



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101790779 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 04

(21) 申请号 200880104503. 6

(22) 申请日 2008. 06. 20

(30) 优先权数据

11/846, 605 2007. 08. 29 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 02. 26

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/067608 2008. 06. 20

(87) PCT申请的公布数据

W02009/029329 EN 2009. 03. 05

(73) 专利权人 科里公司

地址 美国北卡罗来纳州

(72) 发明人 亚利山大·苏沃洛夫

斯科特·T·夏普德

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

代理人 刘新宇 陈立航

(51) Int. Cl.

H01L 21/335(2006. 01)

H01L 21/265(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2003/0020092 A1, 2003. 01. 30, 全文.

CN 1309816 A, 2001. 08. 22, 全文.

Haijiang Yu et. al.. Ion implanted AlGaIn-GaN HEMTs with nonalloyed ohmic contacts. 《IEEE electron device letters》. 2005, 第 26 卷(第 5 期), 283-285.

审查员 李勇

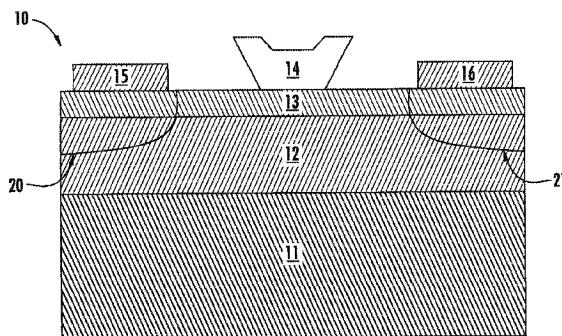
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

氮化物基 HEMT 的高温离子注入

(57) 摘要

公开了一种用于形成高电子迁移率晶体管的方法。该方法包括下面的步骤:利用当被注入时在 III 族氮化物层和接点金属之间产生改善的欧姆接触的离子,在限定位置处对所述 III 族氮化物层进行注入;在如下温度下进行注入:该温度高于室温,并足够热以降低对所述 III 族氮化物层产生的损伤量,但是低于将发生引起栅极处的泄漏或外延层解离的表面问题的温度。向所述 III 族氮化物层上进行注入的所述限定位置添加从由钛、铝、镍及其合金构成的组中选择出的欧姆接点。



CN 101790779 B

1. 一种用于形成高电子迁移率晶体管的方法,包括以下步骤:
利用离子在限定位置处对 III 族氮化物层进行注入,以提供离子注入区域,其中在 250°C 和 900°C 之间的温度下进行注入;以及
在所述离子注入区域上添加接点,从而形成欧姆接点。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述接点由从钛,铝,镍,钛、铝和镍的合金构成的组中选择出的金属构成。
3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述接点由从钛-钨-氮化物,钛-氮化物,钼以及硅化钼构成的组中选择出的材料构成。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在至少 350°C 的温度下进行注入。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在至少 650°C 的温度下进行注入。
6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在至少 800°C 的温度下进行注入。
7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,利用在 30 μ A 和 130 μ A 之间的离子束电流进行注入。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,利用约为 40 μ A 的离子束电流进行注入。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,在至少 350°C 的温度下进行注入。
10. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,在至少 650°C 的温度下进行注入。
11. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,利用约为 120 μ A 的离子束电流进行注入。
12. 根据权利要求 11 所述的方法,其特征在于,在至少 350°C 的温度下进行注入。
13. 根据权利要求 11 所述的方法,其特征在于,在至少 650°C 的温度下进行注入。
14. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述接点由钛、铝和镍的合金构成。
15. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,利用离子在限定位置处对 III 族氮化物层进行注入以提供离子注入区域的步骤包括:通过置于所述 III 族氮化物层之上的保护层,利用离子在所述限定位置处对所述 III 族氮化物层进行注入,以降低对所述 III 族氮化物层产生的损伤量。
16. 根据权利要求 15 所述的方法,其特征在于,所述保护层是氮化硅保护层。
17. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,还包括:在进行注入的步骤之前在所述 III 族氮化物层上设置掩模层,以防止在除所述限定位置以外的位置处进行注入。
18. 根据权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述掩模层是氧化物掩模层。
19. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:
所述高电子迁移率晶体管包括 GaN 层并且所述 III 族氮化物层是形成在所述 GaN 层上的 AlGaIn 层;
对 III 族氮化物层进行注入的步骤包括:利用离子在所述限定位置处对所述 AlGaIn 层进行注入,以提供所述离子注入区域,使得所述离子注入区域通过所述 AlGaIn 层延伸至所述 GaN 层;以及
添加接点的步骤包括:在所述离子注入区域上添加接点,从而形成与形成在所述 GaN 层和所述 AlGaIn 层之间的界面处的二维电子气的欧姆接点。

