用来在离子提取区域中形成更均匀的等离子体。

[0030] 由于气体进气口32均匀地分布在等离子体腔体12的周围,对于确保等离子体均匀性剩下仅需要考虑连接肩部46及48(在z与x方向上)的尺寸,射频天线20、22及24在分离空

间的局部施加功率(例如密度)以及射频天线20、22及24间的干涉效应。在此逐一说明这些考虑事项。

[0031] 一般具有大约3至4电子伏(eV)电子温度以及大约 $1-5 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 电子密度的电感性耦合等离子体将以 $\sim 1-5 \times 10^6 \text{sec}^{-1}$ 电子碰撞频率为特征,且因此等离子体导电度为 $\sigma = ne^2/m_e v_c \approx 2-6 \times 10^3 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$,从而对于13.56兆赫兹射频驱动频率以及低运转气压(例如数个毫托(mTorr))而言,等离子体将具有 $\delta = (2/\omega \mu_0 \sigma)^{1/2} \approx 2-3 \text{cm}$ 的趋肤深度(skin depth)(于射频窗底下最多射频功率积聚的深度),故依此如果连接肩部46与48被制作成在Z方向短少2至3公分,且由于藉由射频天线20、22与24发出的射频功率在等离子体腔体12里会积聚在比连接肩部46与48的底端更深的地方,连接肩部46与48将不会影响单一等离子体腔体12的等离子体均匀性。连接肩部46与48在x方向的大小可以是2至2.5公分以提供适当的结构强度以支撑射频窗26、28与30,以及提供适当的空间以置放O型环。这些O型环是由耐高温的氟碳(fluorocarbon)橡胶所制成,并置放于环绕射频窗支撑件50、52及54的凹槽内。O型环突出凹槽1至3毫米,以让射频窗26、28及30座落在其上,也因此当腔体抽真空时,O型环能确保等离子体腔体真空密封。

[0032] 有关于射频天线20、22与24的空间分隔,射频等离子体20、22与24可彼此非常靠近地置放,但是中间可间隔至少1.5公分,以避免在像是等离子体点燃阶段的高压环境下,在射频天线20、22与24之间发生电弧(electrical arcing)。两相邻射频天线的最大分隔距离是出现在当等离子体密度开始出现不均匀时,该距离约为3~4倍的等离子体趋肤深度(plasma skin depth)。如图3所示,每一个射频天线302、304及306可装置一个适用的射频产生器(rf1、rf2、rf3)以及适用的匹配网络(MN1、MN2、MN3)。为了提升沿射频天线302、304及306的电压的均匀分布,每一射频天线的“接地”脚可装置一个电压平衡电容(C1~C3)。为了提取正离子,等离子体源应位于高达100千伏(kV)的上升电位(elevated electrical potential),此上升电位藉由提取电源的供应得以确保。提取电极系统一般是由接地电极及抑制电极所组成,可提取具有相当于等离子体腔体与接地之间电位降(electrical potential drop)能量的正离子。

[0033] 有关于串扰(cross talk)效应或射频天线20、22、24(或是302、304、306)之间的干扰效应,发明人已发现即使射频源14、16、18被设定在同样频率下运转,在实际运作上,些微的频率差异仍可能存在。这是因为于一般射频源的频率精确度约在 $\pm 0.005\%$ 之间,相当于13.56兆赫兹的驱动频率之下变异范围约为 ± 700 赫兹。这个微小的频率差异可能造成等离子体中感应射频电场的不良调变。举例而言,两个射频波的电场具有相同的振幅,但不同的频率可叙述为

$$[0034] \quad y_{1,2} = A \sin(\omega_{1,2} t + \phi_{1,2}) \quad (1)$$

[0035] 其中(1)A是电场的振幅(为求单纯,直接取两个波相等), ω 为脉动等于 $2\pi f$,f为频率, ϕ 为初始相位,合成的射频电场因此设为

$$[0036] \quad y_R = 2A \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t + \frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right) \quad (2)$$

