



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101765679 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 09

(21) 申请号 200880100529. 3

(22) 申请日 2008. 06. 20

(30) 优先权数据

11/774, 587 2007. 07. 07 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 01. 26

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/067587 2008. 06. 20

(87) PCT申请的公布数据

W02009/009272 EN 2009. 01. 15

(73) 专利权人 瓦里安半导体设备公司

地址 美国麻萨诸塞州

(72) 发明人 史帝文·R·沃特

(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 臧建明

(51) Int. Cl.

G23C 16/00 (2006. 01)

H01L 21/26 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6306265 B1, 2001. 10. 23,

CN 1693536 A, 2005. 11. 09,

US 2005109931 A1, 2005. 05. 26,

US 2006255294 A1, 2006. 11. 16,

US 4394400 A, 1983. 07. 19,

JP 特公平 7-70512 B2, 1995. 07. 31,

US 2007084564 A1, 2007. 04. 19,

CN 1613130 A, 2005. 05. 04,

EP 0406871 A2, 1991. 01. 09,

US 2007084564 A1, 2007. 04. 19,

审查员 赖风平

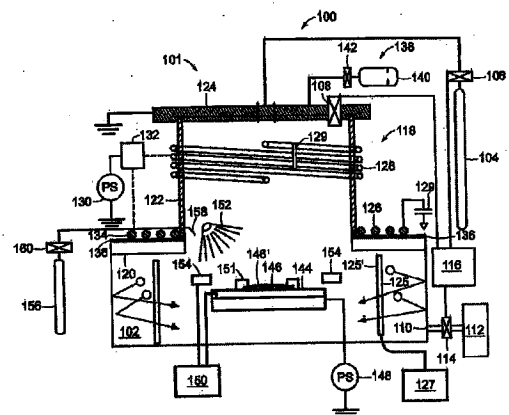
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 2 页

(54) 发明名称

使用高中性密度等离子体植入的共形掺杂

(57) 摘要

一种等离子体掺杂设备包括等离子体源,所述等离子体源产生脉冲的等离子体。压板接近等离子体源而支撑基板以供等离子体掺杂。结构吸附薄膜,所述薄膜在被解吸附时提供多个中性。偏压电源产生偏压波形,所述偏压波形具有将等离子体中的离子吸引至基板以供等离子体掺杂的负电位。辐射源照射吸附在结构上的薄膜,藉此解吸附薄膜且产生多个中性,所述多个中性在来自等离子体的离子被吸引至基板时使离子散射,藉此执行共形等离子体掺杂。



1. 一种等离子体掺杂设备,包括:
  - a. 等离子体源,其在脉冲周期期间产生脉冲等离子体;
  - b. 压板,其接近所述等离子体源而支撑基板以供等离子体掺杂;
  - c. 一层薄膜,所述薄膜形成在所述基板以及在被解吸附时产生多个中性;
  - d. 偏压电源,其具有电连接至所述压板的输出,所述偏压电源产生偏压波形,所述偏压波形具有负电位及偏压周期,在所述偏压周期所述负电位将所述等离子体中的离子吸引至所述基板以供等离子体掺杂;以及
  - e. 光学辐射源,其被导向形成在所述基板上的所述薄膜,并且在辐射周期照射形成在所述基板上的所述薄膜,以便解吸附所述薄膜且产生接近所述基板的所述多个中性,所产生的接近所述基板的所述多个中性被吸引至所述基板时使来自所述等离子体的离子散射,藉此执行共形等离子体掺杂,其中所述光学辐射源为闪光灯、雷射或发光二极管,并且其中所述偏压周期和所述脉冲周期中的每一者相较于所述辐射周期为长。
2. 如权利要求 1 所述的等离子体掺杂设备,还包括温度控制器,所述温度控制器将所述基板的温度改变至增强所述薄膜的形成的温度。
3. 如权利要求 1 所述的等离子体掺杂设备,还包括喷嘴,所述喷嘴接近所述基板而喷射气体。
4. 如权利要求 1 所述的等离子体掺杂设备,其中所述光学辐射源产生辐射猝发,所述辐射猝发快速地解吸附所述薄膜。
5. 如权利要求 1 所述的等离子体掺杂设备,其中藉由解吸附所述薄膜而产生的所述中性接近所述基板而提供局部高中性密度,所述局部高中性密度不会显著地降低掺杂均一性。
6. 一种共形等离子体掺杂方法,所述方法包括:
  - a. 将基板定位在压板上;
  - b. 将一层薄膜形成在经定位以接近所述压板的所述基板上;
  - c. 在脉冲周期期间接近所述压板而产生等离子体;
  - d. 将除了所述等离子体的光学辐射源引导朝向形成在所述基板上的所述薄膜,并且在辐射周期照射在具有来自所述光学辐射源的光学辐射的所述薄膜,以解吸附所述基板上的所述薄膜,藉此产生至少一种包含于接近所述基板的所述薄膜之中的多个中性,其中所述光学辐射源为闪光灯、雷射或发光二极管;
  - e. 在偏压周期用偏压波形来偏压所述压板,在所述偏压周期所述偏压波形具有将所述等离子体中的离子吸引至所述基板以供等离子体掺杂的负电位,其中所述偏压周期和所述脉冲周期中的每一者相较于所述辐射周期为长;以及
  - f. 来自所述等离子体的所述离子被吸引至所述基板时,接近所述基板具有多个中性从形成在所述基板上的所述薄膜被解吸附,使来自所述等离子体的所述离子散射,藉此执行共形等离子体掺杂。
7. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中照射所述基板上的所述薄膜包括产生辐射猝发,所述辐射猝发快速地解吸附所述薄膜。
8. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中解吸附所述薄膜以及用具有所述负电位的所述偏压波形来偏压所述压板在时间上实质上同时地发生。

9. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中解吸附所述薄膜以及用具有所述负电位的所述偏压波形来偏压所述压板在时间上同步。

10. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中将所述薄膜形成在所述基板上包括将所述基板的温度控制至增强所述薄膜的温度。

11. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中将所述薄膜形成在所述基板上包括在将所述基板定位在所述压板上之前将所述薄膜形成在所述基板上。

12. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中将所述薄膜形成在所述基板上包括接近所述基板而喷射气体。

