(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 114709121 A
(43)申请公布日 2022.07.05

(21)申请号 202210352677.6

(22)申请日 2019.09.11

(30)优先权数据
62/730,198 2018.09.12 US

(62)分案原申请数据
201980057575.8 2019.09.11

(71)申请人 恩特格里斯公司
地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 J·D·斯威尼 J·R·德普雷斯
唐瀛 S·N·叶达弗
E·E·约内斯 O·比尔

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限责任公司 11287
专利代理师 李婷

(51)Int.Cl.
H01J 37/317(2006.01)
H01L 21/265(2006.01)

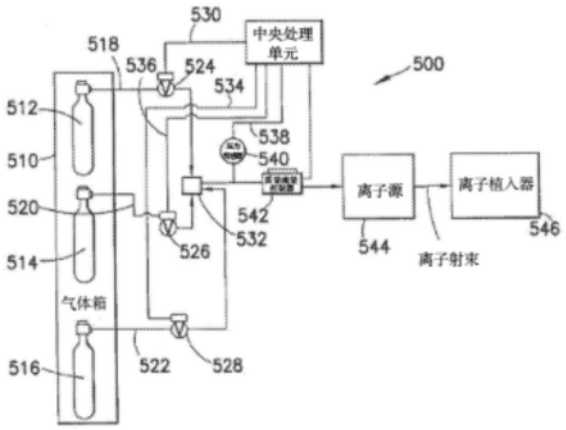
权利要求书1页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

使用镓的离子植入工艺及设备

(57)摘要

本申请实施例涉及使用镓的离子植入工艺及设备。本发明描述一种用于离子植入的离子源设备，其包含：离子源腔；及可消耗结构，其在所述离子源腔中或与所述离子源腔相关联，其中所述可消耗结构包含固体掺杂剂源材料，所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将掺杂剂以气态形式释放到所述离子源腔，其中所述固体掺杂剂源材料包括氮化镓、氧化镓或其组合，其中的任一者可关于镓同位素富含同位素。



CN 114709121 A

1.一种能够产生镓离子的离子源设备,所述设备包括:

电弧腔,其包含由包含侧壁、底部及顶部的内表面界定的内部;及

可消耗结构,其安置在所述电弧腔中,其中所述可消耗结构包括安置在所述内部中并且覆盖所述内表面中的一或多者的一或多个含镓片状结构,所述一或多个含镓片状结构包括氮化镓、氧化镓或其组合。

2.根据权利要求1所述的设备,其中所述一或多个含镓片状结构能够从所述电弧腔的所述内部移除。

3.根据权利要求1所述的设备,其中所述一或多个含镓片状结构包括至少80重量%的氮化镓。

4.根据权利要求1所述的设备,其中所述一或多个含镓片状结构包括至少80重量%的氧化镓。

5.根据权利要求1所述的设备,其中所述一或多个含镓片状结构覆盖所述腔的所述内表面的总面积的从大约5%到大约80%。

6.根据权利要求1所述的设备,其中所述氮化镓、氧化镓或其组合含有基于所述氮化镓、氧化镓或其组合中的镓的总量(原子)的大于60%的^{69}Ga。

7.根据权利要求6所述的设备,其中所述氮化镓、氧化镓或其组合中的^{69}Ga的量是在基于所述氮化镓、氧化镓或其组合中的镓的总量(原子)的从65%到100%的范围内。

8.根据权利要求1所述的设备,其中所述氮化镓、氧化镓或其组合含有基于所述氮化镓、氧化镓或其组合中的镓的总量(原子)的大于40%的^{71}Ga。

9.根据权利要求8所述的设备,其中所述氮化镓、氧化镓或其组合中的^{71}Ga的量是在基于所述氮化镓、氧化镓或其组合中的镓的总量(原子)的从45%到100%的范围内。

10.根据权利要求1所述的设备,其包括与所述内表面流体连通的反应气体源。

使用镓的离子植入工艺及设备

[0001] 本申请是申请日为2019年9月11日、申请号为201980057575.8、发明名称为“使用镓的离子植入工艺及设备”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及离子植入系统及方法，其中在离子植入设备的离子源腔中原位提供或产生镓物种，其中所述系统及方法的实例涉及作为固体镓掺杂剂前体组合物的氮化镓及氧化镓前体。

背景技术

[0003] 在使用掺杂剂源材料进行电离以形成用于离子植入的掺杂剂物种时，已开发用于产生掺杂剂物种的多种掺杂剂源材料。

[0004] 在许多情况中，掺杂剂源材料不具有足够高蒸气压来高效地递送到离子植入系统的离子源腔。因此，使用具有低蒸气压的此类掺杂剂源材料可需要离子植入设备的大量工具修改以能够在使掺杂剂源材料充分挥发且防止其冷凝及沉积于离子植入系统的流线中所需的高温下进行递送。因此，必须采用适应此高温操作的蒸发器及流动回路。

[0005] 然而，使用高温是有问题的，因为掺杂剂源材料可易于分解且发生副反应，此使离子植入工艺难以控制在用于产生离子植入结构及装置的可允许容限内。另外，高温的使用限制控制阀的使用，使得蒸汽流量控制受到不利影响。这些因素又导致从一个掺杂剂源材料到另一掺杂剂源材料的长转换时间，且在蒸发器的安装或更换或再填充期间，还可在蒸发器未与周围环境隔离时带来安全隐患。

[0006] 在作为掺杂剂物种的镓的离子植入中已遇到前述问题，其中可接受掺杂剂源材料的选择是有限的，这是归因于具有足够高蒸气压以高效地递送到离子植入系统的离子源腔的相对少量馈送材料。因此，离子植入技术继续寻求新镓前体组合物。

[0007] 提供使低蒸气压掺杂剂源材料能够在用于植入对应掺杂剂物种(如在镓掺杂剂物种的情况中，其中存在相对少高蒸气压掺杂剂前体)的离子植入应用中高效地使用的新方法将为所属领域中的重大进展。

发明内容

[0008] 本发明涉及离子植入设备及工艺，其中以允许使用固体、低蒸气压镓源材料的方式产生镓掺杂剂物种。

[0009] 在一个方面中，本发明涉及一种用于离子植入的离子源设备，其包括：离子源腔；及可消耗结构，其在所述离子源腔中或与所述离子源腔相关联，所述可消耗结构包括含有氮化镓或氧化镓的固体掺杂剂源材料；所述氮化镓或氧化镓易于与反应气体反应以将镓以气态形式释放到所述离子源腔。

[0010] 在另一方面中，本发明涉及一种进行离子植入的方法，其包括：在用于所述离子植入的离子源腔中产生电离镓，其中所述离子源腔具有与其相关联的可消耗结构，且其中所

述可消耗结构包括固体掺杂剂源材料，所述固体掺杂剂源材料包括氮化镓或氧化镓，所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将镓以气态形式释放到所述离子源腔以在其中进行电离以形成电离镓作为掺杂剂，所述方法包括使所述可消耗结构与所述反应气体接触以产生电离镓。所述固体掺杂剂源材料可含有氮化镓(GaN)、氧化镓(Ga_2O_3)、氮化镓(GaN)或氧化镓(Ga_2O_3)的富含同位素类似物，包括富含同位素^{69}Ga或^{71}Ga高于天然丰度的镓或其组合。

[0011] 在进一步方面中，本发明涉及一种改进离子植入系统关于其射束电流、离子源寿命及干扰率(glitch rate)特性中的至少一者的性能的方法，所述方法包括：在所述离子植入系统的离子源腔中产生电离镓，其中所述离子源腔具有与其相关联的可消耗结构，且其中所述可消耗结构包括固体掺杂剂源材料，所述固体掺杂剂源材料包括氮化镓、氧化镓或氮化镓与氧化镓的组合，所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将镓以气态形式释放到所述离子源腔以在其中进行电离以形成电离镓，所述方法包括使所述可消耗结构与所述反应气体接触。

[0012] 本发明还涉及固体镓前体组合物，其具有用于离子植入及其它半导体制造及工业应用的效用且含有氮化镓、氧化镓或两者且呈可用作电弧腔的可更换衬垫的固体片状材料的形式。

[0013] 本发明的进一步方法涉及一种镓离子植入工艺，其包括：使镓前体电离以形成镓植入物种；及将所述镓植入物种植入衬底中，其中所述镓前体包括选自以下项的一或多个前体材料：氮化镓(GaN)、氧化镓(Ga_2O_3)或其组合的富含同位素类似物，包括富含同位素^{69}Ga或^{71}Ga高于天然丰度的镓或其组合。

