



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106922200 A

(43)申请公布日 2017.07.04

(21)申请号 201480083467.5

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22)申请日 2014.12.18

代理人 郭少俊 王英

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.05.17

(51)Int.Cl.

H01L 29/778(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/071163 2014.12.18

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/099509 EN 2016.06.23

(71)申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 H·W·田 S·达斯古普塔

M·拉多萨夫列维奇

S·K·加德纳 S·H·宋

R·S·周

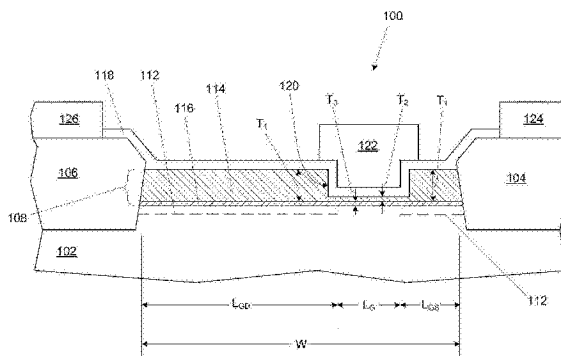
权利要求书2页 说明书7页 附图16页

(54)发明名称

N沟道氮化镓晶体管

(57)摘要

本说明书涉及包括凹陷的栅极电极的n沟道氮化镓晶体管,其中在栅极电极与氮化镓层之间的极化层小于大约1nm。在另外的实施例中,n沟道氮化镓晶体管可以具有非对称配置,其中栅极至漏极长度大于栅极至源极长度。在另一实施例中,当与使用基于硅的晶体管的无线功率/充电设备相比时,为了提高的效率、更长的传输距离和更小的形状因子,可以在无线功率/充电设备中利用n沟道氮化镓晶体管。



1. 一种n沟道氮化镓晶体管,包括:
氮化镓层;
形成在所述氮化镓层的源极结构和漏极结构中;
电荷诱导层,其包括在所述结构与所述漏极结构之间延伸的极化层;
2D电子气,其位于所述氮化镓层内;以及
栅极电极,其至少部分地延伸到所述极化层中,其中所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm。
2. 如权利要求1所述的n沟道氮化镓晶体管,还包括布置在所述栅极电极与所述极化层之间的栅极电介质。
3. 如权利要求1或2所述的n沟道氮化镓晶体管,还包括:所述极化层不在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分在大约5nm与10nm之间。
4. 如权利要求1所述的n沟道氮化镓晶体管,其中所述极化层选自由氮化铝镓、氮化铝镓和氮化镓组成的组。
5. 如权利要求1所述的n沟道氮化镓晶体管,还包括布置在所述氮化镓层与所述极化层之间的晶体过渡层。
6. 如权利要求5所述的n沟道氮化镓晶体管,其中所述晶体过渡层选自由氮化镓和氮化铝组成的组。
7. 如权利要求1所述的n沟道氮化镓晶体管,还包括:在大约120nm到大约400nm之间的栅极至漏极长度和在大约5nm到大约400nm之间的栅极至源极长度。
8. 如权利要求7所述的n沟道氮化镓晶体管,其中所述栅极至漏极长度大于所述栅极至源极长度。
9. 一种形成n沟道氮化镓晶体管的方法,包括:
形成氮化镓层;
在所述氮化镓层上形成包括极化层的电荷诱导层以在所述氮化镓层内形成2D电子气;
形成在所述氮化镓层中形成的源极结构和漏极结构;
在所述源极结构与所述漏极结构之间的所述极化层内形成凹陷,其中所述极化层在所述凹陷与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm;
形成具有不同宽度的非对称电介质间隔物;
在所述凹陷内形成栅极电介质;以及
形成相邻于所述栅极电介质的栅极电极。
10. 如权利要求9所述的方法,其中在所述氮化镓层上形成包括所述极化层的所述电荷诱导层包括:形成包括具有在大约5nm与10nm之间的厚度的所述极化层的所述电荷诱导层。
11. 如权利要求9或10所述的方法,其中形成所述电荷诱导层包括:形成选自由氮化铝镓、氮化铝镓和氮化镓组成的组的所述极化层。
12. 如权利要求9所述的方法,还包括在所述氮化镓层与所述极化层之间形成晶体过渡层。
13. 如权利要求12所述的方法,其中形成所述晶体过渡层包括:由选自由氮化镓和氮化铝组成的组中的材料形成所述晶体过渡层。
14. 如权利要求9所述的方法,还包括:形成在大约120nm到大约400nm之间的栅极至漏

极长度以及形成在大约5nm到大约400nm之间的栅极至源极长度。

15. 如权利要求14所述的方法,其中所述栅极至漏极长度大于所述栅极至源极长度。

16. 一种无线功率/充电设备发射模块,包括:

线圈组件;以及

发射器,其中所述发射器包括至少一个n沟道氮化镓晶体管,其包括:

氮化镓层;

形成在所述氮化镓层中的源极结构和漏极结构;

电荷诱导层,其包括在所述结构与所述漏极结构之间延伸的极化层;

2D电子气,其位于所述氮化镓层内;以及

栅极电极,其至少部分地延伸到所述极化层中。

17. 如权利要求16所述的无线功率/充电设备发射模块,其中所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm。

18. 如权利要求16或17所述的无线功率/充电设备发射模块,还包括布置在所述栅极电极与所述极化层之间的栅极电介质。

19. 如权利要求16所述的无线功率/充电设备发射模块,还包括所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分在大约5nm与10nm之间。

20. 如权利要求16所述的无线功率/充电设备发射模块,还包括布置在所述氮化镓层与所述极化层之间的晶体过渡层。

21. 一种无线功率/充电设备接收模块,包括:

线圈组件;

整流器;以及

负载单元,其包括电压调节器和电池,其中所述电压调节器包括至少一个n沟道氮化镓晶体管,其包括:

氮化镓层;

形成在所述氮化镓层中的源极结构和漏极结构;

电荷诱导层,其包括在所述结构与所述漏极结构之间延伸的极化层;

2D电子气,其位于所述氮化镓层内;以及

栅极电极,其至少部分地延伸到所述极化层中。

22. 如权利要求21所述的无线功率/充电设备接收模块,其中所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm。

23. 如权利要求21或22所述的无线功率/充电设备接收模块,还包括布置在所述栅极电极与所述极化层之间的栅极电介质。

24. 如权利要求21所述的无线功率/充电设备接收模块,还包括所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分在大约5nm与10nm之间。

25. 如权利要求21所述的无线功率/充电设备接收模块,还包括布置在所述氮化镓层与所述极化层之间的晶体过渡层。

N沟道氮化镓晶体管

技术领域

[0001] 本说明书的实施例总体上涉及微电子设备领域,且更具体而言,涉及形成n沟道氮化镓晶体管及其在无线功率/充电设备中的使用。

背景技术

[0002] 微电子工业不断地努力生产用于在各种电子产品——包括但不限于计算机服务器产品和便携式产品(例如膝上型/上网本计算机、电子平板计算机、智能电话、数字相机等)——中使用的越来越快和越来越小的微电子封装。实现这些目标的一个途径是制造片上系统(SoC)设备,其中电子系统的所有部件被制造在单个芯片上。在这样的SoC设备中,功率管理集成电路(PMIC)和射频集成电路(RFIC)是重要的功能块,并且在确定这样的SoC设备的功率效率和形状因子时与逻辑和存储器集成电路一样重要。而且,对于给移动设备无线地供电和/或充电有不断增长的需求。对于采用硅功率金属半导体场效应晶体管(MOSFET)的无线功率/充电设备的解决方案已经在市场上出现。然而,这些硅功率MOSFET由于它们的高导通状态电阻和大电容而需要相当大的功率并消耗可观的功率,其否则可以以无线传输的方式用于给移动设备供电和/或充电。因此,正在有不断的努力以按比例缩小和/或提高这样的无线功率/充电设备的效率。

附图说明

[0003] 在本说明书的结尾部分中特别指出并明确主张本公开的主题。根据结合附图进行的以下描述和所附权利要求,本公开的前述和其它特征将变得更显而易见。应理解的是,附图仅示出根据本公开的几个实施例,且因此不应被视为限制其范围。将通过附图的使用以额外的特殊性和细节来描述本公开,从而可以更容易确定本公开的优点,其中:

[0004] 图1是根据本说明书的实施例的氮化镓晶体管的侧截面图。

[0005] 图2-13是根据本说明书的实施例的非对称n沟道氮化镓晶体管的制造的侧截面图。

[0006] 图14是根据本说明书的实施例的制造非对称n沟道氮化镓晶体管的过程的流程图。

[0007] 图15和16是根据本说明书的实施例的无线功率/充电设备的示意图。

具体实施方式

[0008] 在以下的详细描述中,参考以例示方式示出特定实施例的附图,可以在所述实施例中实施所要求保护的主体。足够详细地描述这些实施例以使本领域技术人员能够实施主体。应理解的是,各种实施例虽然是不同的,但不一定是相互排斥的。例如,在本文中结合一个实施例描述的特定特征、结构或特性可以在其它实施例中实施,而不偏离所要求保护的主体精神和范围。在本说明书中提及“一个实施例”或“实施例”意指在本说明书中包含的至少一个实施方式中包括结合实施例描述的特定特征、结构或特性。因此,短语“一个实

施例”或“在实施例中”的使用并不一定指同一实施例。此外,应理解的是,可以修改每个所公开的实施例中的单独元件的位置或布置,而不偏离所要求保护的的主题的精神和范围。因此,以下的详细描述不应被理解为是限制性的,并且主题的范围仅由被适当解释的所附权利要求要求连同所附权利要求享有的等同物的全部范围来限定。在附图中,相似的附图标记在全部几个示图中表示相同或相似的元件或功能,并且在其中示出的元件不一定彼此按比例,更确切地,单独的元件可以放大或减小,以便更容易在本说明书的上下文中理解元件。

[0009] 如在本文中使用的术语“在…之上”、“到”、“在…之间”和“在…上”可以指一层相对于另一层的相对位置。另一层“之上”或另一层“上”或结合“到”另一层的一层可以与另一层直接接触或可以具有一个或多个中间层。层“之间”的一层可以与那些层直接接触或可以具有一个或多个中间层。

[0010] 本说明书的实施例涉及包括凹陷的栅极电极的n沟道氮化镓晶体管,其中栅极电极与氮化镓层之间的极化层小于大约1nm。在另外的实施例中,n沟道氮化镓晶体管可以具有非对称配置,其中栅极至漏极长度大于栅极至源极长度。在另一实施例中,当与使用基于硅的晶体管的无线功率/充电设备相比时为了提高的效率、更长的传输距离和更小的形状因子,可以在无线功率/充电设备中利用n沟道氮化镓晶体管。

[0011] 图1示出根据本说明书的实施例的n沟道氮化镓晶体管100。n沟道氮化镓晶体管100可以包括氮化镓层102,其具有形成在其中的源极结构104和相对的漏极结构106。可以在源极结构104和漏极结构106之间延伸的氮化镓层102(晶体管宽度W)上形成电荷诱导层108,这在氮化镓层102内形成2D电子气(用虚线112示出)。在一个实施例中,电荷诱导层108可以包括形成在晶体过渡层116上的极化层114,其中晶体过渡层116邻接氮化镓层102。极化层114可以具有形成2D电子气112的三元晶体结构,但可以抑制氮化镓层102的二元晶体结构内的电子迁移率。因此,晶体过渡层116可以是用作极化层114与氮化镓层102之间的过渡的二元晶体结构。应理解的是,虽然电荷诱导层108被示为具有两层(即极化层114和晶体过渡层116),但是其可以被制造为单层(即仅极化层114)或具有两个以上的层。