氮化物基 HEMT 的高温离子注入

[0001] 本发明至少部分是在 4400121759 号 DARPA 合同下开发的。美国政府可以对本发明拥有一定的权利。

技术领域

[0002] 本发明涉及半导体器件,尤其涉及 III 族氮化物基高电子迁移率晶体管 (HEMT)。

背景技术

[0003] HEMT 是可用于包括微波和毫米波通信、雷达、射电天文学、移动电话、直接广播卫星接收器和电子对抗系统的各种应用的半导体器件。

[0004] 传统半导体通常需要掺杂有 n 型杂质的导电层以生成自由电子;然而,该层内的电子趋于与这些杂质碰撞,这使得该层内的电子的速度降低。HEMT 是利用具有不同带隙的两种材料之间的异质结形成导电沟道而不是掺杂区域的场效应晶体管。HEMT 通常不需要杂质来形成导电层,因此允许更高的电子迁移率。

[0005] 通常由硅 (Si) 和砷化镓 (GaAs) 等半导体材料制备 HEMT。Si 具有低电子迁移率,这生成高源阻抗;因此, Si 半导体材料可能不太适用于高功率、高频率和高温度应用。

[0006] 雷达、蜂窝和卫星通信中的信号放大装置常常使用 GaAs 基 HEMT。与 Si 相比, GaAs 半导体材料具有较高的电子迁移率和较低的源阻抗,这允许 GaAs 半导体材料以较高频率工作。然而, GaAs 具有相对小的带隙,这限制了 GaAs HEMT 在高频率应用时在高功率下的使用。

[0007] 氮化镓 (GaN) 半导体材料及由氮化铝和氮化镓组成的合金 (AlGaN) 所制成的半导体材料的制造工艺的改进,使得逐渐重视 AlGaN/GaN HEMT 在高频率、高功率和高温度应用中的使用。AlGaN 和 GaN 具有大的带隙,这使得对于这些类型的应用,它们优于 Si 和 GaAs。

[0008] 在特定情况下,使用涂层在 GaN 上的 AlGaN 以及这两种材料的晶体结构的失配和它们不同的带隙能量导致形成二维电子气 (2DEG)。2DEG 层积累在较小带隙材料中,并且包含非常高的电子浓度。较宽带隙材料中产生的电子转移至 2DEG,这允许更高的电子迁移率。

[0009] 与金属半导体场效应晶体管 (MESFET) 相比,对于高频应用,高电子浓度和高电子迁移率的组合使得 AlGaN/GaN HEMT 具有更好的性能。

[0010] 制备 AlGaN/GaN HEMT 的一种方法包括:在衬底(通常为碳化硅 (SiC)) 上形成 GaN 层,在 GaN 层上形成薄的 AlGaN 层,并且在 AlGaN 层上设置欧姆接点和栅极接点。

[0011] 通常,钛 (Ti)、铝 (Al)、镍 (Ni) 和金 (Au) 的合金形成欧姆接点。为了发挥电接点的作用,该合金必须对于 2DEG 层而不是其上布置该合金的 AlGaN 层呈欧姆性。向该合金添加金,能够使得该接点对于 2DEG 呈欧姆性;然而,金也给予该合金不良形态。

[0012] 本技术领域内众所周知的、用于在 AlGaN/GaN HEMT 上形成低阻抗的欧姆接点的另一方法是在欧姆接点区域处采用离子注入。这类方式的注入允许使用 Ti/Ni/Al 接点,因此消除了由于使用金所产生的不良形态。

[0013] 然而,由于为了在注入区域内获得充分的激活率必须使用高剂量的注入离子,该

注入处理产生另一问题。高剂量的注入离子产生大量晶体损伤。可以通过对器件进行退火来修正该损伤；然而，SiC 和 AlGa_N 难以通过退火再结晶。为了使 SiC 和 AlGa_N 适当地再结晶，可以使用较长的退火时间。然而，较长的退火时间对器件的其它特征造成损伤。

[0014] 因此，需要一种注入处理，该注入处理使用高剂量的离子，并且对注入晶体产生的损伤较小，因此需要的退火较短。

发明内容

[0015] 在一个方面，本发明提供一种用于形成高电子迁移率晶体管的方法。该方法包括：利用当被注入时在 III 族氮化物层和接点金属之间产生改善的欧姆接触的离子，在限定位置处对所述 III 族氮化物层进行注入。

[0016] 在如下温度下进行注入：该温度高于室温，并足够热以降低对所述 III 族氮化物层产生的损伤量，但是低于将发生引起栅极处的泄漏或外延层解离的表面问题的温度。向所述 III 族氮化物层上进行注入的所述限定位置添加欧姆接点。

[0017] 在另一方面，该方法包括：在如下温度下利用如下离子束电流进行注入：该温度高于室温，并足够热以降低对所述 III 族氮化物层产生的损伤量，但是低于将发生引起栅极处的泄漏或外延层解离的表面问题的温度，并且该离子束电流足够高以成功将离子注入所述 III 族氮化物层内，但是低于将熔化或破坏所述 III 族氮化物层的电流。

[0018] 在又一方面，本发明提供一种晶体管前驱体，该晶体管前驱体包括：从由碳化硅和蓝宝石构成的组中选择出的生长衬底；所述生长衬底上的氮化镓层；所述氮化镓层上的氮化铝镓层，用于当在 HEMT 方向上施加电流时，在所述氮化镓层和所述氮化铝镓层之间的界面处生成二维电子气；以及所述氮化镓层和所述氮化铝镓层中的限定注入区域，用于在向所述限定注入区域添加欧姆金属时，改善所述氮化镓层和所述氮化铝镓层的欧姆特性，其中，所述晶体管前驱体的所述限定注入区域具有约 250°C 和 900°C 之间的温度。