附图说明

[0014] 图1是离子植入系统的示意性表示，其包含具有气体馈送线的电弧腔以将掺杂剂源气体馈送到电弧腔以在腔中使其电离。

[0015] 图2是图1离子植入系统的横截面，其示意性地展示在此系统的电弧腔中产生等离子体。

[0016] 图3是离子源组合件的横截面透视图，其包括离子源设备及用于离子源设备的热管理的散热器设备。

[0017] 图4是离子植入工艺系统的示意性表示，其包含含有气体的存储及施配容器，所述气体经供应用于衬底在所说明离子植入腔中的离子植入掺杂。

[0018] 图5是离子植入系统的离子源的横截面视图。

[0019] 图6是包括工艺监测及控制系统的离子植入系统的示意性表示。

[0020] 图7A展示使用三甲基镓前体的射束电流数据。

[0021] 图8A是如描述的离子源腔的自上而下视图，其含有氧化镓可更换衬垫作为可消耗结构。

[0022] 图8B到8E通过使用氧化镓可更换衬垫作为前体而展示镓离子射束电流数据。

[0023] 图9A是如描述的离子源腔的自上而下视图，其含有氮化镓可更换衬垫作为可消耗结构。

[0024] 图9B到9D通过使用氮化镓可更换衬垫作为前体而展示镓离子射束电流数据。

[0025] 图10A是如描述的离子源腔的自上而下视图，其含有氧化镓可更换衬垫作为可消耗结构且还含有氮化镓可更换衬垫作为可消耗结构。

[0026] 图10B是图10A的离子源腔的侧视透视图。

[0027] 图10C及10D展示通过使用氮化镓可更换衬垫及氧化镓可更换衬垫的组合作为前体的镓离子射束电流数据。

具体实施方式

[0028] 本发明涉及离子植入，且在各种方法中涉及其中以允许使用低蒸气压掺杂剂源材料的方式产生镓掺杂剂的设备及方法。

[0029] 在一个方面中，本发明涉及一种用于离子植入的离子源设备。所述设备包含离子源腔及在离子源腔中或与离子源腔相关联的可消耗结构。可消耗结构包含固体掺杂剂源材料，所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将掺杂剂以气态形式释放到离子源腔。固体掺杂剂源材料包含氮化镓、氧化镓或这些的组合。任选地，氮化镓(GaN)、氧化镓(Ga_2O_3)或其组合的镓可含有富含同位素^{69}Ga或^{71}Ga高于天然丰度的镓或其组合。

[0030] 离子源设备中的可消耗结构可包括安置于离子源腔中的片状结构，例如衬垫或离子源腔的其它结构组件。衬垫可为可移除衬垫，此意味着具有两个相对主要表面及其间的厚度的可消耗结构的平坦(例如，平面)件。衬垫可为矩形、弯曲(例如，圆形)、角度或其它形状。衬垫可为可移除的，此意味着衬垫可插入离子源腔的内部空间及从所述内部空间移除。可移除衬垫可用于其中从可移除衬垫产生镓离子的处理周期，且在产生镓离子的有用量的处理之后，可移除衬垫可从离子源设备移除且更换为另一可移除衬垫。

[0031] 在本发明的其它实施例中，片状结构可具有不同大小及形状以适配于电弧腔内部。在某些实施例中，电弧腔的侧壁、底部或顶部的一或多个片材可更换为片状结构。

[0032] 根据有用或优选离子源腔的某些实例，离子源的腔的内部可包含一或多个片材或衬垫，所述一或多个片材或衬垫可为可移除的且可覆盖腔的总内表面区域的从约5％到约80％，举例来说，在总内表面区域的10％、15％、20％、30％、50％或70％之间。针对此计算，总内表面区域包含内部的全部平面区域，其包含由不期望被覆盖的特征(例如对阴极、阴极或允许气体或离子进入或离开电弧腔的入口或出口开口)以其它方式占据或覆盖的区域。

[0033] 在其它实例中，可消耗结构可为以其它方式与离子源腔相关联的结构，例如耦合到离子源腔(但在离子源腔内部之外)的气体递送管或具有相关联特性的其它结构组件，所述结构组件经构造及布置以由于和与结构组件接触的反应气体反应而将掺杂剂以气态形式提供到离子源腔的内部。

[0034] 离子源腔可含有由不同镓材料制成的可消耗结构。单个离子源腔可包含一或多个可移除衬垫、气体递送管等的组合，其中不同个别可移除衬垫或气体递送管含有相同离子源腔中的GaN及Ga_2O_3的组合；单个离子源腔可包含含有GaN的一或多个衬垫与含有Ga_2O_3的一或多个衬垫的组合；即，本说明书的实施例涉及离子源腔及使用离子源腔的方法，其中离子源腔包含两种镓前体材料，使一者含有GaN且使一者含有Ga_2O_3，每一前体材料可为例如可移除衬垫或气体递送管的可消耗结构的部分。

[0035] 可消耗结构具有形状、形式及大小，例如从而可通过与反应气体反应而消耗以形成前体，而不会不利地影响离子源设备或辅助装备的物理完整性，即，即使可消耗结构将被

完全消耗，离子源腔及辅助装备仍将维持其物理完整性。举例来说，可消耗结构可包括与反应气体流动通道同轴的管状部件，其中可消耗管状部件的消耗不损害可消耗管状部件安置于其中的反应气体流动通道的物理完整性。因此，可消耗结构包括物理质量，且可具有片状、杆、管状、环形、圆盘或其它适当形式以作为反应气体的目标。

[0036] 在特定实例中，可消耗结构可包括氮化镓、氧化镓或其组合或由其构成或基本上由其构成。实例性可消耗结构可包括至少50、60、70、80、90或95重量％的氮化镓、氧化镓或其组合。根据本说明书，被称为“基本上由”所列出材料或材料组合“构成”的材料或结构是含有所列出材料或材料组合和不超过非大体量的任何其它成分或材料的材料或结构；因此，基本上由氮化镓、氧化镓或其组合构成的可消耗结构含有至少97、99或99.5重量％的氮化镓、氧化镓或其组合和不超过3、1或0.5重量％的任何其它材料。

[0037] 在此设备的操作中使用的反应气体或混合气体可具有将有效地与固体掺杂剂源材料(氮化镓或氧化镓)反应以将镓以气态形式释放到离子源腔的任何适合类型。适用于此目的的阐释性气体包含BF_3、B_2F_4、SiF_4、Si_2F_6、GeF_4、PF_3、PF_5、AsF_3、AsF_5、XeF_2、XeF_4、XeF_6、WF_6、MoF_6、C_nF_{2n+2}、C_nF_{2n}、C_nF_{2n-2}、$C_nH_xF_{2n+2-x}$、$C_nH_xF_{2n-x}$、$C_nH_xF_{2n-2-x}$(n＝1,2,3..,x＝0,1,2…)、COF_2、CO、CO_2、SF_6、SF_4、SeF_6、NF_3、N_2F_4、HF、Xe、He、Ne、Ar、Kr、N_2、H_2。反应气体的组合的实例包含：BF_3与H_2；SiF_4与H_2；BF_3与Xe；SiF_4与Xe；BF_3及H_2与Xe；以及SiF_4及H_2与Xe。

[0038] 本发明的进一步方法涉及一种进行离子植入的方法。所述方法包含：在用于离子植入的离子源腔中产生电离镓，其中离子源腔具有与其相关联的可消耗结构，且其中可消耗结构包含固体掺杂剂源材料，所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将镓以气态形式释放到离子源腔以在其中进行电离以形成电离镓物种。所述方法包含使可消耗结构与反应气体反应以产生电离掺杂剂物种。固体掺杂剂源材料包含氮化镓、氧化镓或这些的组合。固体掺杂剂源中的镓可任选地富含同位素。

[0039] 在此方法中，可消耗结构可包括安置于离子源腔中的片状结构，例如可更换衬垫或离子源腔的其它片状结构。可消耗结构可替代地或另外包括与离子源腔相关联的结构，例如耦合到离子源腔的气体递送管。