[0037] 合成正弦波因此藉由具有频率为 $\Delta f = f_1 - f_2$ 的周期函数调变。图4A示出两个13.56兆赫兹的波的计算调变效应,其运转频率差异为5赫兹。曲线402指出调变合成波的群

波以及面积404表式频率为13.56兆赫兹的波(在此长时间尺度上,不能清楚辨识)。

[0038] 参考图4B,图4B为第一与第二独立射频源量测到的束流剖面(beam profile),其中两个射频源皆于13.56兆赫兹频率下运转并传送800W(瓦)(为了图示清楚,只显示两射频源同时运转的状况)。束流剖面测定是以法拉第杯(Faraday cup)在x方向上运动并沿着离子束的全长获得离子束流的量测。曲线414代表只有第一射频源运转时产生的束流剖面,曲线416代表只有第二射频源运作时的束流剖面。曲线412代表当第一与第二射频源同时运作时的束流剖面并图示其特性及不良调变效应。在图4B的例子中,离子束流沿x方向每20至25毫米波动,特别是,在某些距离超过约20至25毫米的区域,离子束流波动高达75%。因为束流剖面是由以相同速度移动穿越离子束的法拉第杯量测获得,所以这并不是一个空间周期波动而是一个时间周期波动(所谓“波拍频效应(wave beating effect)”)。取另一个束流剖面,波动表现出相同的空间周期性但是波峰与波谷位在不同的x位置。据此,在用于供电给具多重射频源离子源的不同射频源之间存在非常微小的运转频率差异,即使在最周密设计的系统可能也无法避免,且可能导致无法接受的等离子体密度随时间函数的变异,并导致离子束流随函数时间变异并隐含地造成离子束在此离子源中于靶材表面随位置函数变异。

[0039] 有利的是,发明人发现,与其寻求去除不同射频源间微小的射频频率差异,增加不同射频源间的频率差异可消除前述的问题。具体地说,发明人已经找出一个不同射频源间的射频频率差异范围,其能有效减少或消除由不同射频源供电的离子源其离子束流的变异。尤其是,发明人已发现如果射频源被设定在不同的频率下运转,例如在数十到数百千赫兹的差异时,可以观察到射频调变效应,但其发生在10微秒(μs)非常快速的时间内,而且在合成的束流剖面里并无观察到等离子体密度调变效应。

[0040] 图4C示出于100微秒的时间内,两个频率为13.56千赫兹的波的计算调变效应,两波之间的操作频率相差100千赫兹的图。曲线422是调变合成波的群波且是一个13.56兆赫兹波,在此长时间尺度上不能清楚识别,但是可由曲线424的阴影区域间接表示。由于曲线422的周期短(接近10毫秒),在等离子体密度上没有明显的宏观影响(macroscopic effect)亦无隐含地表现在离子束流的均匀度上。

[0041] 图4D是图4C的放大图,曲线432是一个相应于曲线422的群波,而且曲线434是频率为13.56兆赫兹的波。曲线434的周期约为73.75纳秒(ns),如图4D所标注。

[0042] 相对于标定射频频率以及相对于耦接于实体相邻天线的射频产生器,操作13.56兆赫兹的射频产生器于一频率其变动范围为至少0.5%且少于1%,并不会妨碍射频产生器的正常运作。举例而言,对于1.5千瓦的正向功率,其反射功率约为100瓦($\sim 100\text{W}$)。并且,当选择运转频率后,匹配网络装置可以依该频率做校准,因此等离子体阻抗将被匹配降至零反射功率。

[0043] 在多个射频系统以不同功率水平(例如不同的波幅)与不同频率运转的情况下,合成波幅如方程式3所示

$$[0044] \quad A_R^2 = \sum_{i=1}^n A_i^2 + \sum_{j>i} \sum_{i=1}^n A_i A_j \cos\left(\frac{\omega_j - \omega_i}{2} t + \frac{\phi_j - \phi_i}{2}\right) \quad (3)$$