[0019] 基于以下结合附图所进行的详细说明，本发明的前述及其它目的和优点以及实现前述及其它目的和优点的方式将更加清楚。

附图说明

[0020] 图 1 是根据本发明实施例的 AlGa_N/Ga_N HEMT 的示意性横断面图；

[0021] 图 2、3A、3B 和 4 示出根据一个实施例的用于制备图 1 的 AlGa_N/Ga_N HEMT 的工艺；

[0022] 图 5 ~ 7 示出在不同条件下注入硅离子的三个氮化镓晶片；以及

[0023] 图 8 示出在不同条件下注入硅离子的晶片的可见范围中的透射光谱。

具体实施方式

[0024] 图 1 示出根据本发明实施例构造的 AlGa_N/Ga_N 基 HEMT 10 的示意性横断面图。HEMT 包括由本技术领域内通常众所周知的材料（例如，碳化硅 (SiC) 或蓝宝石 (Al₂O₃)）所形成的衬底 11。在衬底 11 上设置 Ga_N 层 12。HEMT 10 包括设置在 Ga_N 层 12 上部的 AlGa_N 层 13。

[0025] 优选地，SiC 形成衬底 11。与蓝宝石相比，SiC 的晶格结构与 III 族氮化物更接近一致，结果形成更高质量的 III 族氮化物膜。此外，SiC 具有非常高的导热性，这允许器件

具有更高的总输出功率。

[0026] 与 GaN 层 12 相比, AlGaIn 层 13 具有较宽的带隙, 这导致自由电荷从 AlGaIn 层 13 转移至 GaN 层 12。电荷积累在 AlGaIn 层 13 和 GaN 层 12 之间的界面处, 从而形成二维电子气 (2DEG) (未示出)。2DEG 具有非常高的电子迁移率, 结果导致 HEMT 10 在高频率处具有非常高的跨导。施加于栅极 14 的电压控制栅极 14 下 2DEG 中的电子流, 这允许控制总电子流。优选地, 栅极 14 是肖特基栅极。

[0027] 优选由钛 (Ti)、铝 (Al) 和镍 (Ni) 的合金形成设置在 AlGaIn 层 13 上的源极接点 15 和漏极接点 16。由 Ti、Al、Ni 和金 (Au) 形成欧姆接点 15 和 16 所使用的传统合金。添加 Au 使得该合金形态差, 因而本发明的接点 15 和 16 优选不包括 Au。欧姆接点的其它候选合成物包括钛-钨-氮化物 (Ti-W-N)、钛-氮化物 (Ti-N)、钼 (Mo) 和硅化钼。

[0028] n 型掺杂剂的使用高离子束电流的高温离子注入生成注入区域 20 和 21。优选地, 掺杂离子为 Si^+ 。这些注入区域 20 和 21 使得接点 15 和 16 对于 2DEG 呈欧姆性。

[0029] 应该理解, 这里所使用的高温包括低于将发生引起栅极 14 处的泄漏或者外延层解离的表面问题的温度、但高于室温的温度。优选地, 发生注入的温度约在 250°C 和 900°C 之间。

[0030] 应该理解, 这里所使用的高离子束电流包括低于将熔化或破坏晶体的束电流、但足够高以成功在 AlGaIn 层 13 和 GaN 层 12 内注入离子的束电流。优选地, 束电流在 30 μA 和 130 μA 之间。

[0031] 在一个实施例中, 本发明是这样的 AlGaIn/GaN HEMT, 其中, 在 650°C 的温度下利用 40 μA 的离子束电流对注入区域 20 和 21 进行了注入。

[0032] 在另一实施例中, 本发明是这样的 AlGaIn/GaN HEMT, 其中, 在 650°C 的温度下利用 120 μA 的离子束电流对注入区域 20 和 21 进行了注入。

[0033] 在第三实施例中, 本发明是这样的 AlGaIn/GaN HEMT, 其中, 在 350°C 的温度下利用 40 μA 的离子束电流对注入区域 20 和 21 进行了注入。

[0034] 在第四实施例中, 本发明是这样的 AlGaIn/GaN HEMT, 其中, 在 350°C 的温度下利用 120 μA 的离子束电流对注入区域 20 和 21 进行了注入。

[0035] 本发明还包括用于使用高温离子注入制备 HEMT 的方法。美国 7230284 号专利公开了一种用于如图 2 所示在衬底 11 上形成 GaN 层 12 并在 GaN 层 12 上形成 AlGaIn 层 13 的方法。

[0036] 如图 3A 所示, 掩模层 17 仅保护不进行注入的 AlGaIn 层的部分, 从而使得要进行注入的区域中的晶体暴露。掩模层 17 是能够耐受高温、高离子束电流注入的条件而对注入步骤或器件没有不利影响的材料。例如, 掩模层 17 可以由氧化物形成。