[0012] 在一个实施例中,n沟道氮化镓晶体管100为增强模式晶体管。因此,如图1所示,可以去掉极化层114的一部分,紧接着形成在栅极电极122的期望位置上的凹槽120以中断2D电子气112,使得其不延伸穿过n沟道氮化镓晶体管100的栅极长度 L_g ,以实现增强模式操作。

[0013] 如所示出的,可以在极化层114之上形成栅极电介质层118,并且可以在栅极电介质层118上形成栅极电极122,使得栅极电介质层118将栅极电极122与极化层114电隔离。此外,源极接触部124和漏极接触部126可以分别形成在源极结构104和漏极结构106上,并且可以用于通过互连结构(未示出)的形成来与外部部件(未示出)形成电连接,如本领域技术人员将理解的。

[0014] 如在图1中进一步示出的,n沟道氮化镓晶体管100可以包括栅极至漏极长度 L_{GD} (即从栅极至漏极结构106)和栅极至源极长度 L_{GS} (即从栅极至源极结构104)。在一个实施例中,栅极至漏极长度 L_{GD} 的范围可以从大约120nm到大约400nm。在另一实施例中,栅极至源极长度 L_{GS} 的范围可以从大约5nm到大约400nm。在又一实施例中,栅极长度 L_G 的范围可以从大约20nm到大约500nm。在一个实施例中,n沟道氮化镓晶体管100可以具有非对称结构,其中栅极至漏极长度 L_{GD} (即从栅极至漏极结构106)大于栅极至源极长度 L_{GS} (即从栅极至源极结构

104), 这将使跨栅极至源极长度 L_{GS} 之间的电阻最小化, 如本领域技术人员将理解的。

[0015] 极化层114可以包括但不限于氮化铝镓、氮化铝铟和氮化铟镓。在一个实施例中, 极化层114是 $Al_{0.83}In_{0.17}N$ 。在一个实施例中, 极化层114可以在栅极至漏极长度 L_{GD} 区域之上和在栅极至源极长度 L_{GS} 区域之上具有大约5nm与10nm之间的厚度 T_1 , 这可以实现低导通状态电阻。在另一实施例中, 极化层114可以在栅极长度 L_G 区域之上具有小于大约1nm的厚度 T_2 , 这可以实现增强模式操作。在另一实施例中, 晶体过渡层116可以包括但不限于氮化铟和氮化铝, 并且可以具有小于大约1nm的厚度 T_3 。

[0016] 栅极电介质层118可以由任何公知的栅极电介质材料形成, 包括但不限于二氧化硅(SiO_2)、氮氧化硅(SiO_xN_y)、氮化硅(Si_3N_4)和高k电介质材料, 例如氧化铪、氧化硅铪、氧化镧、氧化镧铝、氧化锆、氧化硅锆、氧化钽、氧化硅钽、氧化钛、氧化钡锆钛、氧化钡钛、氧化锆钛、氧化钇、氧化铝、氧化铅铋钽和铌铋酸铅。注意, 高k栅极电介质层118对实现低栅极泄漏可能是有利的。栅极电介质层118可以由公知技术形成, 例如化学气相沉积(“CVD”)、物理气相沉积(“PVD”)、原子层沉积(“ALD”)。

[0017] 栅极电极122可以由任何适当的栅极电极材料形成。在本公开的实施例中, 栅极电极122可以由包括但不限于多晶硅、钨、钌、钼、铂、钴、镍、钨、钨、铝、碳化钛、碳化锆、碳化钽、碳化铪、碳化铝、其它金属碳化物、金属氮化物和金属氧化物的材料形成。可以通过公知技术, 例如通过毯状沉积栅极电极材料并接着利用公知的光刻和蚀刻技术图案化栅极电极材料, 来形成栅极电极122, 如本领域技术人员将理解的。

[0018] 当与硅的带隙(大约1.1eV)相比时, 氮化镓具有相对宽的带隙(例如大约3.4eV)。因此, 当与类似尺寸的基于硅的晶体管相比时, n沟道氮化镓晶体管100可以在遭受击穿之前经受住大电场, 例如外加电压、漏极电压等。这也使n沟道氮化镓晶体管100能够在相同的供电电压下操作时缩放到更加小的物理尺寸; 因此, 实现小导通状态电阻和更小的电容, 这可以导致减小的功耗并因而导致更高的电路效率。此外, 如本领域技术人员将理解的, n沟道氮化镓晶体管100采用2D电子气112作为其电子传输通道以用于其操作。在通过自发和压电极化在氮化镓层102上沉积电荷诱导层108而形成的陡峭的异质界面处形成2D电子气112, 如本领域技术人员将理解的。可以通过这样的机制形成高达每 cm^2 大约 $2E13$ 的非常高的电荷密度, 而不使用掺杂剂, 这允许高电子迁移率, 例如大于大约 $1000cm^2/Vs$ (L_{GD} 和 L_{GS} 区域处的低薄层电阻)。如本领域技术人员将理解的, n沟道氮化镓晶体管100可由于不存在带间隧穿的、低栅极诱导漏极泄漏(GIDL)以及通过来自热电子的碰撞电离产生的电子-空穴对较少而实现低寄生泄漏。

[0019] 图2-13示出根据本说明书的一个实施例的用于形成n沟道氮化镓晶体管的镜像对的过程。如图2所示, 可以形成包括形成在氮化镓层102上的电荷诱导层108的堆叠衬底130。如关于图1讨论的, 在一个实施例中, 电荷诱导层108可以包括形成在晶体过渡层116上的极化层114, 其中晶体过渡层116邻接氮化镓层102。