[0045] 对于大的n值而言,在方程式(3)的右手边的第二项可忽略,且合成波幅值平方约近似于每一个波幅值 A_i 的平方总和。由于独立波 A_i 基本上不是一致的,因此并无干扰效应

产生。在一个实际的例子里,只以少数几个射频产生器以些微的频率差异(例如10~10千赫兹)运转,频率调变效应可被忽略,因为不同调变波形的随机分布减少从非同步波产生的不均匀性。

[0046] 图5示出等离子体电感性耦合等离子体离子源所量测得的束流剖面,该电感性耦合等离子体具有三个同时运作的等离子体源并且消耗功率于一个普通的等离子体腔体中(如前述示范实施例所揭示描述的腔体)。在这个例子中,中间的射频源被设定在13.56兆赫兹频率下运转,而相邻的射频源则相对13.56兆赫兹偏移0.1兆赫兹,分别于13.46兆赫兹与13.66兆赫兹运转。如所见,观察不到调变波形且离子束均匀度约为8%。

[0047] 综上所述,射频源,如本发明揭示的射频离子源10,促进多重、空间重迭等离子体的运转,以产生特别宽的离子束,且不需持续的监控与调整射频信号相位。除此之外,射频源以相似但有些微差异的频率(射频频率差异小于或等于2%)运转,射频频率确保每一个射频源所产生等离子体特性相同(例如射频源14、16及18各自产生的等离子体所呈现的等离子体密度、等离子体电位以及两相临等离子体间的电子温度并无差异),并且因此展现良好的等离子体均匀性。

[0048] 本文以单数列举并以一或一个描述的元件或步骤,除非已明确说明排除其他可能性,否则,应理解成不排除为多数个元件或步骤。除此之外,本说明书的“一实施例”并非意指排除存在其他也包含本发明所述特征的实施例。

[0049] 虽然已在某些实施例情况下揭示本发明,但其用意非用以限定本发明与此,而是使本发明在本发明领域中能尽可能最大广度的包含如说明书所述的所有范围。因此,以上叙述不应解释为本发明的限制,而是仅作为特定实施例的示范。本领域的技术人员可依其想法自行变更使用,但皆不脱离如由随附权利要求所界定的本发明概念之精神以及范畴。