[0040] 本发明的又一进一步方法涉及一种改进离子植入系统关于其射束电流、离子源寿命及干扰率特性中的至少一者的性能的方法，所述方法包括：在所述离子植入系统的离子源腔中产生电离掺杂剂物种，其中离子源腔具有与其相关联的可消耗结构，且其中可消耗结构包括固体掺杂剂源材料，所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将掺杂剂以气态形式释放到离子源腔以在其中进行电离以形成所述电离掺杂剂物种，所述方法包括使可消耗结构与反应气体接触以产生电离掺杂剂物种。固体掺杂剂源材料含有氮化镓、氧化镓或这些的组合。在此方法中使用的固体掺杂剂源材料可包括富含同位素掺杂剂源材料，所述富含同位素掺杂剂源材料含有其至少一个同位素高于天然丰度的富含同位素镓。

[0041] 在各种实施例中，工艺系统可为离子植入系统，其中包括氮化镓或氧化镓的镓反应物被并入到离子植入系统的电弧腔中(可消耗结构中)。工艺系统可包括半导体工艺系统(例如，离子植入系统)或其它工艺系统，例如用于制造太阳能板或平面显示器产品的工艺系统。前体可包括从例如氮化镓(GaN)或氧化镓(Ga_2O_3)的镓反应物原位产生的镓前体。在此设备的操作中使用的反应气体或混合气体可具有将有效地与固体掺杂剂源材料(氮化镓或氧化镓)反应以将镓以气态形式释放到离子源腔的任何适合类型。适用于此目的的阐释性

气体包含BF_3、B_2F_4、SiF_4、Si_2F_6、GeF_4、PF_3、PF_5、AsF_3、AsF_5、XeF_2、XeF_4、XeF_6、WF_6、MoF_6、C_nF2_{n+2}、C_nF_{2n}、C_nF_{2n-2}、$C_nH_xF_{2n+2-x}$、$C_nH_xF_{2n-x}$、$C_nH_xF_{2n-2-x}$(n＝1,2,3..,x＝0,1,2…)、COF_2、CO、CO_2、SF_6、SF_4、SeF_6、NF_3、N_2F_4、HF、Xe、He、Ne、Ar、Kr、N_2、H_2。反应气体的组合的实例包含:BF_3与H_2;SiF_4与H_2;BF_3与Xe;SiF_4与Xe;BF_3及H_2与Xe;及SiF_4及H_2与Xe。此外,其它反应气体可包含上文列表的富集气体。举例来说,但不限于eBF_3、eGeF_4。

[0042] 在前述方法中,气态共反应物的流速可经控制以实现作为工艺系统中的反应产物产生的前体的受控流速。

[0043] 在各种特定实施例中,镓反应物可含于工艺系统中的反应器(例如,经加热反应器)中。工艺系统可相应地包括离子植入系统,其中反应器温度气态共反应物流速经控制以实现预定离子植入射束电流。

[0044] 前述方法可以其中通过控制工艺控制镓前体的原位形成的方式实行,所述控制工艺包含以下中的至少一者:(i)测量通过使气态共反应物与镓反应物接触而形成的前体的量;(ii)识别及量化气态共反应物与镓反应物接触的反应产物;(iii)在所述接触之后检测未反应气态共反应物的量;及(iv)检测射束电流,其中工艺系统包括离子植入系统。

[0045] 在其中使用专用反应器的其它实施例中,反应器可包含多个反应器床,所述反应器床经布置用于在达到使镓反应物空乏的端点条件时将反应气流从所述多个反应器床中的一者切换到含有镓反应物的所述多个反应器床中的另一者。

[0046] 在此类多床反应器布置中,切换的端点条件可由以下中的一或多者确定:实现总计气态共反应物流量的预定检测;检测下降射束电流;及分析来自多个反应器床的运行反应器床的离开气体。

[0047] 上述方法可另外使用富集高于其至少一个同位素的天然丰度的前体镓反应物。

[0048] 在其它实施例中,可实行上文描述的方法,其中使共流气体(例如,稀释剂、平衡导向气体、清洗气体等)根据需要流动到或流动通过工艺系统。

[0049] 现参考图式,图1是离子植入系统10的示意性表示,其包含具有气体馈送线14的电弧腔12以将掺杂剂源气体馈送到电弧腔以在腔中使其电离。电弧腔12因此提供离子源腔,可提供所述腔中或与所述腔相关联的可消耗结构,所述可消耗结构包括固体掺杂剂源材料,所述固体掺杂剂源材料包括氮化镓或氧化镓,所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将镓以气态形式释放到腔。

[0050] 图2是图1离子植入系统10的横截面,其示意性地展示在此系统的电弧腔12中产生等离子体16。使掺杂剂气体在由箭头A指示的方向上流动到掺杂剂气体馈送线14中,使监测热电偶TC1及TC2以监测关系固定到其以确定馈送线及进入电弧腔的气体的热状态的质量,如在结合使用离子植入系统的热管理系统时可期望。掺杂剂气体馈送线14可包括具有由固体掺杂剂源材料形成的内层的管道或导管,所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将掺杂剂以气态形式释放到离子源腔。以此方式,可使反应载体气体流动通过掺杂剂气体馈送线,且反应性地产生掺杂剂物种(即,镓)。由反应载体气体将掺杂剂物种运送到离子植入系统的离子源腔中。

[0051] 图3是离子源组合件的横截面透视图,其包括离子源设备70及用于系统的热管理的选用散热器设备50。此横截面视图展示连接到气体馈送插塞中的气体流动通道84及与离子源相关联的气体衬套中的气体流动通道86的掺杂剂源气体馈送线72。

[0052] 图3中展示的离子源设备包含可由固体掺杂剂源材料(例如,氮化镓或氧化镓)形成的基底衬垫80,所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将掺杂剂以气态形式释放到离子源腔,如将掺杂剂提供到离子源腔的原位产生方法。衬垫80可经修改以在其中包含开口82以在利用易于分解的掺杂剂源气体时提供进一步改进离子源操作寿命。

[0053] 前述布置说明提供在离子源腔中或与离子源腔相关联的可消耗结构,所述可消耗结构包括固体掺杂剂源材料(例如,氮化镓或氧化镓),所述固体掺杂剂源材料易于与反应气体反应以将掺杂剂以气态形式释放到离子源腔。作为离子植入系统的可消耗组件,可消耗结构可针对操作寿命进行监测,且根据正在进行的维护计划进行更换。

[0054] 图4是离子植入工艺系统300的示意性表示,其包含固持反应气体的存储及施配容器302,所述反应气体经供应用于与离子源腔中的掺杂剂源反应物(例如,氮化镓或氧化镓)进行原位反应以产生掺杂剂物种(镓)以用于衬底328在所说明离子植入腔301中的离子植入掺杂。

[0055] 存储及施配容器302包括围封固持反应气体的内部体积的容器壁306。

[0056] 容器可为具有常规类型的气体钢瓶,其具有经布置以仅固持气体的内部体积,或替代地,容器可含有对反应气体具有吸附亲和力的吸附剂材料,且来自所述吸附剂材料的共反应物源气体是可解吸的以在施配条件下从容器排放。

[0057] 存储及施配容器302包含与排放线312气流连通耦合的阀头308。压力传感器310连同质量流量控制器314安置于线312中。其它监测及感测组件可与线耦合且与例如致动器、反馈及计算机控制系统、循环定时器等的控制构件介接。

[0058] 离子植入腔301含有接收来自线312的经施配反应气体的电离器316,所述经施配反应气体与在电离器腔中提供或与电离器腔相关联的掺杂剂源反应物反应以产生掺杂剂物种(镓),所述掺杂剂物种在电离条件下在电离器腔中产生离子射束305。离子射束305行进通过质量分析器单元322,质量分析器单元322选择所需离子且排斥非选定离子。

[0059] 选定离子行进通过加速电极阵列324及接着通过偏转电极326。所得聚焦离子射束照射在安置于可旋转固持器330上(其又安装于心轴332上)的衬底元件328上以形成经掺杂(掺杂镓)的衬底作为离子植入产物。

[0060] 分别通过泵320、342及346通过线318、340及344排放离子植入腔301的相应区段。

[0061] 图5是离子源的横截面视图,例如可在图4中展示的类型的离子植入系统中有用地采用且在2000年10月24日发布的M.A.格拉夫(M.A.Graf)等人的美国专利6,135,128中更充分描述。

[0062] 离子源112包括界定等离子体腔122的外壳及离子萃取器组合件。将能量赋予由掺杂剂源反应物及反应气体形成的可电离掺杂剂气体以在等离子体腔122内产生离子。一般来说,产生正离子,但系统可替代地经布置以产生负离子。通过离子萃取器组合件124通过等离子体腔122中的狭缝萃取正离子,离子萃取器组合件124包括多个电极142。因此,离子萃取器组合件用于通过萃取孔径板146从等离子体腔萃取正离子的射束且使经萃取离子朝向质量分析磁体(图5中未展示)加速。