13. 如权利要求 6 所述的共形等离子体掺杂方法,其中产生所述多个中性包括接近所述基板而提供局部高中性密度,所述局部高中性密度不会显著地降低掺杂均一性。

## 使用高中性密度等离子体植入的共形掺杂

[0001] 这里用到的本节标题仅是为了一种组织性目的,不应限制于本发明所描述的技术方案。

### 背景技术

[0002] 近几十年来,等离子体处理 (plasma processing) 已广泛用于半导体以及其他工业中。等离子体处理用于诸如清洗 (cleaning)、蚀刻 (etching)、研磨 (milling) 以及沉积 (deposition) 的任务。近年来,等离子体处理已用于掺杂。等离子体掺杂有时称作 PLAD 或等离子体浸没离子植入 (plasmaimmersion ion implantation,PIII)。已对等离子体掺杂系统 (plasma dopingsystem) 进行开发,以便满足一些现代电子以及光学装置的掺杂要求。

[0003] 等离子体掺杂系统与现有射束线离子植入系统在根本上不同,所述现有射束线离子植入系统用电场来加速离子,且接着根据离子的质荷比 (mass-to-charge ratio) 对离子进行过滤,以便选择所要离子以供植入。反之,等离子体掺杂系统将靶材浸没于含有掺杂剂离子的等离子体中,且用一系列负电压脉冲来偏压靶材。本文中术语“靶材”定义为正进行植入的工件,诸如,正进行离子植入的基板或晶圆。靶材上的负偏压将电子排斥出靶材表面,藉此形成正离子鞘。等离子体鞘内的电场将离子朝向靶材加速,藉此将离子植入至靶材表面中。

[0004] 本发明是关于共形等离子体掺杂。本文中术语“共形掺杂”定义为以大体上保留表面特征的角度的方式来掺杂平坦以及非平坦表面特征。在文献中,共形掺杂有时指代用令平坦特征以及非平坦特征上皆具有均一掺杂轮廓的方式来掺杂平坦特征以及非平坦特征。然而,如本文中所定义的共形掺杂可(但未必)在基板的平坦特征以及非平坦特征上皆具有均一掺杂轮廓。

### 发明内容

[0005] 本发明提供了一种等离子体掺杂设备,包括等离子体源、压板、一层薄膜、偏压电源以及光学辐射源。等离子体源产生脉冲等离子体。压板接近等离子体源而支撑基板以供等离子体掺杂。所述薄膜形成在所述基板以及在被解吸附时产生多个中性。偏压电源具有电连接至压板的输出,所述偏压电源产生偏压波形,所述偏压波形具有负电位及偏压周期,在所述偏压周期所述负电位将等离子体中的离子吸引至基板以供等离子体掺杂。光学辐射源被导向形成在所述基板上的所述薄膜,并且在辐射周期照射形成在基板上的薄膜,以便解吸附薄膜且产生接近所述基板的多个中性,所产生的接近所述基板的所述多个中性被吸引至基板时使离子散射,藉此执行共形等离子体掺杂,其中所述光学辐射源为闪光灯、雷射或发光二极管,并且其中所述偏压周期相较于所述辐射周期为长。

[0006] 本发明还提供了一种共形等离子体掺杂方法。所述方法包括:将基板定位在压板上;将一层薄膜形成在经定位以接近压板的所述基板上;接近压板而产生等离子体;将除了所述等离子体的光学辐射源引导朝向形成在所述基板上的所述薄膜,并且在辐射周期照射在具有来自所述光学辐射源的光学辐射的所述薄膜,以经吸附基板上的薄膜,藉此产

生至少一种包含于接近所述基板的所述薄膜之中的多个中性,其中所述光学辐射源为闪光灯、雷射或发光二极管;在偏压周期用偏压波形来偏压压板,在所述偏压周期所述偏压波形具有将等离子体中的离子吸引至基板以供等离子体掺杂的负电位,其中所述偏压周期相较于所述辐射周期为长;以及来自等离子体的离子被吸引至基板时,接近所述基板具有多个中性从形成在所述基板上的所述薄膜被解吸附,使离子散射,藉此执行共形等离子体掺杂。

[0007] 本发明还提供了一种共形掺杂设备。所述设备包括用于将薄膜吸附在经定位以接近压板的结构上的构件,所述压板支撑基板;用于产生含有掺杂剂物质的离子的构件;用于将结构上的经吸附的薄膜解吸附以产生多个中性的构件,所述多个中性使含有掺杂剂物质的离子散射,藉此执行共形掺杂。

[0008] 为了让本发明的上述和其他优点能更明显易懂,下文特举其较佳实施例,并配合附图予以详细说明。附图未必依其实际比例显示,通常会特别强调以便说明本发明的原理。

### 附图说明

[0009] 图 1 说明执行根据本发明实施例的共形掺杂的等离子体掺杂系统的示意图。

[0010] 图 2A 说明适用于根据本发明实施例的等离子体掺杂的脉冲 RF 波形。

[0011] 图 2B 说明由偏压源产生的偏压波形,所述偏压源在偏压周期期间将负电压施加至基板以便执行等离子体掺杂。

[0012] 图 2C 说明由辐射源产生的强度波形,所述辐射源根据本发明实施例而解吸附经吸附的薄膜层以产生中性。

[0013] 主要元件符号说明:

[0014] 100 : 等离子体掺杂系统; 101 : 感应耦合式等离子体源;

[0015] 102 : 等离子体腔室; 104 : 外部气体源;

[0016] 106 : 比例阀; 108 : 压力计;

[0017] 110 : 排气口; 112 : 真空泵;

[0018] 114 : 排气阀; 116 : 气体压力控制器;

[0019] 118 : 腔室顶部; 120 : 腔室顶部第一部分;

[0020] 122 : 腔室顶部第二部分; 124 : 腔室顶部盖;

[0021] 125 : 衬套; 126 : 平面线圈 RF 天线;

[0022] 127 : 温度控制器; 128 : 螺旋线圈 RF 天线;

[0023] 129 : 电容器; 130 : RF 源;

[0024] 132 : 阻抗匹配网络; 134 : 介电层;

[0025] 136 : 法拉第屏蔽件; 138 : 等离子体点火器;

[0026] 140 : 储集器; 142 : 猝发阀;

[0027] 144 : 压板; 146 : 基板;

[0028] 146' : 薄膜层; 148 : 偏压电源;

[0029] 150 : 温度控制器; 151 : 电夹板;

[0030] 152 : 辐射源; 154 : 结构;