[0037] 然后, 将器件保持在高温下, 并且高电流束通过 AlGaIn 层 13 将 n 型掺杂离子 (例如, Si^+ 离子) 注入 GaN 层 12 中, 以形成注入区域 20 和 21。将离子注入至允许欧姆接点 15 和 16 对于 2DEG 呈欧姆性的深度。

[0038] 如图 3B 所示, 在本方法的具体实施例中, 可以将保护层 18 置于要进行注入的区域之上。在更具体的实施例中, 氮化硅 (Si_3N_4) 是保护层 18。保护层 18 降低了由离子束产生的对 AlGaIn 层的损伤量。由于使用退火方法特别难以使得 AlGaIn 再结晶, 因而优选使用保护层 18。

[0039] 在注入后,退火处理改善受损的注入区域 20 和 21。由于退火可能损伤器件的其它部分,因而期望较短的退火时间。高温注入对注入区域的损伤较小,因此允许较短的退火时间,这降低了基于退火的继发损坏的可能性。

[0040] 然后,如图 4 所示,在注入区域 20 和 21 之上,在 AlGaIn 层 13 上形成欧姆接点 15 和 16。欧姆接点 15 和 16 通过注入区域 20 和 21 与 2DEG 电连接。优选地,Ti、Ni 和 Al 的合金形成欧姆接点 15 和 16。

[0041] 可以在 2DEG 之上,在 AlGaIn 层 13 上形成栅极 14。施加于栅极 14 的电压控制 2DEG 中的电子流,从而允许对总电子流进行控制。优选地,栅极 14 是肖特基栅极。

[0042] 图 5 ~ 7 中的每一晶片均是注入了 Si^+ 离子的 GaN。图 5 ~ 7 示出在高温下进行该方法的注入步骤避免了与室温下的注入差不多地损伤注入晶体。在图 5 ~ 7 中,较浅的阴影表示由较少的晶体损伤而造成的较多的光通过,而较深的阴影表示由较多的晶体损伤而造成的较少的光通过。

[0043] 在图 5 中,在温度 350°C 使用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 对晶片的左上四分之一 30 进行了注入。在室温使用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 对晶片的右下四分之一 31 进行了注入。左上四分之一 30 明显浅于右下四分之一 31,这表示由于注入期间的较高温度因而损伤显著减少。

[0044] 类似地,在图 6 中,在温度 650°C 使用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 对晶片的左上四分之一 32 进行了注入。在室温使用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 对晶片的右下四分之一 33 进行了注入。左上四分之一 32 明显浅于右下四分之一 33,这表示由于注入期间的较高温度因而损伤显著减少。

[0045] 图 5 中的晶片的左上四分之一 30 和图 6 中的晶片的左上四分之一 32 的比较也表示较高温度下的注入减少了由注入处理所产生的晶体损伤的量。

[0046] 使用高电流离子束相对于较低电流离子束,提供两个明显优点。使用高电流离子束缩短了注入特定剂量的掺杂离子所需的时间,因此降低了成本。此外,使用高电流离子束还增大了注入期间的晶片温度,结果导致对注入晶体的较少损伤。

[0047] 图 7 中的晶片示出使用较高电流离子束的第二优点。在图 7 中,在温度 350°C 使用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 对晶片的左上四分之一 34 进行了注入。在温度 350°C 使用离子束电流 $40\ \mu\text{A}$ 对晶片的右下四分之一 35 进行了注入。左上四分之一 34 显著浅于右下四分之一 35,这表示由于注入期间的较高离子束电流因而损伤明显减少。左上四分之一 34 中的一些减少的损伤可以归因于以下情况:在晶片的右下四分之一 35 正在进行注入时,左上四分之一 34 在 350°C 有效地进行退火。与由较高离子束电流造成的净度差相比,认为通过退火造成的净度差没有那么显著。

[0048] 图 8 以更具体的方式示出前述的明暗比较。该附图绘出透过已注入 Si^+ 的 GaN 晶片的光的百分比对比可见范围的光的波长。

[0049] 一个由正方形形成并且另一个由菱形形成的最上部的两个图示表示未进行注入的两个 GaN 晶片的透射百分比。如图 8 所示,这些未进行注入的晶片透射最高百分比的可见光。

[0050] 由圆形形成的最下部的图示表示利用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 在室温注入了 Si^+ 的 GaN 晶片在可见范围的透射百分比。如图 8 所示,该晶片透射最低百分比的可见光。

[0051] 由尖向上的三角形形成的中部的图示表示利用离子束电流 $120\ \mu\text{A}$ 在温度 650°C

注入了 Si^+ 的 GaN 晶片在可见范围的透射百分比。由星号形成的中部的图示表示利用离子束电流 $120 \mu\text{A}$ 在温度 350°C 注入了 Si^+ 的 GaN 晶片在可见范围的透射百分比。由尖向下的三角形形成的中部的图示表示利用离子束电流 $40 \mu\text{A}$ 在温度 350°C 注入了 Si^+ 的 GaN 晶片在可见范围的透射百分比。这三个中部的图示表示作为本发明的实施例的三个不同晶片的透射光谱。如图 8 所示,与在室温进行注入的晶片相比,这三个晶片在可见范围透射较多的光。图 8 还示出与未进行注入的晶片相比,这三个晶片在可见范围透射较少的光。