[0063] 反应气体可从此气体的源166流动且通过其中含有质量流量控制器168的导管170注射到含有掺杂剂源反应物或具有与其相关联的掺杂剂源反应物的等离子体腔122中。源166可包含基于吸附剂的气体存储及供应容器(例如,具有如以商标SDS购自应特格公司

(Entegris,Inc.)(美国马萨诸塞州比勒利卡(Billerica Massachusetts,USA))的类型)、包含内部气压调节器的压力调节容器(例如,具有以商标VAC购自应特格公司(美国马萨诸塞州比勒利卡)的类型)或在采用固体共反应物材料时,源166可包含固体源容器(例如,具有如以商标ProE-Vap购自应特格公司(美国麻萨诸塞州比勒利卡)的类型)。等离子体腔122具有导电腔壁412、414、416,其限定腔内部的电离区420以使掺杂剂源反应物及反应气体的反应产物电离。侧壁414绕等离子体腔122的中心轴415呈圆形对称。面向分解磁体的导电壁416连接到等离子体腔支撑件422。壁416支撑具有多个开口的孔径板146,所述开口允许离子离开等离子体腔122且接着组合以在多个隔开且电隔离的萃取电极142下游的位置处形成离子射束。孔径板146包含布置为指定图案的数个开口,其与隔开的萃取电极142中的类似配置的多个孔径对准。图5中仅展示一个此孔径。

[0064] 金属天线430具有暴露于腔内部的金属表面432以将能量发射到等离子体腔122中。等离子体腔122外部的电力供应器434使用具有适合特性的射频(RF)信号(例如,约13.56百万赫(MHz)的RF信号)通电到金属天线430以在金属天线中建立交流电以引起等离子体腔122内的电离电场。天线的功率可具有适用于特定电离操作的任何量值,例如约500到3000瓦特(W)的功率。源腔中的压力可为例如约1到10毫托,使得源112用作低压、高密度感应源。等离子体腔122还可包含延伸穿过天线430与孔径板146之间的腔内部的区的磁性滤波器组合件440。

[0065] 可通过可移除支撑板450将天线430定位于等离子体腔122内。通过侧壁414在具有天线延伸穿过其圆形切口452的位置处支撑支撑板450。用于天线430的支撑板450经定大小以适配于腔壁414中的切口452内,同时使天线430的经暴露U状金属部分432定位于电离区420内。

[0066] 支撑板450界定容纳两个真空压力配件456的两个贯穿通路。在将天线430的长形脚部片段457推动通过配件之后,将端盖458螺合到配件上以密封配件456与脚部片段457之间的接触区。天线430优选地在其辐射发射区中是U状且可例如由铝构成。管具有经定尺寸以穿过压力配件456的外径。在使用时,天线吸收来自其周围的热。为消散此热,将冷却剂绕送通过管的中心。

[0067] 板450具有暴露到等离子体腔的内部的大体上平坦表面460且包含背向腔内部的平行外表面462。板450的凸缘部分464上覆于环形磁体470,环形磁体470围绕壁414中的切口且通过连接器472附接到壁414。附接到支撑板450的铁磁插入件474适配于磁体470上方,使得在板450定位于切口452内时,铁磁插入件474及磁体470彼此吸引以将板450固定于适当位置中以使天线430延伸到腔内部。

[0068] 在离子源的操作期间,产生热且由壁412、414、416、418吸收此热。可通过经由配件476引入的冷却剂从腔122移除经吸收热,所述配件476将水绕送到穿过壁的通路中且通过第二出口配件(未展示)离开腔。通过此布置,壁的温度可维持在低于100℃的温度,使得离子源112用作冷壁离子源。

[0069] 在离子植入器的操作期间,天线430的靠近支撑板450的区尤其易于涂布有溅射材料。为最小化此溅射的效应,在将天线插入到支撑板450中之前,两个屏蔽件480可在铝天线上方滑移。这些屏蔽件优选地由铝构成且通过屏蔽件与天线430的经暴露铝的外表面之间的摩擦适配维持在适当位置中。

[0070] 在离子源112的操作期间，掺杂剂元素的沉积物可形成于限定电离区420的内壁412、414及416上。在离子源112在正常操作条件下操作时，清洗气体可与反应气体同时流动。可提供清洗气体源482及对应质量流量控制器484，其中质量流量控制器484的清洗气体输出在被递送到等离子体腔122之前与质量流量控制器168的反应气体输出组合于导管170中。替代地，可将反应气体及清洗气体分开递送到等离子体腔。作为进一步替代方案，清洗气体可在其活性离子植入操作之后流动到等离子体腔。

[0071] 将认识到，反应气体源166可含有反应气体与清洗材料及/或其它材料(例如稀释剂、平衡导向材料、冷却剂等)的组合。

[0072] 图6是包括离子源腔544及工艺监测及控制系统的离子植入系统500的示意性表示。

[0073] 如展示，离子植入系统500包含其中安置气体供应钢瓶的气体箱510，包含：反应气体钢瓶512，其耦合到其中具有流量控制阀524的施配线518；清洗流体钢瓶514，其耦合到其中具有流量控制阀526的施配线520；及稀释流体钢瓶516，其耦合到其中具有流量控制阀528的施配线522。钢瓶512中的反应气体经布置用于与在离子源腔544(图6中未展示)中提供或与离子源腔544相关联的掺杂剂源反应物反应。

[0074] 阀524、526及528分别通过信号传输线530、536及534连接到中央处理单元(CPU)，借此CPU可操作以在特定程度上响应于循环时间程序或产生提供对由CPU监测的工艺条件及/或组件的阀调制响应的CPU能力的其它信号而打开或关闭相应阀。

[0075] 耦合到相应钢瓶的施配线518、520及522终止于混合腔532，使得相应反应气体、清洗流体及稀释流体中的多者可根据需要选择性地彼此混合。替代地，单个钢瓶(即，反应气体钢瓶512)可经布置以将其内容物施配到腔532以从此流动到其中含有压力传感器540及质量流量控制器(MFC)542的馈送线且从此流动到离子源腔544。离子源腔544经布置用于电离操作以使通过反应气体与掺杂剂源反应物反应而在其中产生的掺杂剂源电离。进行电离操作以产生离子射束以传输到离子植入器腔546。离子植入器腔546含有安装于其中的半导体或其它微电子装置衬底以将选定电离掺杂剂物种植入衬底中。

[0076] 在图6的此阐释性系统中，通过信号传输线538将到离子源的馈送线中的压力传感器540以信号传输关系链接到CPU。还通过信号传输线将质量流量控制器以信号传输关系链接到CPU。通过压力传感器的此布置，产生与馈送线中的压力相关的信号且在线538中将其传输到CPU以用于监测目的。

[0077] 在反应气体流动到离子源的期间，馈送线中的压力由压力传感器540感测且在信号传输线538中传输到CPU。

[0078] 接着，CPU可响应地调制反应气体到离子源腔的流量。CPU还可通过凭借在信号传输线536中发送到阀的控制信号打开流量控制阀526而控制清洗流体从钢瓶514到馈送线中的流量。替代地，可减小到离子源的电弧功率。作为又进一步替代方案，反应气体的驻留时间可通过以下方法而减少：增加反应气体的流速；由在信号传输线530中传输到阀的控制信号打开阀524；及/或添加清洗流体及/或稀释流体，使得体积流速的总增加导致反应气体在流动回路及离子源腔中的驻留时间减少。以此方式，可控制地调制反应气体与掺杂剂源反应物的反应以提供适当离子植入系统操作。

[0079] 在另一方面中，本发明涉及镓离子植入工艺，其包括：使镓前体电离以形成镓植入

物种;及将镓植入物种植入衬底中。镓前体含有氮化镓、氧化镓或氮化镓或氧化镓的富含同位素类似物(其包括富含同位素^{69}Ga或^{71}Ga高于天然丰度的镓)且可任选地呈可消耗结构的形式。

[0080] 特定实施例包含其中镓前体富含同位素^{69}Ga高于天然丰度的工艺及其中镓前体富含同位素^{71}Ga高于天然丰度的工艺。

[0081] 如上文在进一步方法中广泛描述的离子植入工艺可使用包括富含同位素^{69}Ga高于60%的镓前体的前体材料实行。举例来说,前体中的镓的总量中的^{69}Ga的量可在具有选自65%、70%、75%、80%、85%、90%及95%中的下限及大于下限且选自75%、80%、85%、90%、95%、98%、99%、99.5%、99.8%、99.9%及100%中的上限的范围内。在各种实施例中,前体中的镓的总量中的^{69}Ga的量可在从65%到100%的范围内。