[0020] 如图3所示, 可以通过任何已知的技术(例如光刻)在极化层114上图案化硬掩模132, 例如氮化硅、氧化硅等。硬掩模132可以限定用于待形成的n沟道氮化镓晶体管的镜像对的共享漏极的区域。

[0021] 如图4所示, 可以在硬掩模132和氮化镓层102之上沉积第一间隔物材料142, 如图5所示, 可以对第一间隔物材料142(参见图4)进行蚀刻以暴露硬掩模132的顶表面134并暴露

部分极化层114,由此在硬掩模132的相对侧136上形成第一间隔物144。第一间隔物144的宽度 W_1 可以限定待形成的n沟道氮化镓晶体管对中的每个n沟道氮化镓晶体管的栅极至漏极长度 L_{GD} (参见图1)。

[0022] 如图6所示,可以在硬掩模顶表面134、第一间隔物144和极化层114之上沉积第二间隔物材料152。如图7所示,可以对第二间隔物材料152(参见图6)进行蚀刻以暴露硬掩模顶表面134、第一间隔物144的顶表面146并暴露部分极化层114,由此在相对的硬掩模侧136上邻接第一间隔物144形成第二间隔物154。第二间隔物154的宽度 W_2 可限定n沟道氮化镓晶体管对中的每个n沟道氮化镓晶体管的沟道或栅极长度 L_G (参见图1)。

[0023] 如图8所示,可以在硬掩模顶表面134、第一间隔物144、第二间隔物154和极化层114之上沉积第三间隔物材料162。如图9所示,可以对第三间隔物材料162(参见图8)进行蚀刻以暴露硬掩模顶表面134、第一间隔物顶表面146、第二间隔物154的顶表面156和部分极化层114,由此在相对的硬掩模侧面136上邻接第二间隔物154形成第三间隔物164。第三间隔物164的宽度 W_3 可以限定待形成的n沟道氮化镓晶体管对中的每个n沟道氮化镓晶体管的栅极至源极长度 L_{GS} (参见图1)。

[0024] 如图10所示,可以去除硬掩模132(参见图9),并且使用第一间隔物144、第二间隔物154和第三间隔物164作为蚀刻掩模,可以通过任何已知的技术(例如蚀刻)来形成凹陷172以延伸穿过电荷诱导层108(例如极化层114和晶体过渡层116)并进入到氮化镓层102中。在一个实施例中,可以在基于氯的化学成分中利用等离子体蚀刻来形成凹陷172。

[0025] 如图11所示,可以通过从氮化镓层102的外延再生长形成源极结构104和共享漏极结构106,例如N+氮化镓、N+氮化镓、N+氮化镓及其任何渐变组合。在一个实施例中,再生长过程可以包括外延晶体生长技术,例如金属有机化学气相沉积(MOCVD)或分子束外延(MBE)。

[0026] 如图12所示,可以去除第二间隔物154以及极化层114的一部分以形成极化层114中的栅极凹陷174,其如前面讨论的那样中断2D电子气112,使得其不延伸穿过栅极长度 L_G (先前以宽度 W_2 进行标记)以实现增强模式操作。

[0027] 如图13所示,可以在凹陷174(参见图12)内的极化层114上形成栅极电介质层118,并且可以在栅极电介质层118上形成栅极电极122,使得栅极电介质层118将栅极电极122与极化层114电隔离以形成n沟道氮化镓晶体管100₁和100₂。此外,可以分别在源极结构104和漏极结构106上形成源极接触部124和漏极接触部126。如本领域技术人员将理解的,将在n沟道氮化镓晶体管100₁和100₂之上形成互连结构(未示出)以适当地将栅极电极122、源极接触部124和漏极接触部126与外部部件(未示出)连接。然而,为了简洁和简明起见,未示出互连结构。

[0028] 图14是根据本说明书的实施例的制造n沟道氮化镓晶体管的过程200的流程图。如在块202中阐述的,可以形成氮化镓层。可以在氮化镓层上形成电荷诱导层以在氮化镓层内形成2D电子气,如在块204中阐述的。如在块206中阐述的,可以在氮化镓层中形成源极结构和漏极结构。可以在源极结构和漏极结构之间的极化层内形成凹陷,其中极化层在凹陷与氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm,如在块208中阐述的。如在块210中阐述的,可以在凹陷中形成栅极电介质。可以相邻于栅极电介质形成栅极电极,如在块212中阐述的。

[0029] 图15示出根据本说明书的实施例的无线功率/充电设备300。无线功率/充电设备

300可以包括发射模块310和接收模块330。发射模块310可以包括功率单元312(例如AC至DC转换器)、发射器314、线圈组件316、控制器318和通信单元322(例如用于由箭头324所示出的射频通信)。接收模块330(例如移动设备内的部件或插入移动设备中的设备)可以包括包含电压调节器和电池的负载单元332、整流器334、线圈组件336、控制器338和通信单元342(例如用于由箭头344所示出的射频通信)。这样的无线功率/充电设备300的特定互连和部件操作在本领域中是公知的,并且为了简洁和简明起见将不在本文中讨论。在本说明书的实施例中,可以利用高电压n沟道氮化镓晶体管100(参见图1)来代替硅功率MOSFET,因为n沟道氮化镓晶体管在40V的给定击穿电压下具有好大约3倍的导通状态电阻。

[0030] 在本说明书的一个实施例中,可以在发射模块310的发射器314中利用n沟道氮化镓晶体管(参见图1)。如图16所示,发射器314(即全桥逆变器)可以具有四个n沟道氮化镓晶体管 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 。这样的配置,n沟道氮化镓晶体管 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 可以实现比硅晶体管高至少10%的DC至AC转换效率。此外,n沟道氮化镓晶体管 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 的使用可以实现在空中10MH或更高频率下的无线功率传输,这相较于可比的硅晶体管而言高出100倍以上的频率,并实现高达2米的距离传输(用箭头350示出),这相较于可比的硅晶体管而言长出25倍以上。而且,利用更高的无线功率传输频率,发射模块的线圈组件316和接收模块的线圈组件336的形状因子可以薄10倍。