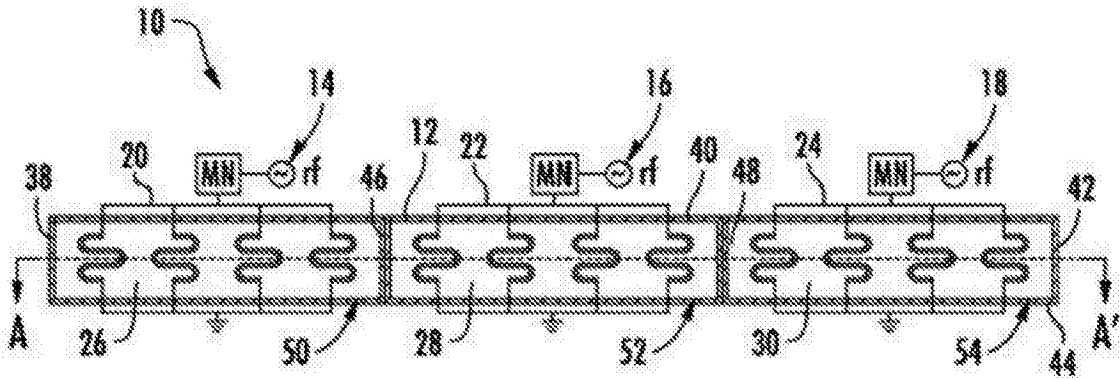


图1

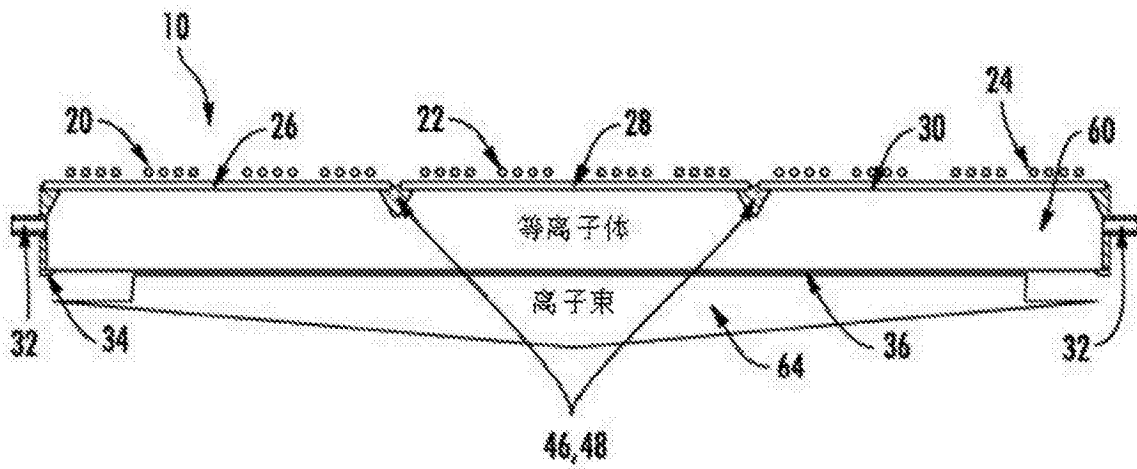


图2

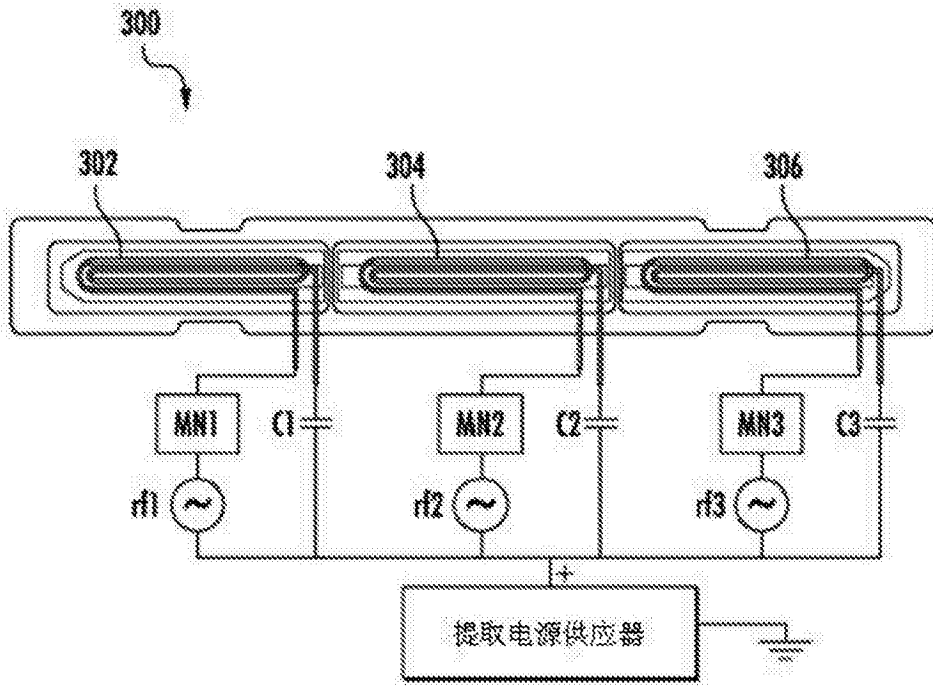