[0082] 替代地,上文广泛描述的离子植入工艺可使用包括富含同位素^{71}Ga高于40%的镓前体的前体材料实行。此前体中的镓的总量中的^{71}Ga的量可在具有选自45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%及95%中的下限及大于下限且选自75%、80%、85%、90%、95%、98%、99%、99.5%、99.8%、99.9%及100%中的上限的范围内。在特定实施方案中,前体中的镓的总量中的71Ga的量可在从45%到100%的范围内。

[0083] 实例

[0084] 根据本发明,在用于电弧腔中时,含有氮化镓(GaN)或含有氧化镓(Ga_2O_3)或这些的组合的固体前体(例如,呈可更换衬垫的形式)可产生有用或有利的射束电流,同时还导致有用或相对长源寿命。具体来说,当与使用气态三甲基镓$Ga(CH_3)_3$作为前体比较时,在离子源腔中,如本文中描述的由氮化镓或氧化镓制成的固体前体(例如,形成为可更换离子源腔衬垫)可产生有用或有利高射束电流且可提供镓离子源,所述镓离子源在大体上大于由气态三甲基镓提供的时间周期的时间周期内可为连续的。

[0085] 1.气态三甲基镓前体(比较)。

[0086] 图7A展示使用各种流量位准的三甲基镓作为前体,以以下测试反应器条件实现的Ga+射束电流的实例。

[0087] 电弧电压=60V

[0088] 源射束=20mA

[0089] 如图7A处展示,在1sccm、电弧电压60V及源射束20mA下,实现高达4.728mA的Ga+射束电流。在1.25sccm下,实现4.818mA射束电流。但射束在所述时间是不稳定的。

[0090] 在射束变得不稳定之前,源仅能够操作最多2小时。射束不稳定性据信是归因于内部的碳/镓累积物的形式的离子腔的污染,其中从三甲基镓衍生出碳/镓。

[0091] 2.氧化镓前体

[0092] 图8A到8E展示通过使用固体氧化镓作为可更换腔衬垫,以不同类型及量的共反应物及以下一般测试条件而实现的Ga+射束电流的实验实例:

[0093] 电弧电压=不同(60V、90V、120V)

[0094] 源射束=20mA

[0095] 共反应物=不同

[0096] 图8A是离子源腔的内部的自上而下视图,其包含在相邻于对阴极的内部的底表面处(在图中,腔的左端)的可更换氧化镓片材。离子源腔的全部其它内表面(底部、侧及顶部

的其余部分)是钨。

[0097] 图8B展示在不同BF_3流速及电弧电压下实现有用射束电流。

[0098] 图8C、8D及8E展示作为共反应物的氙、具有不同氢含量的BF_3及作为共反应物的SiF_4的射束电流值。

[0099] 3.氮化镓

[0100] 图9A到9D展示通过使用氮化镓、不同共反应物及以下一般测试条件而实现的射束Ga+电流的实例：

[0101] 电弧电压＝不同(60V、90V、120V)

[0102] 源射束＝20mA

[0103] 共反应物＝不同

[0104] 图9A是离子源腔的内部的自上而下视图，其包含在相邻于对阴极的内部的底表面处(在图中，腔的左端)的可更换氧化镓片材。离子源腔的全部其它内表面是钨。

[0105] 图9B展示在不同BF_3流速及电弧电压下实现有用射束电流。

[0106] 图9C及9D展示作为共反应物的氙及SiF_4的射束电流值。

[0107] 4.离子源腔中的氮化镓可消耗结构与单独氧化镓可消耗结构的组合

[0108] 图10A到10D展示通过在单个离子源腔中使用氮化镓作为可消耗结构(可更换衬垫)与单独氧化镓可消耗结构(可更换衬垫)的组合，以不同共反应物及以下一般测试条件而实现的Ga+射束电流的实例：

[0109] 电弧电压＝不同(60V、90V、120V)

[0110] 源射束＝20mA

[0111] 共反应物＝不同

[0112] 图10A是离子源腔的内部的自上而下视图，其包含在相邻于对阴极的内部的底表面处(在图中，腔的左端)的可更换氧化镓片材及在相邻于阴极的内部的底表面处(在图中，腔的右端)的第二可更换氮化镓片材。图10B是在内底表面处具有氧化镓及氮化镓的可更换片材的内部的侧视透视图。

[0113] 离子源腔的全部其它内表面是钨。

[0114] 图10C展示在不同BF_3流速下实现的有用射束电流，且射束电流不经受BF_3的较高流速下的射束电流减少。

[0115] 图10D展示在将氙用作共反应物气体时的有用射束电流值。

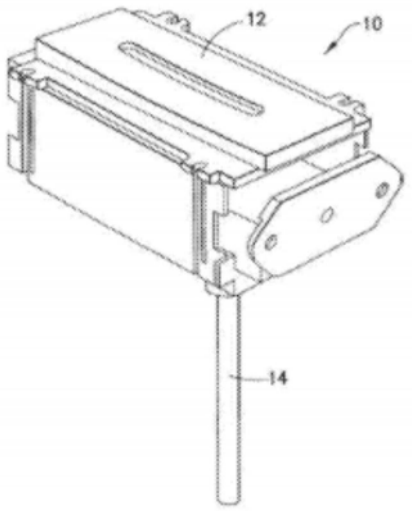


图1

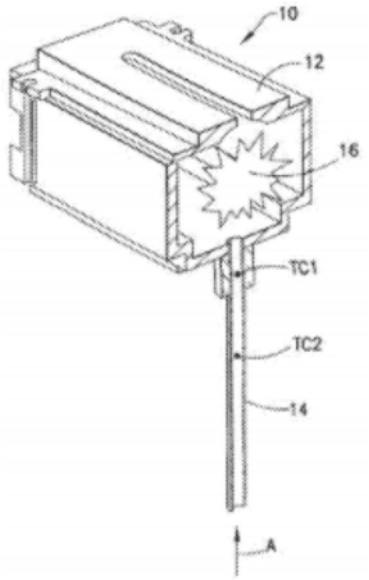


图2

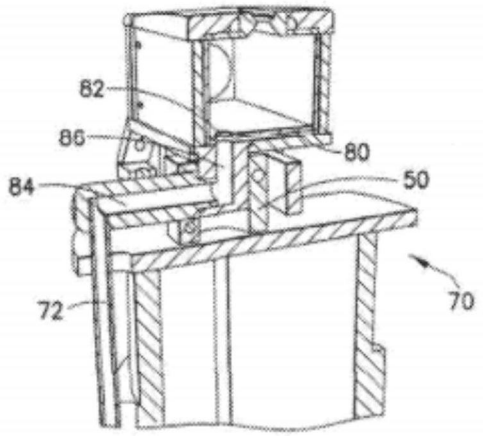

82
86
80
84
50
70
72

图3

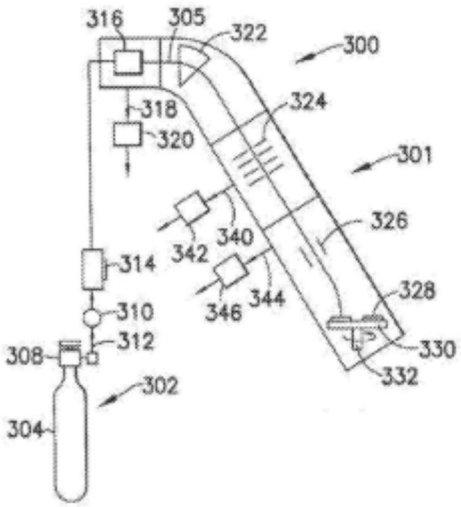

316
305
322
300
318
324
320
301
326
340
342
314
328
344
346
310
330
312
308
332
302
304