[0031] 156 : 第二外部气体源; 158 : 喷嘴;

[0032] 160 : 阀; 200 : 脉冲 RF 波形;

[0033]	202 :RF 脉冲 ;	204 : $P_{RF}$ ;
[0034]	206 :脉冲周期 $T_p$ ;	250 :偏压波形 ;
[0035]	252 :负电压脉冲 ;	254 :( 负 ) 电压 ;
[0036]	256 :偏压周期 $T_{Bias}$ ;	280 :强度 I 282 的波形 ;
[0037]	282 :强度 I ;	284 :辐射周期 $T_R$ 。

### 具体实施方式

[0038] 在本说明书中提到“一个实施例”或“一实施例”时是指结合所述实施例而描述的特定特征、结构或特性包括在本发明的至少一个实施例中。在本说明书中各处出现的短语“在一个实施例中”未必全部指代同一实施例。

[0039] 应了解,只要本发明仍可操作,可以任何次序执行本发明方法的各个步骤及 / 或同时执行本发明方法的各个步骤。此外,应了解,只要本发明仍可操作,本发明的设备以及方法可包括任何数目或全部所描述的实施例。

[0040] 现在将参照附图中所示的本发明例示性实施例来更详细地描述本发明的启示。虽然结合各种实施例以及实例来描述本发明的启示,但并不希望本发明的启示限于此等实施例。反之,本领域技术人员应了解,本发明的启示涵盖各种替代、修改以及等效物。本领域技术人员在阅读本文中的启示后应认识到额外实施方案、修改及实施例以及其他使用领域,所述各者在如本文中所描述的本揭露案的范畴内。举例而言,虽然结合等离子体掺杂来描述本发明,但也可将用于产生使离子散射的中性 (neutral) 以增强共形掺杂的方法以及设备应用于现有射束线离子植入系统。

[0041] 现在人们正在开发三维装置结构,以便增加 ULSI 电路的可用表面积,且将装置规模扩展至 65 奈米以下的技术节点。举例而言,人们正在研究实验室中开发在 DRAM 中使用的三维沟槽电容器以及使用垂直通道晶体管的许多类型装置 (诸如, FinFET (双闸极或三闸极)) 以及凹入通道阵列晶体管 (recessed channel array transistor, RCAT)。这些三维装置中的许多装置要求共形掺杂装置上的不同特征。另外,许多其他类型的现代电子及光学装置以及奈米技术微结构要求共形掺杂。

[0042] 很难用已知离子植入方法来达成共形以及三维植入。特定而言,难以在具有高密度、高间距及 / 或大的垂直纵横比的装置上达成共形或三维植入,所述各种装置要求很小范围内的植入角度。

[0043] 执行共形离子植入的许多已知方法使用多个成角的射束线离子植入步骤来获得三维植入覆盖。在此等已知方法中,将靶材 (target) 以物理形式相对于离子束成多个角度而定位达预定时间,以便执行多个成角植入。执行多个射束线成角植入可显著减小植入产量,减小倍数等于离子植入的数目。已经成功地将这种共形掺杂方法用于为了研究以及开发目的而制造的一些低密度结构,但用来制造大多数装置不太实际。

[0044] 等离子体掺杂良好地适用于共形以及三维植入。在等离子体掺杂设备中,正离子鞘 (sheath) 在鞘边界与靶材表面之间产生电场。此电场将离子朝向靶材加速且将离子植入至靶材表面中。共形等离子体掺杂可得以实现,这是因为,当鞘厚度小于或等于表面中的波动尺寸时,鞘边界良好地贴合靶材的表面特征,所述波动是因离子相对于区域表面构形以直角入射角击打表面而引起。此现象可用于使用等离子体浸没掺杂来共形地植入大靶材

的方法中。然而,使用此现象的方法对于具有密集及/或高纵横比结构的小靶材并不奏效。

[0045] 也可藉由形成使离子/中性在等离子体中散射的条件来执行共形等离子体掺杂,所述条件导致等离子体中离子角度的特定所要分布。然而,藉由使用离子/中性散射,目前仅在等离子体掺杂系统中形成有限范围内的离子角度。因为在等离子体中发生不当放电(诸如,电弧放电以及微放电)的机率随着等离子体中中性密度的增加而增加,所以离子/中性散射是有限的。另外,随着中性密度的增加,总的等离子体均一性降低。因此,当离子/中性散射达到特定程度时,将存在不当放电以及相对不良的均一性,而所述两者对于大多数等离子体掺杂制程而言将是不可接受的。

[0046] 藉由使用处于等离子体外部的中性源来使离子散射以供离子植入,达成本发明的共形掺杂。在一个实施例中,外部中性源包括吸附剂薄膜层,所述吸附剂薄膜层经定位以与等离子体中的离子相互作用,以便使离子散射以供植入。举例而言,可在正进行植入的靶材上沉积吸附剂薄膜层。又,可在接近靶材的结构上或在处理腔室中的某处沉积吸附剂薄膜层。

[0047] 图1说明执行根据本发明的共形掺杂的等离子体掺杂系统100的示意图。应了解,所述等离子体掺杂系统100仅是可执行根据本发明的共形掺杂的等离子体掺杂系统的许多可能设计中的一种。等离子体掺杂系统100包括感应耦合式等离子体源101,所述感应耦合式等离子体源101具有平面RF线圈以及螺旋RF线圈两者,且也具有传导顶部部分。2004年12月20日申请的名为“具有感应顶部部分的RF等离子体源(RF Plasma Source with Conductive Top Section)”的美国专利申请案第10/905,172号中描述了类似的RF感应耦合式等离子体源,该案已让与给本发明的受让人。美国专利申请案第10/905,172号的完整说明书以引用方式并入本文中。等离子体掺杂系统100中所绘示的等离子体源101非常适用于等离子体掺杂应用,因为所述等离子体源101可提供高度均一的离子通量,且所述等离子体源也有效地耗散由二次电子发射(secondary electron emission)所产生的热量。

[0048] 更具体而言,等离子体掺杂系统100包括等离子体腔室(plasma chamber)102,所述等离子体腔室102含有由外部气体源(external gas source)104所供应的处理气体(process gas)。处理气体通常含有在稀释气体中进行稀释的掺杂剂物质。经由比例阀(proportional valve)106耦接至等离子体腔室102的外部气体源104将处理气体供应至腔室102。在一些实施例中,使用气体导流板(gas baffle)将气体分散至等离子体源101中。使用压力计(pressure gauge)108来测量腔室102内部的压力。腔室102中的排气口(exhaust port)110耦接至真空泵(vacuum pump)112,所述真空泵112将腔室102排空。排气阀(exhaust valve)114控制通过排气口110的排气流导(exhaust conductance)。