图3

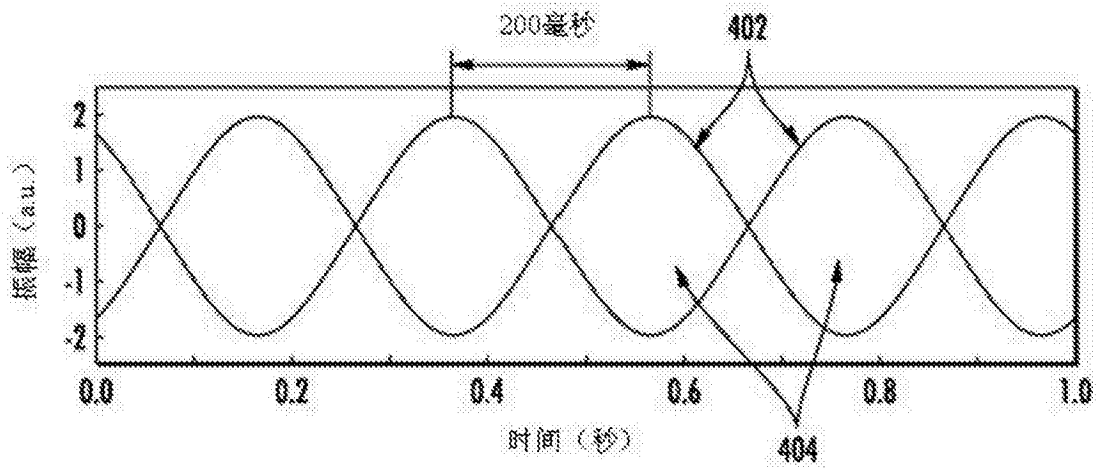


图4A

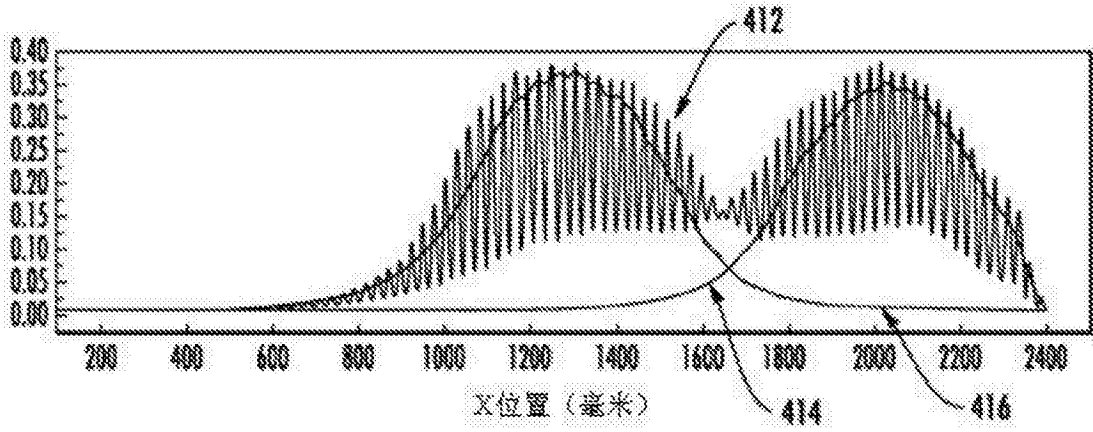


图4B