图4

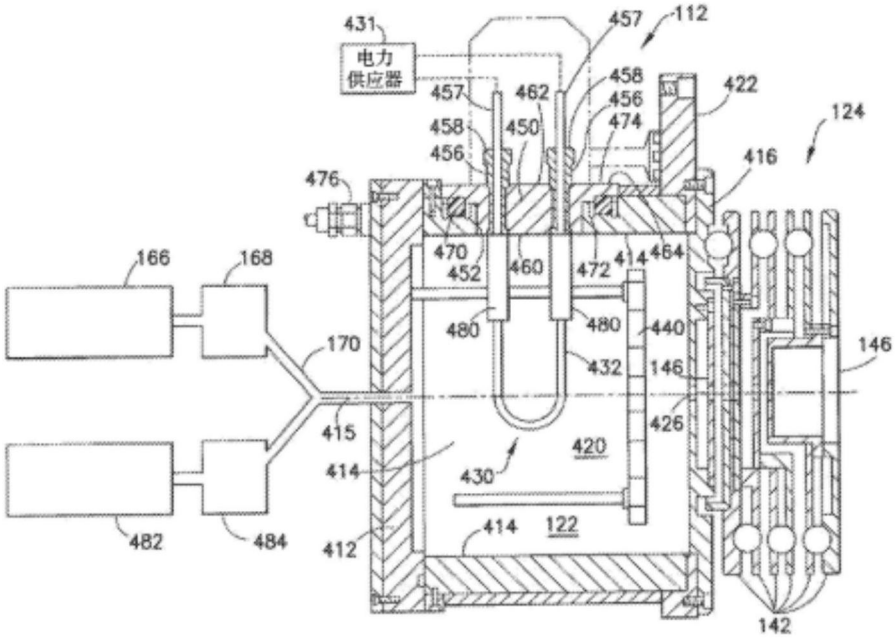

431
电力
供应器
457
112
458
456
474
422
124
462
450
416
476
470
452
460
472
414
464
166
168
480
440
146
170
432
426
415
420
430
414
122
482
484
412
142

图5

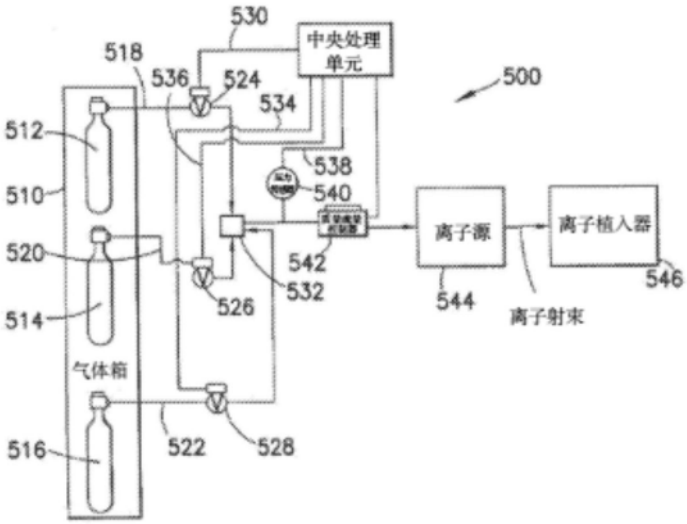

530
中央处理
单元
518
536
524
534
500
512
538
510
540
离子源
离子植入器
520
542
532
526
544
546
离子射束
514
气体箱
516
522
528

图6

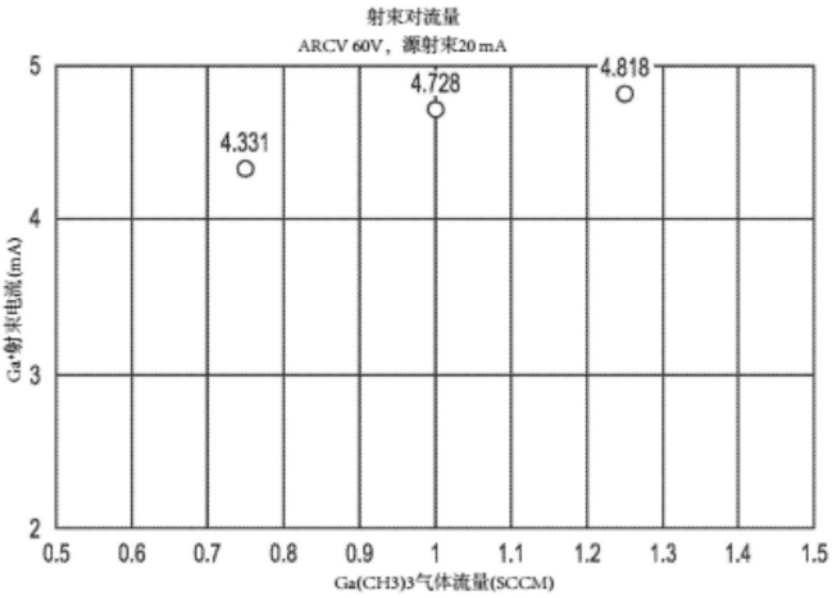

射束对流量
ARCV 60V，源射束20 mA
4.331
4.728
4.818
Ga+射束电流(mA)
5
4
3
2
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
Ga(CH3)3气体流量(SCCM)

图7A

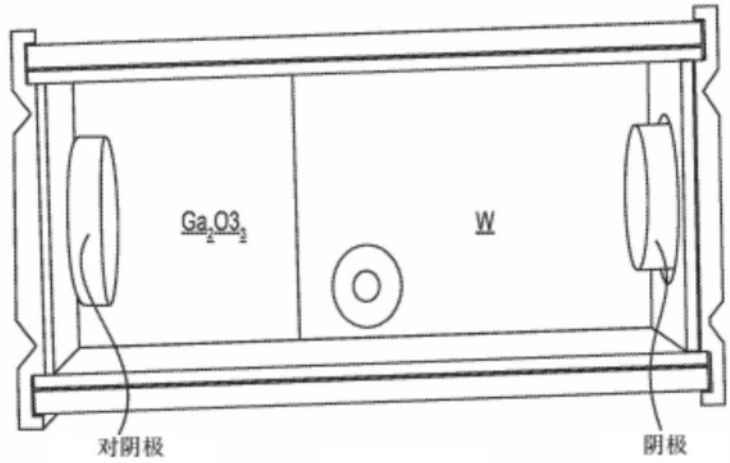

Ga2O3
W
对阴极
阴极

图8A

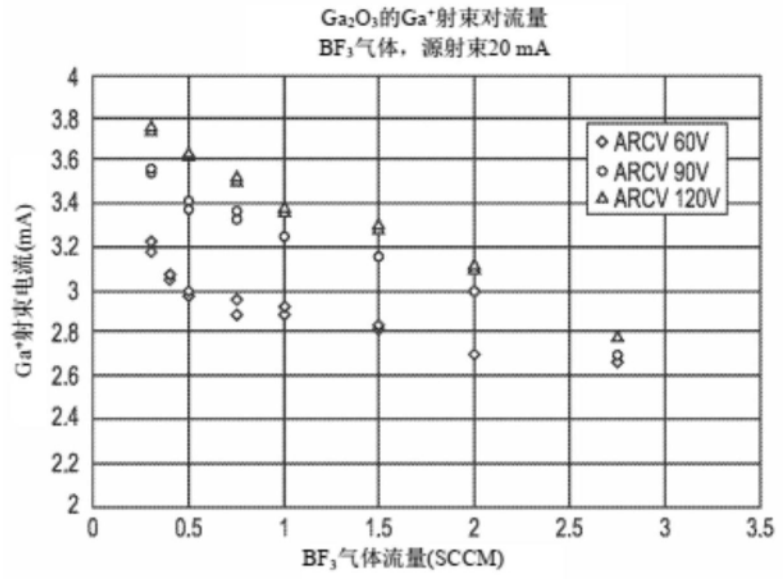

Ga2O3的Ga+射束对流量
BF3气体，源射束20 mA
ARCV 60V
ARCV 90V
ARCV 120V
Ga+射束电流(mA)
BF3气体流量(SCCM)
4
3.8
3.6
3.4
3.2
3
2.8
2.6
2.4
2.2
2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5