[0031] 在另一实施例中,在接收模块的负载单元332的电压调节器中利用n沟道氮化镓晶体管100(参见图1)可以导致相较于具有硅晶体管的电压调节器而言接收模块330的形状因子小100倍而效率高出达7%。预料通过在发射模块310和接收模块330中利用本说明书的n沟道氮化镓晶体管100(参见图1)总的无线功率传输效率提高14%。电压调节器的电路设计在本领域中是公知的,且因此为了简洁和简明起见而没有特别示出。

[0032] 应理解的是,本说明书的主题不一定限于图1-16所示的特定应用。主题可以应用于其它微电子设备和组件应用以及任何其它适当的晶体管应用,如本领域技术人员将理解的。

[0033] 以下示例涉及另外的实施例,其中示例1是一种n沟道氮化镓晶体管,其包括:氮化镓层;形成在所述氮化镓层中的源极结构和漏极结构;电荷诱导层,其包括在所述结构与所述漏极结构之间延伸的极化层;2D电子气,其位于所述氮化镓层内;以及栅极电极,其至少部分地延伸到所述极化层中,其中所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm。

[0034] 在示例2中,示例1的主题可以可选地包括布置在所述栅极电极与所述极化层之间的栅极电介质。

[0035] 在示例3中,示例1或2中的任一个的主题可以可选地包括:所述极化层不在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分在大约5nm与10nm之间。

[0036] 在示例4中,示例1至3中的任一个的主题可以可选地包括:所述极化层选自由氮化铝镓、氮化铝镓和氮化镓组成的组。

[0037] 在示例5中,示例1至4中的任一个的主题可以可选地包括布置在所述氮化镓层与所述极化层之间的晶体过渡层。

[0038] 在示例6中,示例5的主题可以可选地包括:所述晶体过渡层选自由氮化镓和氮化铝组成的组。

[0039] 在示例7中,示例1至6中的任一个的主题可以可选地包括在大约120nm到大约400nm之间的栅极至漏极长度和在大约5nm到大约400nm之间的栅极至源极长度。

[0040] 在示例8中,示例7的主题可以可选地包括:所述栅极至漏极长度大于所述栅极至源极长度。

[0041] 以下示例涉及另外的实施例,其中示例9是一种形成n沟道氮化镓晶体管的方法,其包括:形成氮化镓层;在所述氮化镓层上形成包括极化层的电荷诱导层以在所述氮化镓层内形成2D电子气;形成在所述氮化镓层中形成的源极结构和漏极结构;在所述源极结构与所述漏极结构之间的所述极化层内形成凹陷,其中所述极化层在所述凹陷与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm;形成具有不同宽度的非对称电介质间隔物;在所述凹陷内形成栅极电介质;以及形成相邻于所述栅极电介质的栅极电极。

[0042] 在示例10中,示例9的主题可以可选地包括:在所述氮化镓层上形成包括所述极化层的所述电荷诱导层包括形成包括具有在大约5nm与10nm之间的厚度的所述极化层的所述电荷诱导层。

[0043] 在示例11中,示例9或10中的任一个的主题可以可选地包括形成选自氮化铝镓、氮化铝镓和氮化镓组成的组的所述极化层。

[0044] 在示例12中,例子9至11中的任一个的主题可以可选地包括在所述氮化镓层与所述极化层之间形成晶体过渡层。

[0045] 在示例13中,示例12的主题可以可选地包括由选自氮化镓和氮化铝组成的组的材料形成所述晶体过渡层。

[0046] 在示例14中,示例9至13中的任一个的主题可以可选地包括形成在大约120nm到大约400nm之间的栅极至漏极长度以及形成在大约5nm到大约400nm之间的栅极至源极长度。

[0047] 在示例15中,示例14的主题可以可选地包括:所述栅极至漏极长度大于所述栅极至源极长度。

[0048] 以下示例涉及另外的实施例,其中示例16是一种无线功率/充电设备发射模块,其包括:线圈组件;以及发射器,其中所述发射器包括至少一个n沟道氮化镓晶体管,其包括:氮化镓层;形成在所述氮化镓层中的源极结构和漏极结构;电荷诱导层,其包括在所述结构与所述漏极结构之间延伸的极化层;2D电子气,其位于所述氮化镓层内;以及栅极电极,其至少部分地延伸到所述极化层中。

[0049] 在示例17中,示例16的主题可以可选地包括:所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm。

[0050] 在示例18中,示例16或17中的任一个的主题可以可选地包括布置在所述栅极电极与所述极化层之间的栅极电介质。

[0051] 在示例19中,示例16至18中的任一个的主题可以可选地包括:所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分在大约5nm与10nm之间。

[0052] 在示例20中,示例16至19中的任一个的主题可以可选地包括布置在所述氮化镓层与所述极化层之间的晶体过渡层。

[0053] 以下示例涉及另外的实施例,其中示例21是一种无线功率/充电设备接收模块,其包括:线圈组件;整流器;以及负载单元,其包括电压调节器和电池,其中所述电压调节器包括至少一个n沟道氮化镓晶体管,其包括:氮化镓层;形成在所述氮化镓层中的源极结构和

漏极结构；电荷诱导层，其包括在所述结构与所述漏极结构之间延伸的极化层；2D电子气，其位于所述氮化镓层内；以及栅极电极，其至少部分地延伸到所述极化层中。

[0054] 在示例22中，示例21的主题可以可选地包括：所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分的厚度小于大约1nm。