[0049] 气体压力控制器(gas pressure controller)116电连接至比例阀106、压力计108以及排气阀114。气体压力控制器116通过在回应于压力计108的反馈回路中控制排气流导以及处理气体流率等离子体腔室102中维持所要压力。用排气阀114来控制排气流导。用比例阀106来控制处理气体流率。

[0050] 腔室102具有腔室顶部(chamber top)118,所述腔室顶部118包括由在大体水平的方向上延伸的介电材料(dielectric material)形成的第一部分120。腔室顶部118的第二部分122由在大体垂直的方向上自第一部分120延伸某一高度的介电材料形成。在本

文中,将第一部分 120 以及第二部分 122 统称作介电窗。应了解,腔室顶部 118 有许多变化形式。举例而言,如美国专利申请案第 10/905,172 号中所描述,第一部分 120 可由在大体弯曲的方向上延伸的介电材料形成,以使得第一部分 120 与第二部分 122 并不正交,该案以引用方式并入本文中。在其他实施例中,腔室顶部 118 仅包括平坦表面。

[0051] 为了达成特定效能,可选择第一部分 120 以及第二部分 122 的形状以及尺寸。举例而言,本领域技术人员将了解,可选择腔室顶部 118 的第一部分 120 以及第二部分 122 的尺寸,以便改良等离子体的均一性。在一个实施例中,调整第二部分 122 在垂直方向上的高度相对于第二部分 122 在水平方向上的长度的比例,以便达成更均一的等离子体。举例而言,在一个特定实施例中,第二部分 122 在垂直方向上的高度相对于第二部分 122 在水平方向上的长度的比例在 1.5 至 5.5 的范围内。

[0052] 第一部分 120 以及第二部分 122 中的介电材料提供用于将 RF 功率自 RF 天线转移至腔室 102 内部的等离子体的介质。在一个实施例中,用于形成第一部分 120 以及第二部分 122 的介电材料是高纯度陶瓷材料,所述高纯度陶瓷材料可抵抗处理气体的化学腐蚀且具有良好热性质。举例而言,在一些实施例中,介电材料是 99.6% 的  $Al_2O_3$  或 AlN。在其他实施例中,介电材料是 Yittria(氧化钇)以及 YAG(钇铝石榴石)。

[0053] 腔室顶部 118 的盖 124 由在水平方向上延伸第二部分 122 的长度的传导材料形成。在许多实施例中,用以形成盖 124 的材料的传导性足够高,从而可耗散热负载 (heat load) 且将二次电子发射所引起的充电效应减到最小。通常,用以形成盖 124 的传导材料可抵抗处理气体的化学腐蚀。在一些实施例中,传导材料是铝 (aluminum) 或硅 (silicon)。

[0054] 可用由氟碳聚合物形成的抗卤素 O 形环 (诸如,由 Chemrx 及 / 或 Kalrex 材料形成的 O 形环) 来将盖 124 耦接至第二部分 122。通常用令第二部分 122 上的压缩减到最小、但提供足以将盖 124 密封至第二部分的压缩的方式,将盖 124 安装至第二部分 122。在一些操作模式中,盖 124 以 RF 以及 DC 形式接地,如图 1 中所示。另外,在一些实施例中,盖 124 包括冷却系统 (coolingsystem),所述冷却系统调节盖 124 以及周围区域的温度,以便耗散在处理期间所产生的热负载。冷却系统可以是流体冷却系统,所述流体冷却系统包括盖 124 中的用于使来自冷却剂源的液体冷却剂循环的冷却通路。

[0055] 在一些实施例中,腔室 102 包括衬套 125,所述衬套 125 经定位以藉由以下方式防止或显著地减少金属污染:对等离子体腔室 102 内部提供直线对传 (line-of-site) 式屏蔽,以免受等离子体中的离子击打等离子体腔室 102 的内部金属壁而溅镀的金属的污染。在 2007 年 1 月 16 日申请的名为“具有用于减少金属污染的衬套的等离子体源 (Plasma Source with Liner for Reducing Metal Contamination)”的美国专利申请案第 11,623,739 号中描述了此种衬套,该案已让与给本发明的受让人。美国专利申请案第 11,623,739 号的完整说明书以引用方式并入本文中。

[0056] 在一些实施例中,等离子体腔室衬套 125 包括温度控制器 (temperaturecontroller) 127。温度控制器 127 足以将衬套的温度维持在足以吸附薄膜层的相对低的温度,所述薄膜层根据本发明而在薄膜解吸附期间产生中性。

[0057] RF 天线经定位以接近腔室顶部 118 的第一部分 120 以及第二部分 122 中的至少一者。图 1 中的等离子体源 101 说明彼此电绝缘的两个独立 RF 天线。然而,在其他实施例中,所述两个独立 RF 天线电连接。在图 1 中所示的实施例中,具有多匝的平面线圈 RF 天线



126(有时称作平面天线或水平天线)经定位以相邻于腔室顶部 118 的第一部分 120。另外,具有多匝的螺旋线圈 RF 天线 128(有时称作螺旋天线或垂直天线)围绕腔室顶部 118 的第二部分 122。

[0058] 在一些实施例中,平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者以电容器 129 为端点,所述电容器 129 用于减小有效天线线圈电压(effective antenna coil voltage)。本文中定义的术语“有效天线线圈电压”是指代 RF 天线 126、128 两端的电压降。换言之,有效线圈电压是“离子所经历的”电压或等同于等离子体中的离子所经历的电压。

[0059] 又,在一些实施例中,平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者包括介电层(dielectric layer)134,所述介电层 134 的介电常数与  $Al_2O_3$  介电窗材料的介电常数(dielectric constant)相比相对较低。相对较低的介电常数的介电层 134 有效地形成电容分压器(capacitive voltage divider),所述电容分压器也减小有效天线线圈电压。另外,在一些实施例中,平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者包括法拉第(Faraday)屏蔽件 136,所述法拉第屏蔽件 136 也减小有效天线线圈电压。