[0052] 还应该注意,与由尖向下的三角形形成的中部的图示(即,利用电流 $40 \mu\text{A}$ 在 350°C 进行注入的晶片)相比,由星号形成的中部的图示(即,利用电流 $120 \mu\text{A}$ 在 350°C 进行注入的晶片)在可见范围具有较高的值。该比较表示与以较低束电流进行注入的晶片相比,以较高束电流进行注入的晶片通常透射更大百分比的光。

[0053] 这些图示示出:与室温下的注入(例如,最下部的图示)相比,高温下的注入(例如,三个中部的图示)产生透射高得多的百分比的可见光的晶片。透射百分比与对晶片的晶体结构的较少损伤相关联。因此,与室温下的注入相比,高温下的注入对晶片的晶体结构的损伤较少。

[0054] 该图示还示出:与使用较低离子束电流进行注入的晶片相比,使用较高离子束电流进行注入的晶片透射更高百分比的可见光。同样,透射百分比与对晶片的晶体结构的较少损伤相关联。因此,与使用较低离子束电流的注入相比,使用较高离子束电流的注入对晶片的晶体结构的损伤较少。

[0055] 与先前公开的方法相比,本发明的方法产生的 HEMT 对晶体的损伤明显减少。结果,使用本发明的方法产生的 HEMT 的性能明显优于先前的 HEMT。

[0056] 下面的表包含与在室温进行注入的 HEMT 器件的性能和根据本发明在高温进行注入的 HEMT 器件的性能有关的数据。

[0057]

注入温度	RF 功率 (GHz)	栅极 - 源极电压	漏极 - 源极电压	电流 (mA/mm)	增益	输出功率	功率附加效率	平均阻抗	漏极源极电流
350°C	10	-2.8	48	43.0	13.7	9.13	51.6	3.54	1007.8
室温	10	-2.8	48	43.0	11.7	8.42	48.4	3.90	936.4

[0058] 该表中的晶片接收相同注入剂量 1.00×10^{16} 原子/ cm^2 的 Si^+ 和相同温度退火 (1080°C)。该数据示出:向这两个晶片提供相同的 RF 功率、栅极 - 源极电压、漏极 - 源极电压和电流。高温注入的 HEMT 具有更高的增益、输出功率、功率附加效率和漏极源极电流、以及较低的平均阻抗。该数据表示与在室温使用离子注入所形成的器件相比,根据本发明所形成的器件具有更好的器件性能。

[0059] 在该附图和说明书中,说明了本发明的优选实施例,并且,尽管使用了专用术语,但是仅在普通描述性意义上使用它们,而不是为了限制,其中,由权利要求书限定本发明的范围。