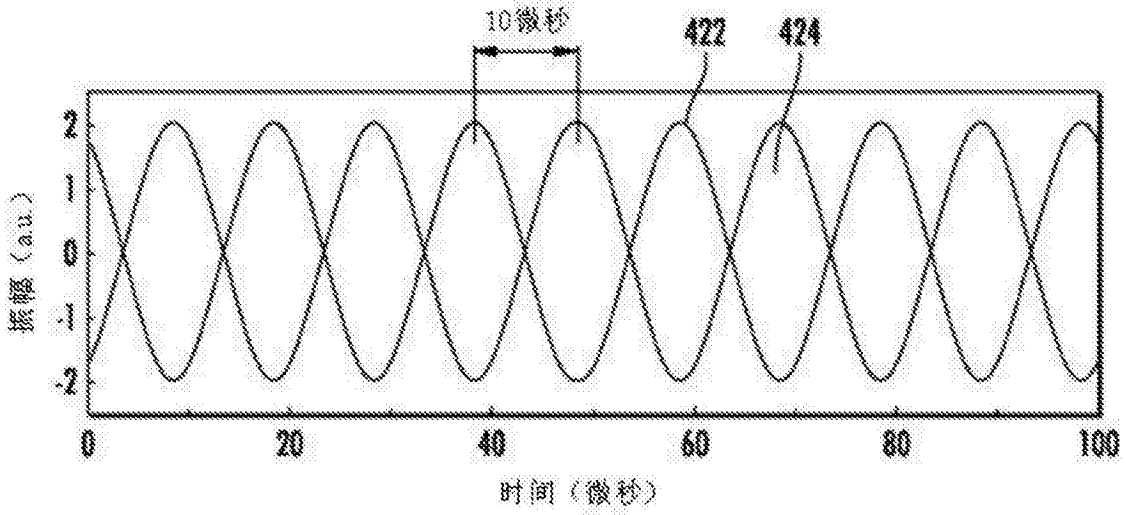


图4C

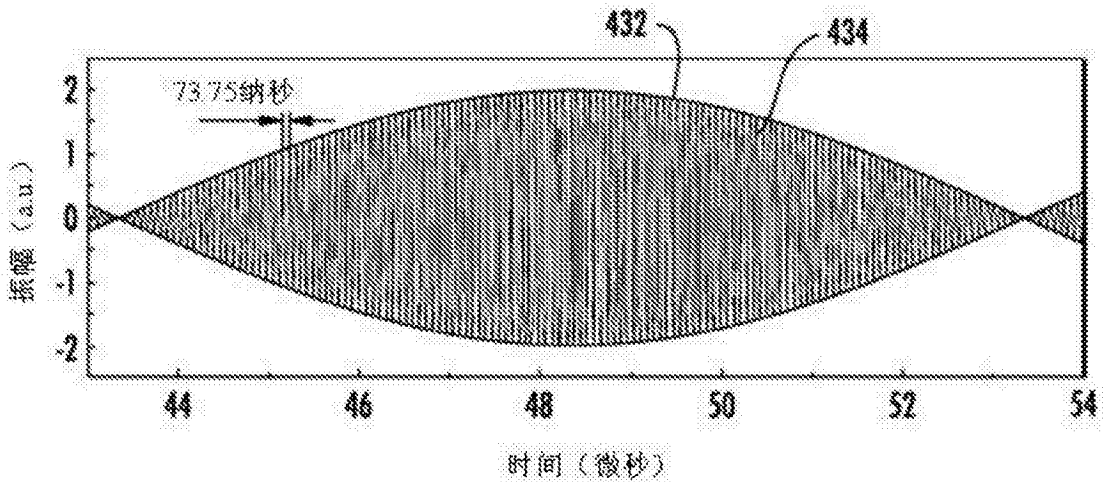


图4D

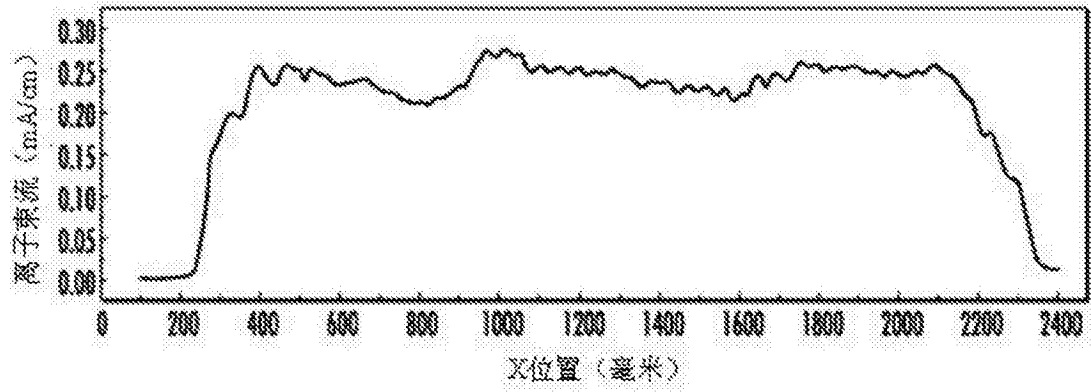


图5