[0060] RF 源(RF source)130(诸如,RF 电源(RF power supply))电连接至平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者。在许多实施例中,RF 源 130 藉由阻抗匹配网路(impedance matching network)132 而耦接至 RF 天线 126、128,所述阻抗匹配网路使 RF 源 130 的输出阻抗与 RF 天线 126、128 的阻抗匹配,以便最大化自 RF 源 130 转移至 RF 天线 126、128 的功率。所示自阻抗匹配网路 132 的输出至平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 的虚线,用以指示可自阻抗匹配网路 132 的输出至平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的任一者或两者进行的电连接。

[0061] 在一些实施例中,平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者以可用液体冷却的形式形成。藉由冷却平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者,可减小 RF 功率在 RF 天线 126、128 中传播所引起的温度梯度。螺旋线圈 RF 天线 128 可包括分流器 129,所述分流器 129 可减少线圈匝数。

[0062] 在一些实施例中,等离子体源 101 包括等离子体点火器(plasma igniter)138。许多类型的等离子体点火器皆可与等离子体源 101 一起使用。在一个实施例中,等离子体点火器 138 包括击打气体(strike gas)的储集器 140,所述击打气体是诸如氩(argon, Ar)的高度离子化气体,所述高度离子化气体辅助等离子体的点火。储集器 140 藉由高流导气体连接而耦接至等离子体腔室 102。猝发阀(burst valve)142 将储集器 140 与处理腔室 102 隔离。在另一实施例中,藉由使用低流导气体连接,直接将击打气体源接至猝发阀 142。在一些实施例中,藉由有限流导孔或计量阀来分离储集器 140 的一部分,所述有限流导孔或计量阀在初始高流率猝发之后提供稳定流率的击打气体。

[0063] 压板 144 定位于处理腔室 102 中在等离子体源 101 的顶部部分 118 下方的某高度处。压板 144 固持靶材(所述靶材在本文中称作基板 146)以供等离子体掺杂。在图 1 中所示的实施例中,压板 144 与等离子体源 101 平行。然而,压板 144 也可相对于等离子体源 101 而倾斜。在一些实施例中,压板 144 以机械方式耦接至可移动平台(movable stage),所述可移动平台在至少一个方向上平移、扫描或振荡基板 146。在一个实施例中,可移动平台是用于抖动或振荡基板 146 的抖动产生器或振荡器。平移、抖动及/或振荡运动可减小或消除遮蔽效应,且可改良用于撞击基板 146 的表面的离子束通量的均一性以及共形性。

[0064] 在许多实施例中,基板 146 电连接至压板 144。偏压电源 (bias voltage power supply) 148 电连接至压板 144。偏压电源 148 产生用于偏压压板 144 以及基板 146 的偏压,以便可自等离子体提取等离子体中的掺杂剂离子,且使所述掺杂剂离子撞击基板 146。偏压电源 148 可以是 DC 电源 (DC power supply)、脉冲电源 (pulsed power supply) 或 RF 电源。

[0065] 在本发明的一个实施例中,等离子体掺杂系统 100 包括温度控制器 150,所述温度控制器 150 用来控制压板 144 的温度以及基板 146 的温度。基板 146 经定位以与压板 144 保持良好热接触。又,在一个实施例中,使用冷却式电夹板 (Eclamp) 151 来将基板 146 紧固至压板 144,且也使用电夹板 151 来控制基板 146 的温度。温度控制器 150 及 / 或冷却式电夹板 151 经设计以将基板 146 的温度维持在足以吸附薄膜层 146' 的相对低的温度,所述薄膜层 146' 根据本发明而在薄膜解吸附期间产生中性。

[0066] 在一些实施例中,将结构 154 而非靶材或基板 146 用作中性源。可使用许多类型的结构。举例而言,结构 154 可以是如下结构:所述结构由温度控制器 150 (或另一温度控制器) 冷却,且具有经设计以在每单位面积内吸附相对大量原子或分子的表面特征。举例而言,结构 154 可具有用于将薄膜吸附在垂直表面以及水平表面两者上的多个高纵横比特征。在一个实施例中,结构 154 围绕靶材或基板 146。

[0067] 又,在一个实施例中,在相对于由偏压电源 148 所产生的偏压脉冲的预定时间,将受控量的气体 (其用于吸附薄膜层 146') 导向基板 146,以便增强薄膜层 146' 在基板 146 上的再吸附。在各种实施例中,所述气体可以是与用于等离子体掺杂的气体源 104 中的气体相同的气体 (其包括掺杂剂物质以及稀释气体),或者,所述气体可以是不同气体。在一个具体实施例中,由第二外部气体源 156 以及朝向基板 146 及 / 或结构 154 导向的喷嘴 158 来供应独立的吸附气体。阀 160 控制通过喷嘴 158 释放吸附气体的流率以及时序。

[0068] 在各种实施例中,喷嘴 158 可以是单个喷嘴或一群喷嘴。另外,可使用具有独立气体源的多个喷嘴。可自多个喷嘴分配一种以上类型的气体。喷嘴 158 也可位于相对于基板 146 或结构 154 的多个位置。举例而言,在一个实施例中,喷嘴 158 位于基板 146 或结构 154 的正上方。又,在一些实施例中,气体导流板经定位以接近基板 146 或结构 154,以便在接近基板 146 或结构 154 处局部地增加吸附气体的部分压力。又,在一些实施例中,喷嘴 158 位于提供用于等离子体的电接地的阳极中。

[0069] 在一些实施例中,偏压电源 148 的控制输出电连接至阀 160 的控制输入,以使得由偏压电源 148 所产生的脉冲与阀 160 的操作在时间上同步。在其他实施例中,控制器用来控制偏压电源 148 以及阀 160 两者的操作,以便在再吸附时间期间在接近基板 146 或结构 154 处喷射吸附气体。通常在等离子体掺杂终止时执行再吸附。然而,也可在等离子体掺杂期间执行再吸附。

[0070] 在本发明的一个实施例中,等离子体掺杂系统包括辐射源 (radiation source) 152,所述辐射源 152 提供用于快速地解吸附经吸附的薄膜 146' 的辐射猝发或脉冲。可使用许多类型的辐射源。举例而言,在各种实施例中,辐射源 152 可以是光学源,例如,闪光灯、雷射或发光二极管。又,辐射源 152 可以是电子束源或 X 射线源。在一些实施例中,等离子体本身产生辐射。