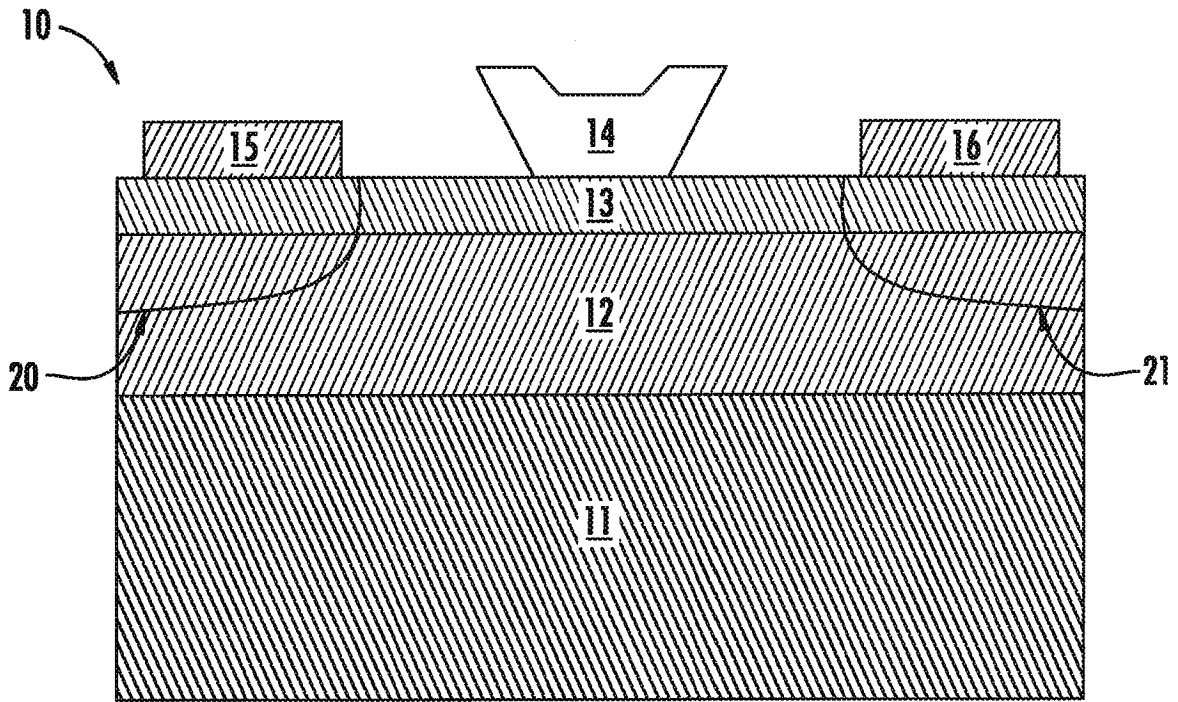


图 1

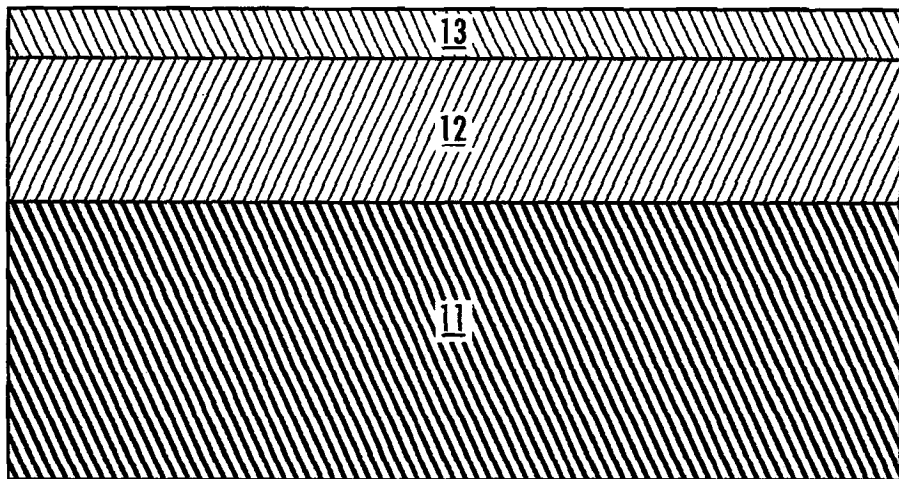


图 2

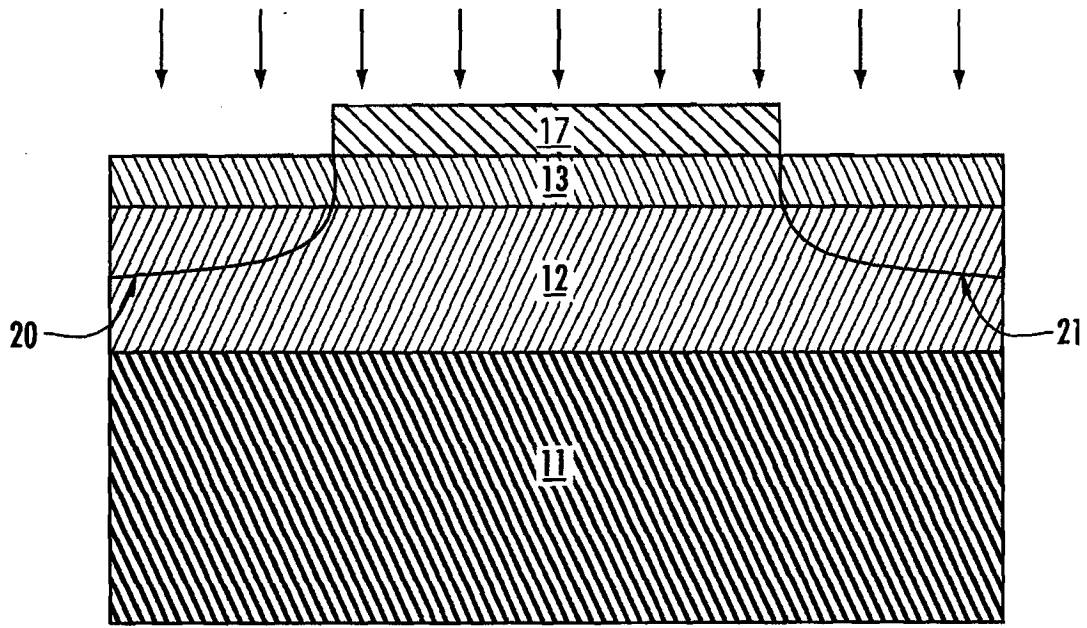


图 3A