[0055] 在示例23中，示例21或22中的任一个的主题可以可选地包括布置在所述栅极电极与所述极化层之间的栅极电介质。

[0056] 在示例24中，示例21至23中的任一个的主题可以可选地包括：所述极化层在所述栅极电极与所述氮化镓层之间的部分在大约5nm与10nm之间。

[0057] 在示例25中，示例21至24中的任一个的主题可以可选地包括布置在所述氮化镓层与所述极化层之间的晶体过渡层。

[0058] 在这样详细描述了本说明书的实施例之后，应理解的是，由所附权利要求限定的本说明书不应由在以上描述中阐述的特定细节来限制，因为其很多明显的变化是可能的而不偏离其精神或范围。

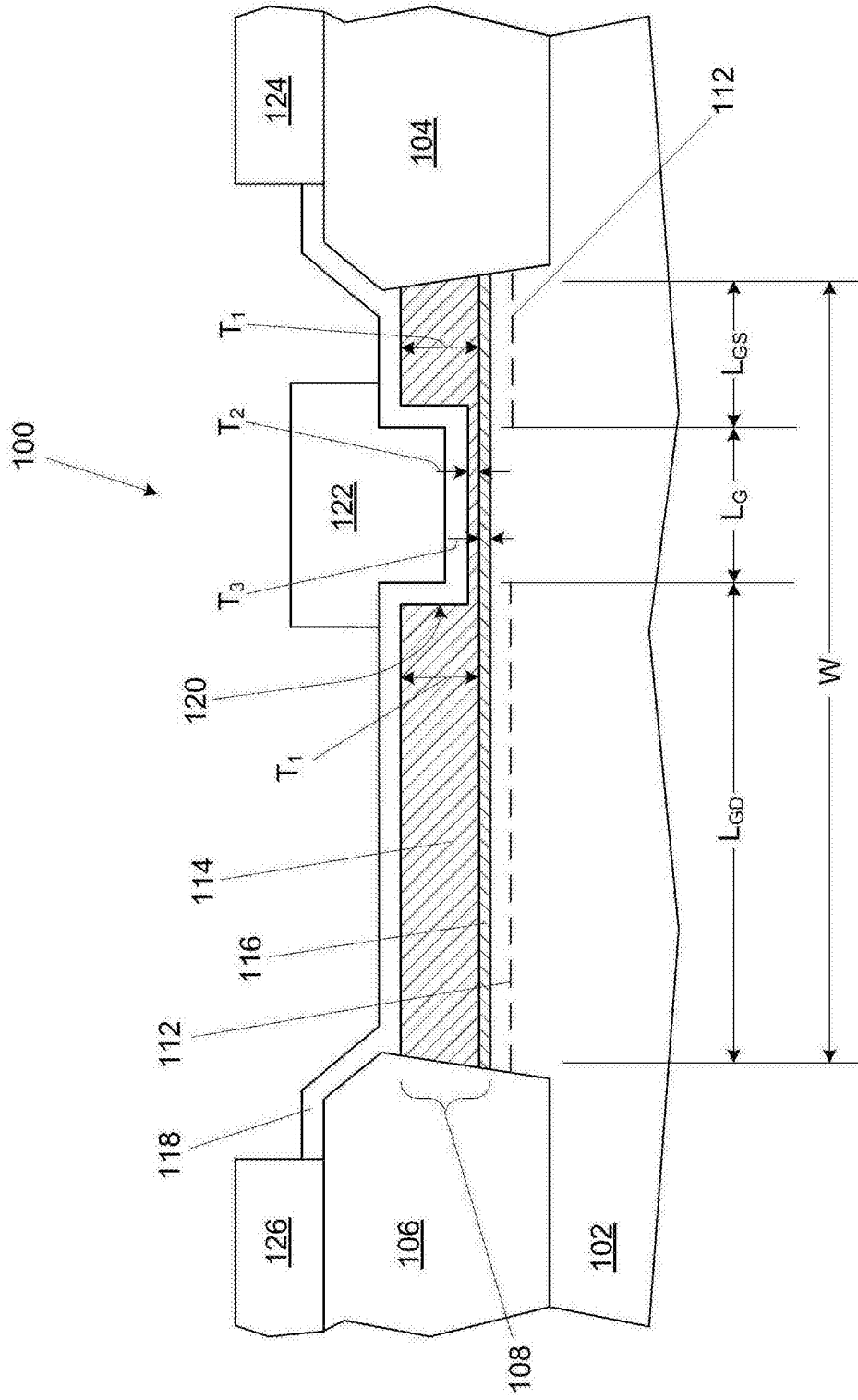


图1

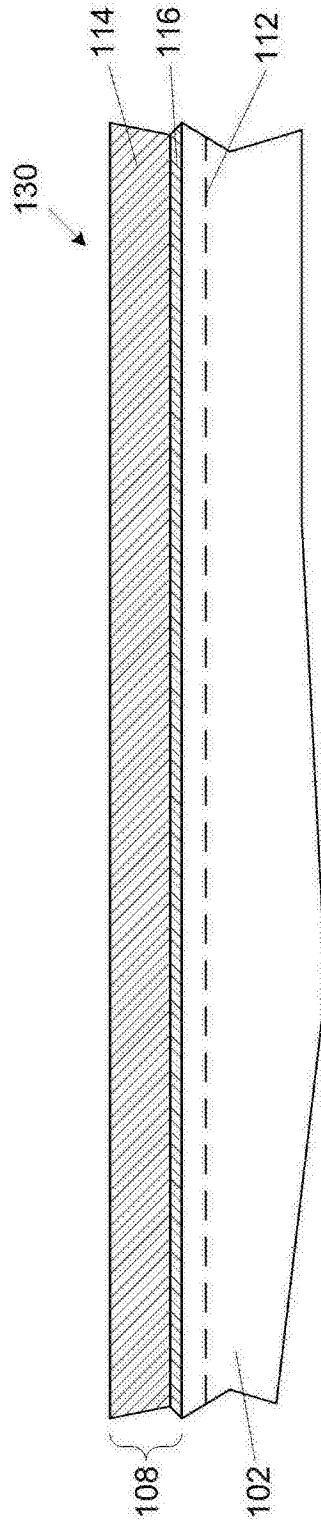


图2

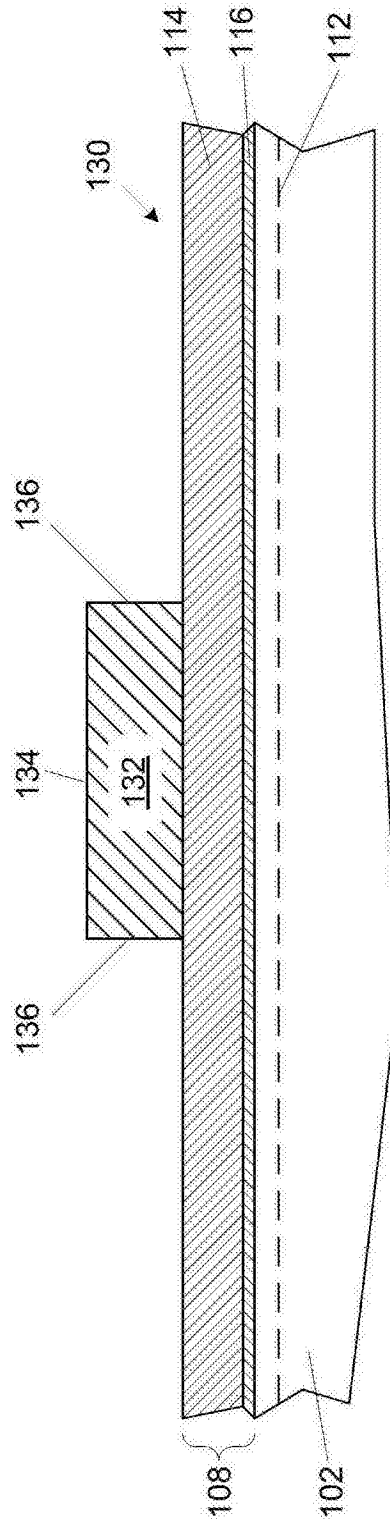