图8B

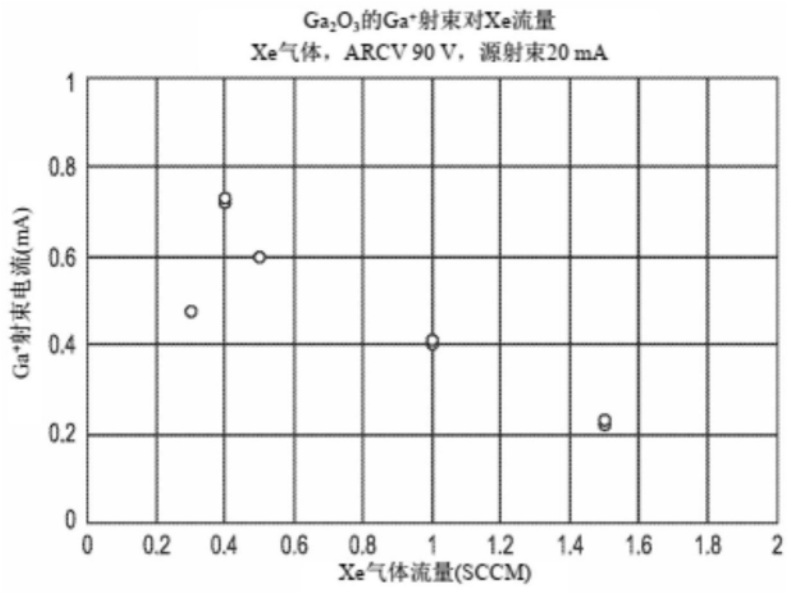

Ga2O3的Ga+射束对Xe流量
Xe气体，ARCV 90 V，源射束20 mA
Ga+射束电流(mA)
Xe气体流量(SCCM)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

图8C

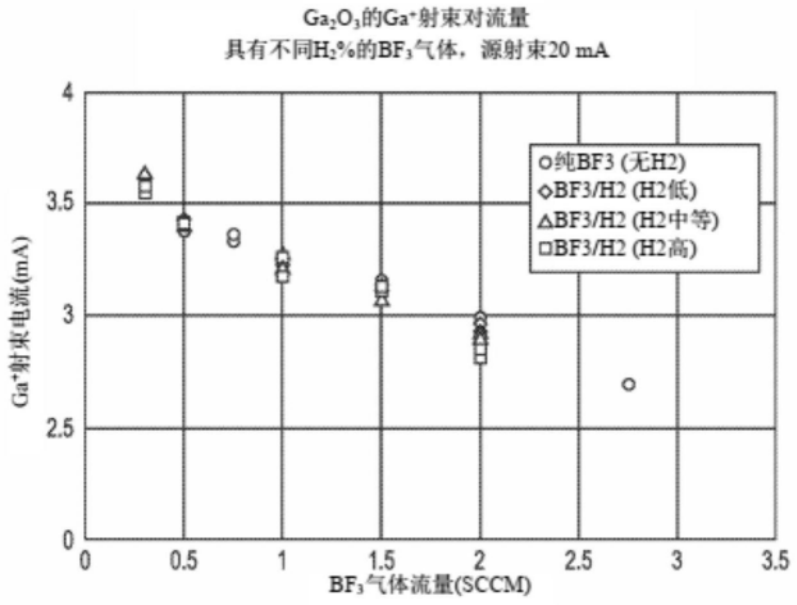

Ga_2O_3的Ga^+射束对流量
具有不同H_2%的BF_3气体，源射束20 mA
纯BF3 (无H2)
BF3/H2 (H2低)
BF3/H2 (H2中等)
BF3/H2 (H2高)
Ga^+射束电流(mA)
BF_3气体流量(SCCM)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

图8D

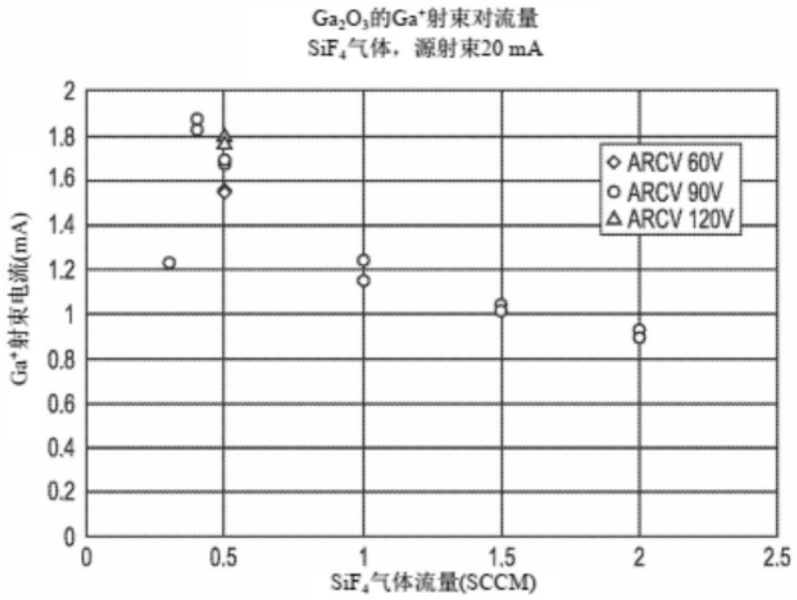

Ga_2O_3的Ga^+射束对流量
SiF_4气体，源射束20 mA
ARCV 60V
ARCV 90V
ARCV 120V
Ga^+射束电流(mA)
SiF_4气体流量(SCCM)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
2.5

图8E

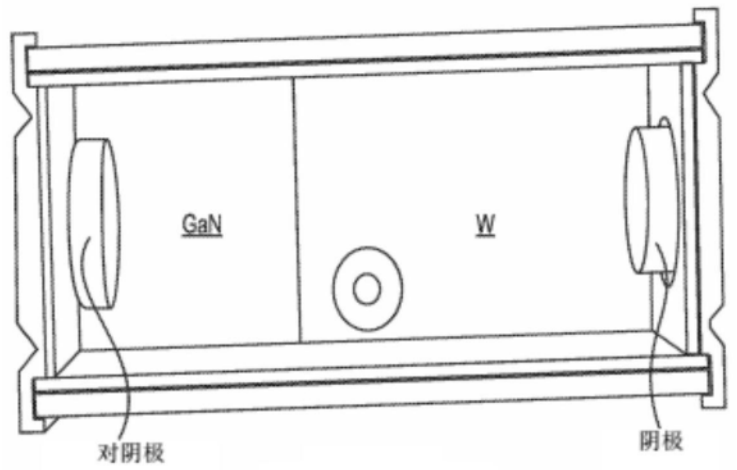

GaN
W
对阴极
阴极

图9A

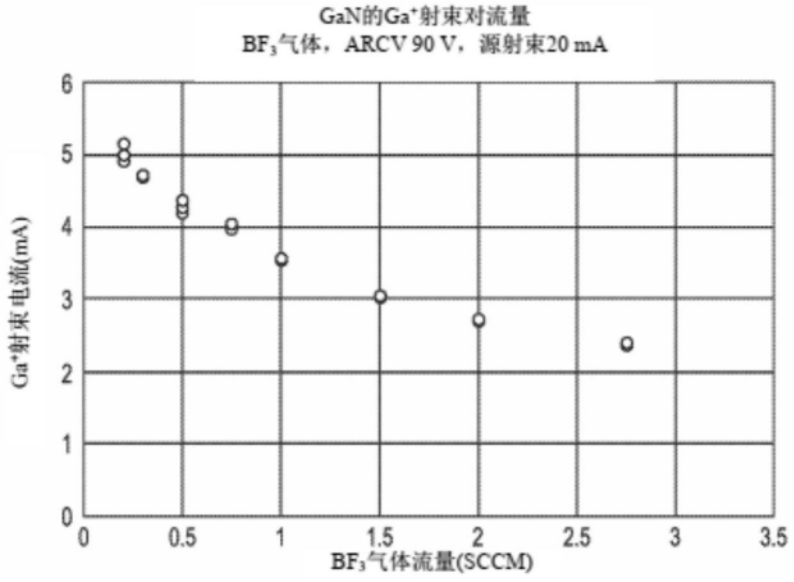

GaN的Ga⁺射束对流量
BF₃气体，ARCV 90 V，源射束20 mA
Ga⁺射束电流(mA)
BF₃气体流量(SCCM)
0
1
2
3
4
5
6
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5