[0071] 本领域技术人员将了解,存在可与本发明的特征一起使用的等离子体源 101 的

许多不同的可能变化。举例而言,请参看 2005 年 4 月 25 日申请的名为“倾斜等离子体掺杂 (Tilted Plasma Doping)”的美国专利申请案第 10/908,009 号中对等离子体源的描述。也请参看 2005 年 10 月 13 日申请的名为“共形掺杂设备以及方法 (Conformal Doping Apparatus and Method)”的美国专利申请案第 11/163,303 号中对等离子体源的描述。也请参看 2005 年 10 月 13 日申请的名为“共形掺杂设备以及方法 (Conformal Doping Apparatus and Method)”的美国专利申请案第 11/163,307 号中对等离子体源的描述。另外,请参看 2006 年 12 月 4 日申请的名为“具有电可控制式植入角度的等离子体掺杂 (Plasma Doping with Electronically Controllable Implant Angle)”的美国专利申请案第 11/566,418 号中对等离子体源的描述。美国专利申请案第 10/908,009 号、第 11/163,303 号、第 11/163,307 号以及第 11/566,418 号的完整说明书以引用方式并入本文中。

[0072] 在操作中,RF 源 130 产生在 RF 天线 126 以及 128 中的至少一者中传播的 RF 电流。亦即,平面线圈 RF 天线 126 以及螺旋线圈 RF 天线 128 中的至少一者是有源天线 (active antenna)。本文中术语“有源天线”定义为由电源直接驱动的天线。在本发明的等离子体掺杂设备的一些实施例中,RF 源 130 以脉冲模式操作。然而,RF 源也可以连续模式操作。

[0073] 在一些实施例中,平面线圈天线 126 以及螺旋线圈天线 128 中的一者是寄生天线 (parasitic antenna)。本文中术语“寄生天线”定义为与有源天线电磁通信、但不直接连接至电源的天线。换言之,寄生天线不由电源直接激发,而是由经定位以与寄生天线电磁通信的有源天线激发。在图 1 中所示的实施例中,有源天线是平面线圈天线 126 以及螺旋线圈天线 128 中由 RF 源 130 驱动的天线。在本发明的一些实施例中,寄生天线的一端电连接至接地电位,以便提供天线调谐能力。在此实施例中,寄生天线包括线圈调整器 129,所述线圈调整器 129 用以改变寄生天线线圈的有效匝数。可使用许多不同类型的线圈调整器,例如,金属短杆 (metal short)。

[0074] RF 天线 126、128 中的 RF 电流接着将 RF 电流诱导至等离子体腔室 102 中。等离子体腔室 102 中的 RF 电流激发并离子化处理气体,以便在腔室 102 中产生等离子体。等离子体腔室衬套 125 屏蔽由等离子体中的离子所溅镀的金属以免所述金属到达基板 146。

[0075] 偏压电源 148 用负电压来偏压基板 146,所述负电压将等离子体中的离子朝向基板 146 吸引。在负电压脉冲期间,等离子体鞘内的电场将离子朝向基板 146 加速,藉此将离子植入至基板 146 的表面中。

[0076] 使用如下制程来增强等离子体掺杂的共形性:吸附薄膜层且接着快速地解吸附所述薄膜层,借此产生使离子散射的中性以供离子植入。可使用许多不同类型的外部中性源。在一个实施例中,基板 146 本身是中性源。在此实施例中,由温度控制器 150 将基板 146 冷却至吸附一层 146' 原子或分子的温度。举例而言,可由温度控制器 150 冷却基板 146,以使所述基板 146 吸附一层掺杂剂物质或一层稀释气体中的至少一者,所述掺杂剂物质或所述稀释气体存在于由外部气体源 104 所供应的处理气体中。举例而言,使用诸如  $\text{AsH}_3$  或  $\text{B}_2\text{H}_6$  的掺杂剂物质。

[0077] 或者,可在将基板 146 装载至等离子体掺杂系统 100 中之前预冷却基板 146,以使得基板 146 吸附气体分子。然而,若在装载之前预冷却基板 146,则必须注意以确保仅吸附不干扰掺杂制程的原子以及分子。在一个实施例中,在存在用于离子植入的掺杂剂物质或稀释气体情况下预冷却基板 146,以便在基板 146 的表面上仅吸附一层掺杂剂物质及 / 或

一层稀释气体。

[0078] 在其他实施例中,将结构 154 而非靶材或基板 146 用作中性源。可使用许多类型的结构。举例而言,结构 154 可以是如下结构:具有经设计以在每单位面积内吸附相对大量原子或分子的表面特征。在一些实施例中,由温度控制器 150 冷却结构 154。或者,可使用独立温度控制器。在其他实施例中,在将结构 154 插入等离子体掺杂系统 100 中之前预冷却结构 154。在此等实施例中,在仅吸附不干扰掺杂制程的原子以及分子的环境下预冷却结构 154。举例而言,可在存在用于离子植入的掺杂剂物质或稀释气体的情况下预冷却结构 154,以便在基板 146 的表面上仅吸附一层掺杂剂物质及 / 或一层稀释气体。

[0079] 在一些实施例中,将吸附气体自喷嘴 158 喷射至腔室 102 中且导向基板 146,以便增强薄膜层 146' 在基板 146 上的再吸附。吸附气体可以是与用于等离子体掺杂的气体源 104 中的掺杂剂气体相同的气体,或者可以是当暴露至由辐射源 152 所产生的辐射时产生中性且不干扰等离子体掺杂制程的另一气体。

[0080] 在一些实施例中,偏压电源 148 将电信号发送至阀 160,所述电信号使阀 160 的操作与偏压脉冲的产生在时间上同步。在其他实施例中,控制器将电信号发送至阀 160 与偏压电源 148 两者,所述电信号使阀 160 的操作与偏压脉冲的产生在时间上同步。举例而言,控制器或偏压电源 148 可将用于打开阀 160 的信号发送至阀 160,以使得当等离子体掺杂终止时的再吸附时间期间,在接近基板 146 或结构 154 处喷射吸附气体。