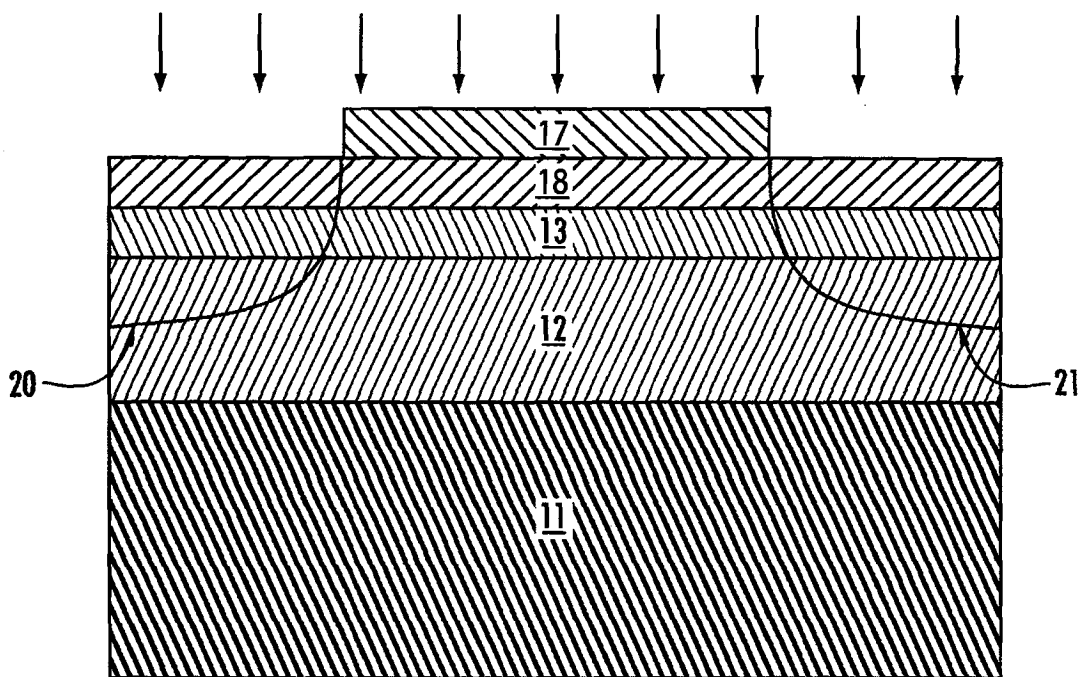


图 3B

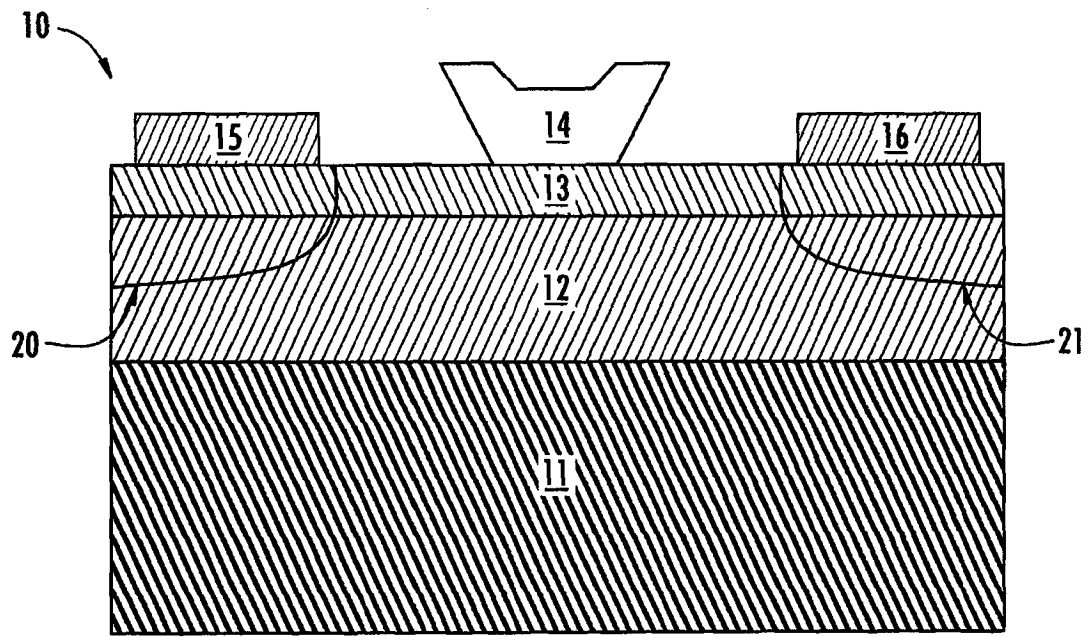


图 4

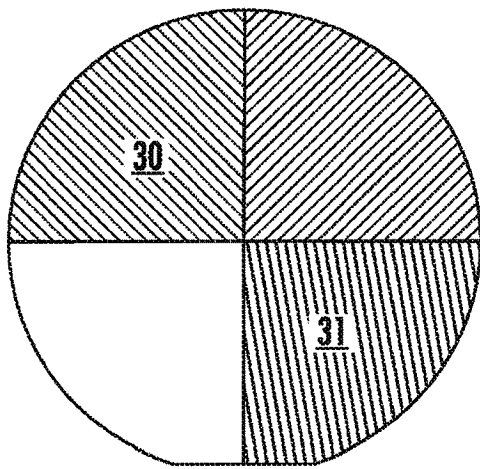


图 5