图9B

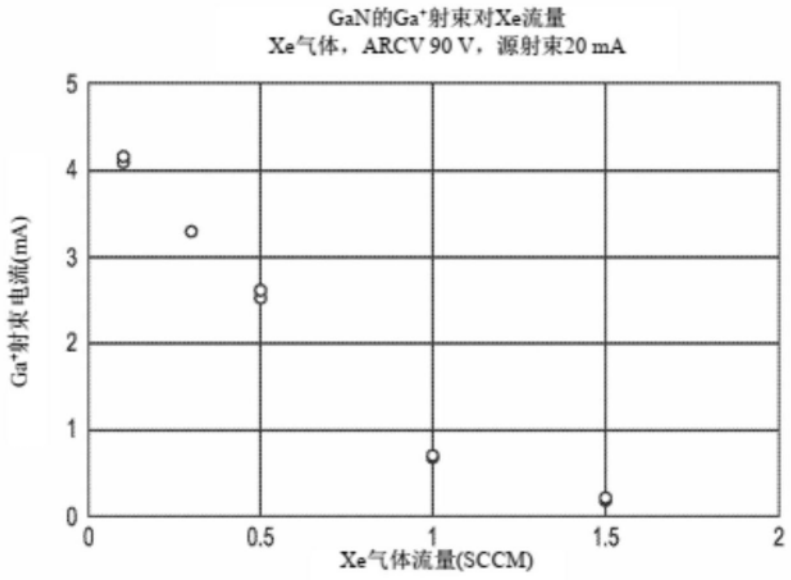

GaN的Ga⁺射束对Xe流量
Xe气体，ARCV 90 V，源射束20 mA
Ga⁺射束电流(mA)
Xe气体流量(SCCM)
0
1
2
3
4
5
0
0.5
1
1.5
2

图9C

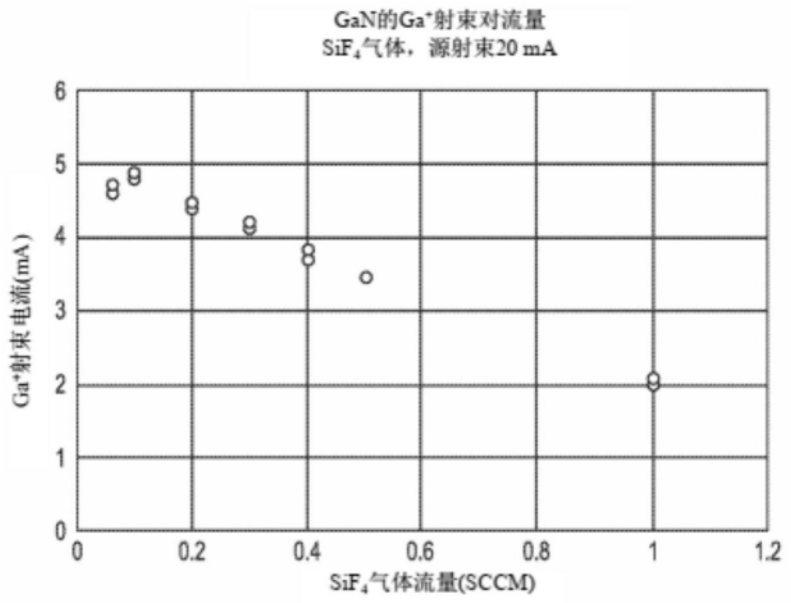

GaN的Ga⁺射束对流量
SiF₄气体，源射束20 mA
Ga⁺射束电流(mA)
SiF₄气体流量(SCCM)
0
1
2
3
4
5
6
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

图9D

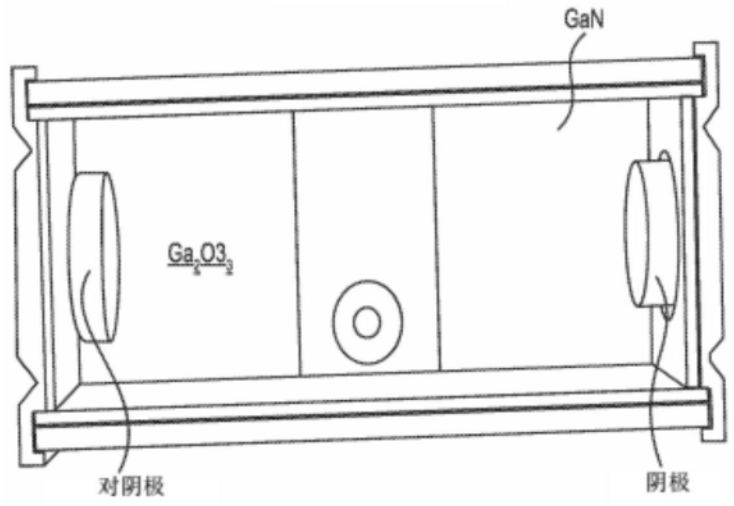


图10A

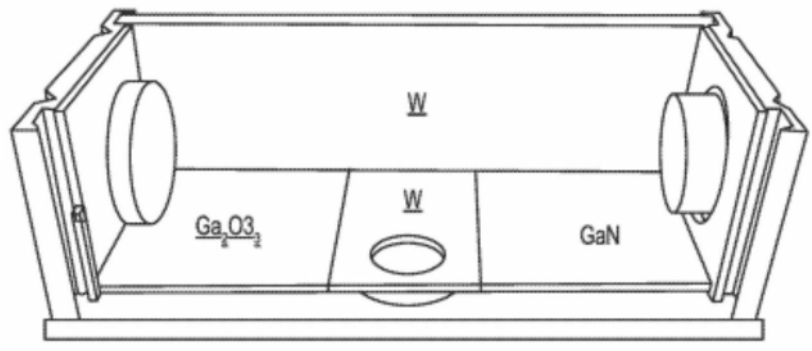


图10B

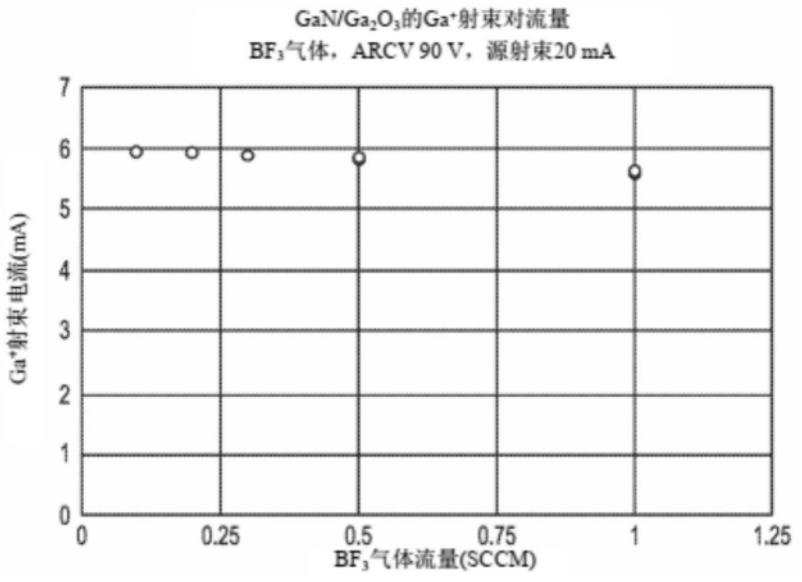


图10C

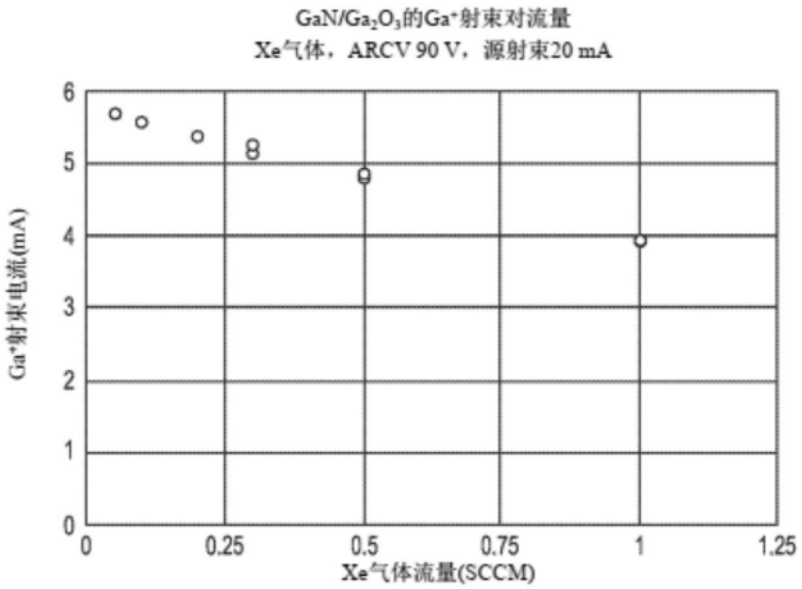

GaN/Ga2O3的Ga+射束对流量
Xe气体，ARCV 90 V，源射束20 mA
Ga+射束电流(mA)
Xe气体流量(SCCM)
0
1
2
3
4
5
6
0
0.25
0.5
0.75
1
1.25

图10D