[0081] 接着藉由暴露至辐射源 152 而解吸附经吸附的薄膜层 146'。在许多实施例中,快速地解吸附经吸附的薄膜 146'。在一个实施例中,藉由暴露至光学辐射源(诸如,闪光灯、雷射及 / 或发光二极管)而解吸附经吸附的薄膜层 146'。举例而言,可使用用于发射可见光及 / 或紫外光的闪光灯来快速地解吸附经吸附的薄膜层 146'。在一些实施例中,由等离子体源 101 所产生的等离子体是辐射源。在此等实施例中,藉由暴露至由等离子体源 101 所产生的等离子体而解吸附经吸附的薄膜层 146'。举例而言,等离子体源 101 可产生脉冲等离子体,所述脉冲等离子体具有经选择以快速地解吸附经吸附的薄膜层 146' 的参数。

[0082] 接着,所得经解吸附的气体原子及 / 或分子提供局部高中性密度,所述局部高中性密度使由等离子体所产生的被吸引至基板 146 的离子散射,以便达成更共形的植入。引入局部高中性密度将不会显著增加等离子体源 101 中的整体压力,且因此将不会引入任何显著的不当放电,且 / 或将不会引起等离子体掺杂均一性的显著降低。

[0083] 在其他实施例中,使用其他类型的辐射源来解吸附经吸附的薄膜层 146'。举例而言,在本发明的一个实施例中,使用电子束源来产生电子束,所述电子束导向经吸附的薄膜层 146'。电子束快速地解吸附经吸附的薄膜层 146'。接着,经解吸附的气体原子及 / 或分子提供局部高中性密度,所述局部高中性密度使来自等离子体的被吸引至基板 146 的离子散射,以便达成更共形的离子植入。

[0084] 在本发明的又一实施例中,使用 X 射线源来产生 X 射线束,所述 X 射线束导向经吸附的薄膜层 146'。X 射线束快速地解吸附经吸附的薄膜层 146'。接着,经解吸附的气体原子及 / 或分子提供局部高中性密度,所述局部高中性密度使来自等离子体的被吸引至基板 146 的离子散射,以便达成更共形的植入。

[0085] 图 2A 至图 2C 呈现时序图,所述时序图说明等离子体的产生以及自外部源(即,除

等离子体以外的源)产生中性,以供执行根据本发明的共形等离子体掺杂。在本发明的一个实施例中,在共形等离子体掺杂期间,等离子体源 101 以脉冲操作模式操作。图 2A 说明适用于根据本发明的等离子体掺杂的脉冲 RF 波形 200。在 RF 脉冲 202 起始之前,脉冲 RF 波形 200 处于接地电位。RF 脉冲 202 具有等于  $P_{RF}$  204 的功率位准,所述功率位准经选择以适用于等离子体掺杂。在脉冲周期  $T_p$  206 之后,RF 脉冲 202 终止,且接着返回至接地电位。脉冲 RF 波形 200 接着以某一工作周期周期性地重复,所述工作周期取决于所要等离子体制程参数以及用以产生中性的经吸附的薄膜层 146' 的再吸附率。

[0086] 图 2B 说明由偏压源 (bias voltage supply) 148 产生的偏压波形 (bias voltage waveform) 250,所述偏压源 148 在偏压周期  $T_{Bias}$  256 期间将具有电压 254 的负电压脉冲 252 施加至基板 146 以便执行等离子体掺杂。负电压 254 将等离子体中的离子吸引至基板 146。偏压周期  $T_{Bias}$  256 可与脉冲 RF 波形 200 的脉冲周期  $T_p$  206 同步,以便仅在偏压周期  $T_{Bias}$  256 期间激励等离子体。偏压波形 250 接着以某一工作周期周期性地重复,所述工作周期取决于所要等离子体制程参数以及用以产生中性的经吸附的薄膜层 146' 的再吸附率。

[0087] 在各种实施例中,选择偏压波形 250 的脉冲频率以及工作周期两者,以便存在足够时间在基板 146 或结构 154 上发生薄膜 146' 的再吸附。举例而言,在一个实施例中,选择偏压波形 250 的脉冲频率以及工作周期,以便在各个脉冲之间发生足够再吸附。在其他实施例中,偏压波形 250 包括具有预定数目的脉冲的脉冲串,以及脉冲串之间的具有预定时间的延迟,其中所述延迟足够用于在基板 146 或结构 154 上发生薄膜 146' 的再吸附。举例而言,在一个实施例中,偏压波形 250 具有包括 100 至 1000 个脉冲的脉冲串以及脉冲串之间的在毫秒范围内的延迟,使用所述偏压波形 250 来产生足够中性以供共形等离子体掺杂。

[0088] 图 2C 说明根据本发明的辐射源 152 的强度  $I$  282 的波形 280,所述辐射源 152 解吸附经吸附的薄膜层 146' 以产生中性。在图 2C 中所示的实施例中,在 RF 脉冲 202 的波至时间 (onset),快速地脉冲启动辐射源 152 的强度  $I$  282。应了解,在各种其他实施例中,可较缓慢地起始辐射源 152 的强度  $I$  282。又,在图 2C 中所示的实施例中,辐射周期  $T_R$  284 是脉冲周期  $T_p$  206 以及偏压周期  $T_{Bias}$  256 的一部分。也应了解,在各种实施例中,辐射周期  $T_R$  284 的长度可与脉冲周期  $T_p$  206 及 / 或偏压周期  $T_{Bias}$  256 相同,乃至比  $T_p$  206 及 / 或偏压周期  $T_{Bias}$  256 长。辐射周期  $T_R$  284 的所要长度与薄膜 146' 的再吸附率相关且与强度  $I$  282 相关。

[0089] 辐射源 152 可与偏压电源 148 同步,所述偏压电源 148 用负电压脉冲 252 来偏压基板 146,所述负电压脉冲 252 将等离子体中的离子朝向基板 146 吸引。举例而言,辐射源 152 可与偏压电源 148 同步,以使得辐射源恰好在负电压脉冲 252 之前或与负电压脉冲 252 同时提供辐射猝发,所述负电压脉冲 252 将离子吸引至基板 146 以供共形等离子体掺杂。选择脉冲 RF 波形 200 的工作周期,以使得经吸附的薄膜层 146' 在负电压脉冲 252 之间充分地再吸附。

[0090] 本领域技术人员将了解,用于共形掺杂的本发明也可与现有射束线离子植入系统一起使用。射束线离子植入系统在此项技术中是众所周知的。可使用此等系统中的靶材或基板来如本文中所描述而吸附薄膜。或者,可使用一结构(诸如,结合图 1 而描述的结构 154)来根据本发明而吸附薄膜。可接着使用辐射源来解吸附经吸附的薄膜以如本文中所描