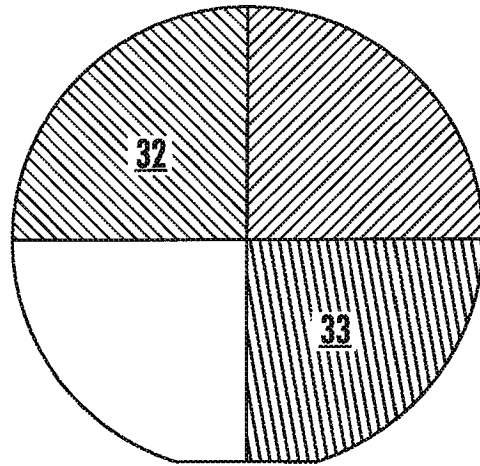


图 6

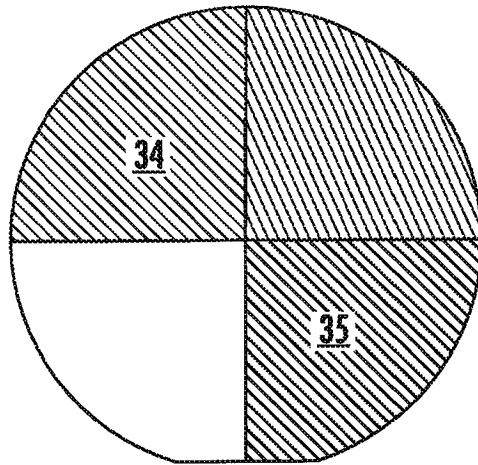


图 7

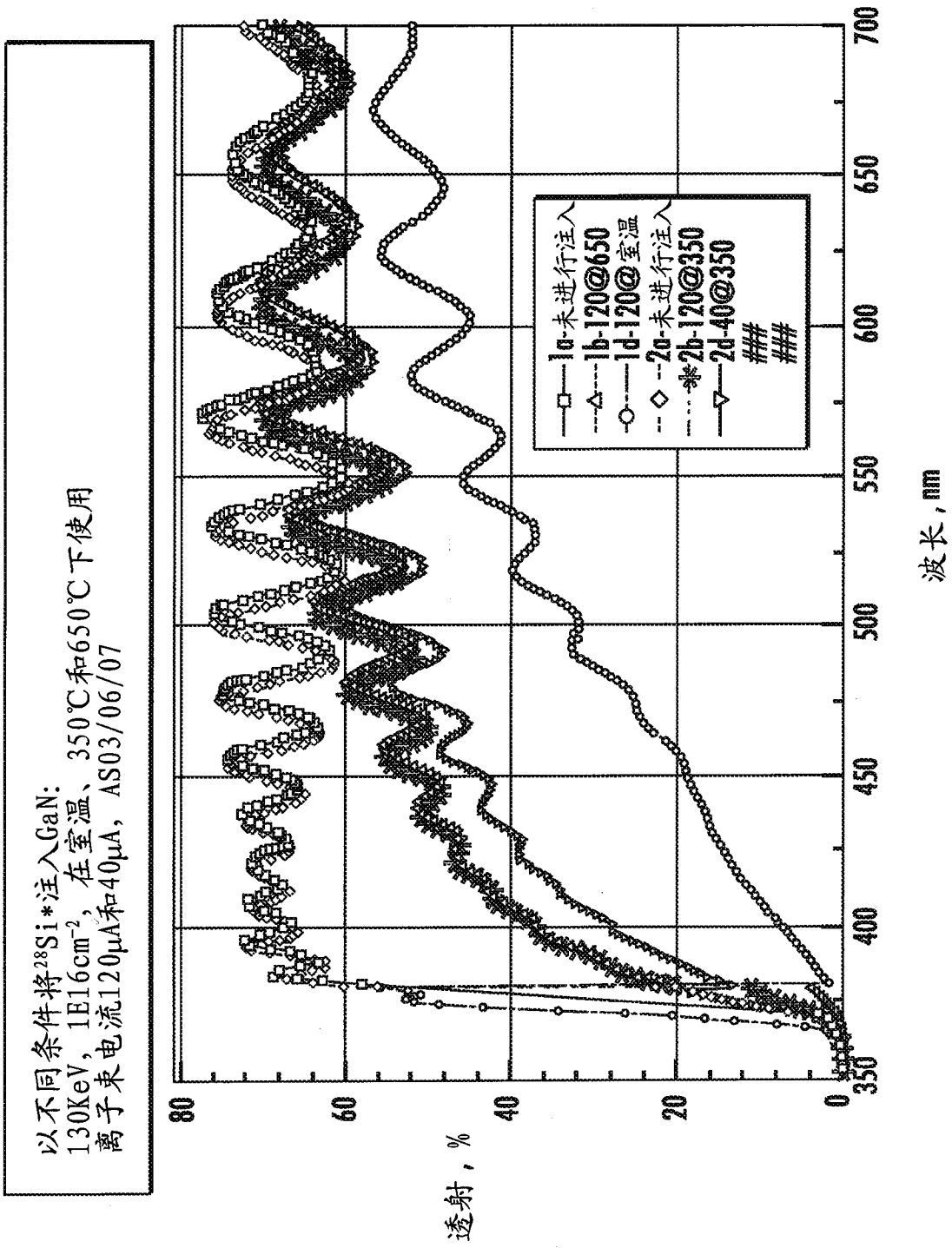


图 8