述而产生中性。所述中性使来自离子束的离子散射,藉此植入更共形的离子植入轮廓。

[0091] 等效物

[0092] 虽然结合各种实施例以及实例来描述本发明的启示,但并不希望本发明的启示限于此等实施例。相反,本领域技术人员应了解,本发明的启示涵盖在不脱离本发明的精神以及范畴的情况下可对本发明进行的各种替代、修改以及等效物。

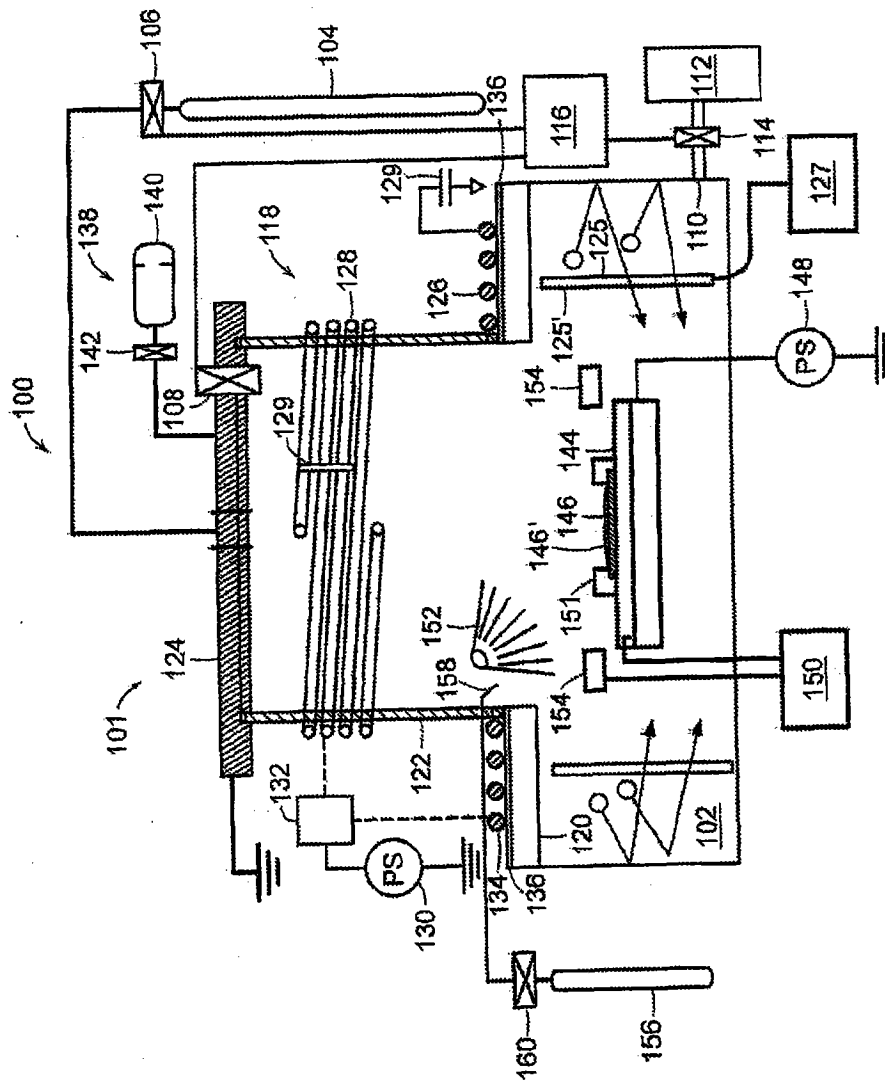


图 1

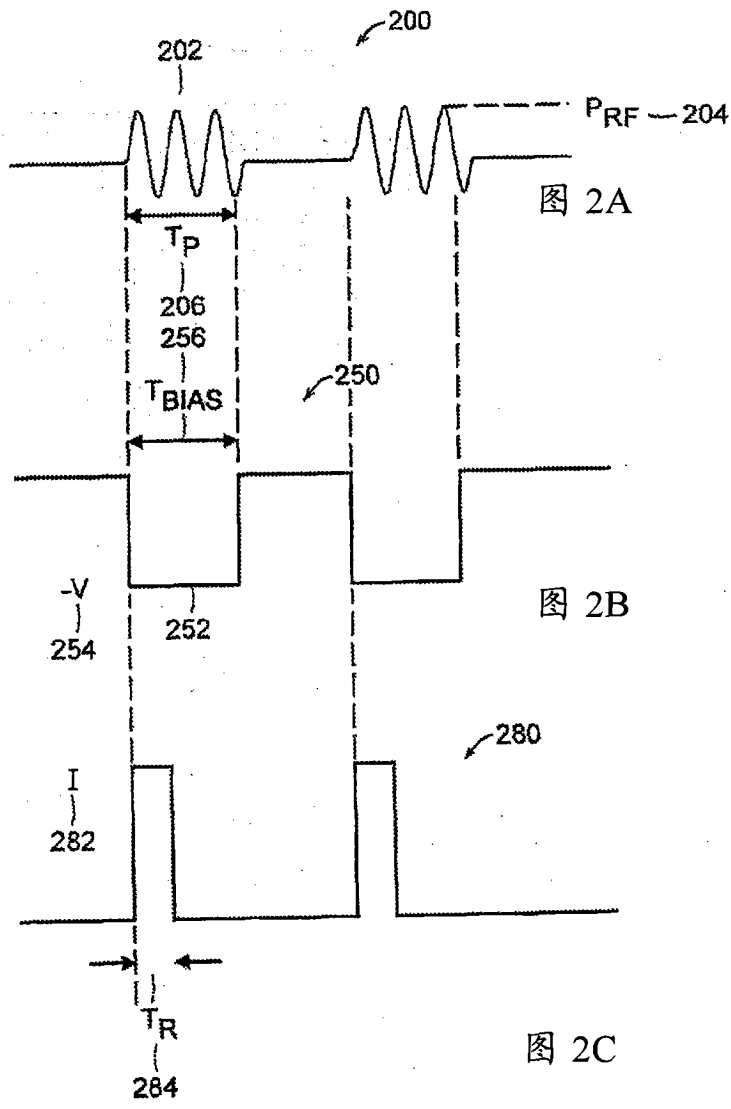


图 2A