图3

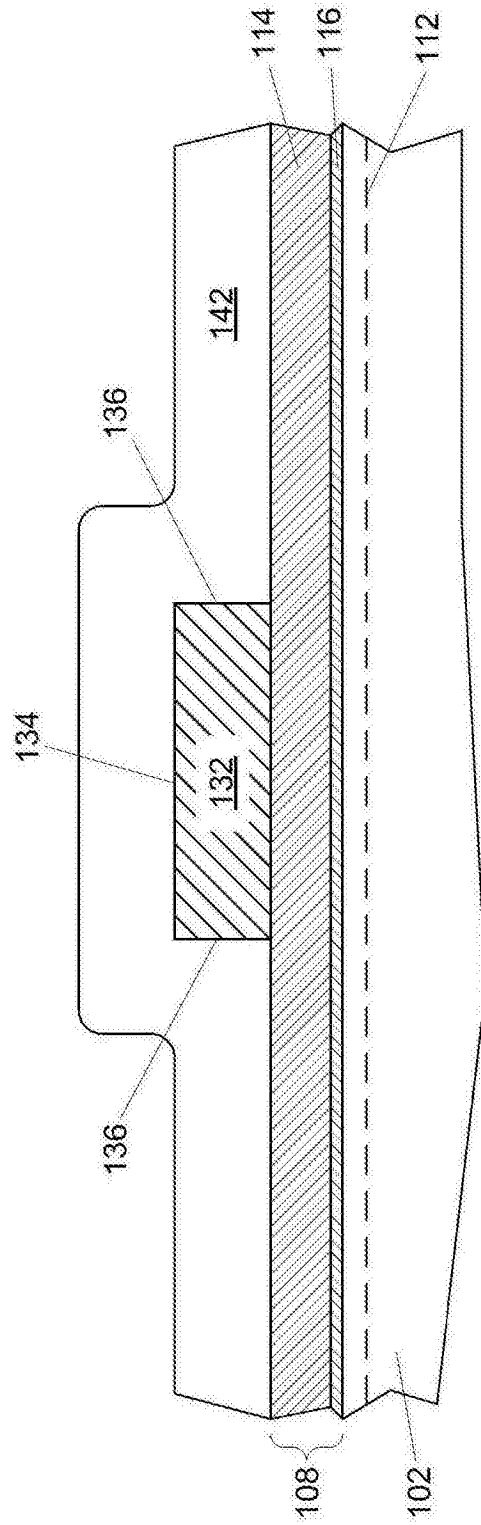


图4

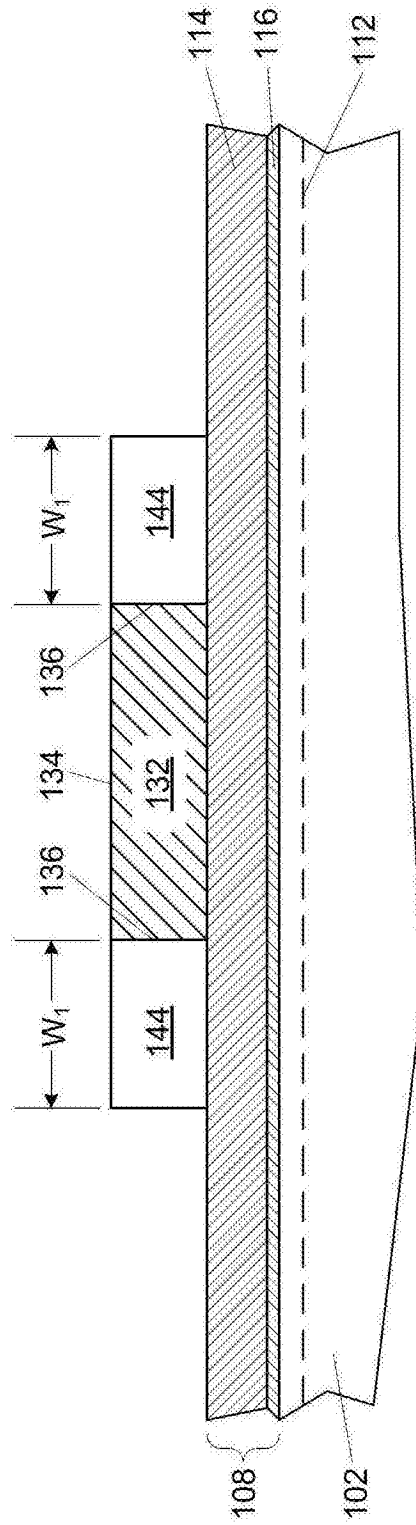


图5

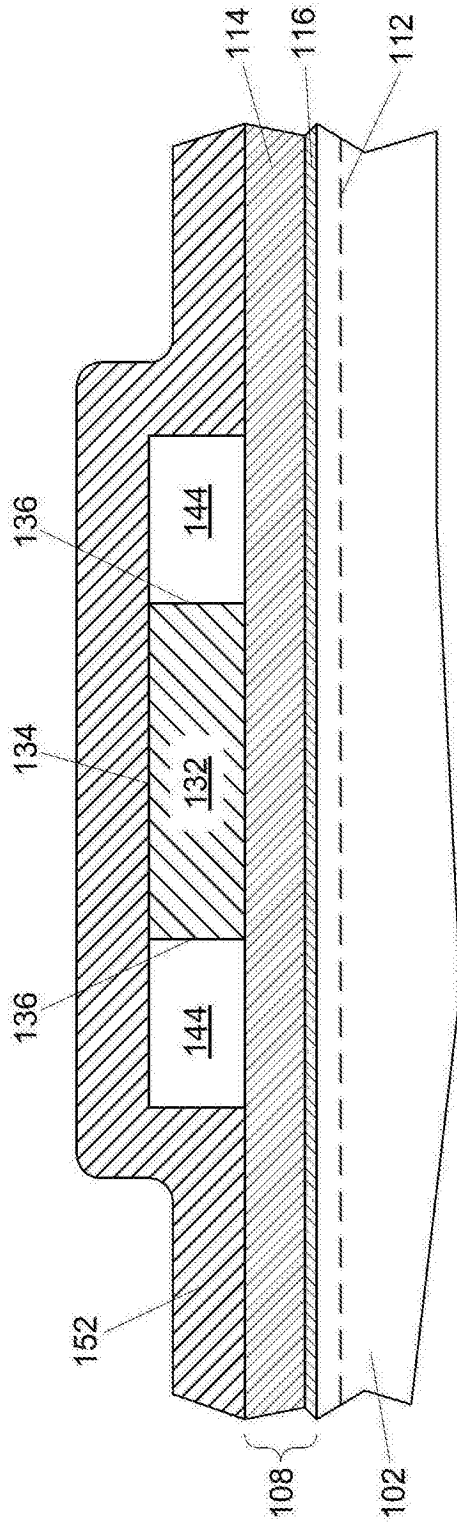


图6

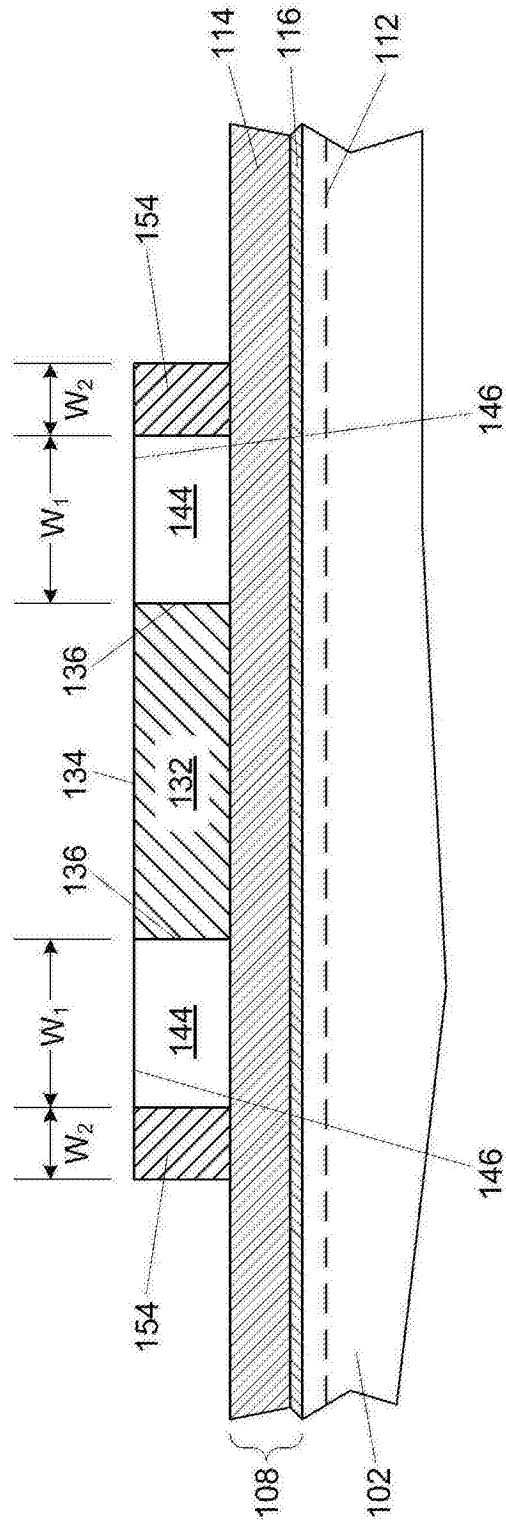


图7

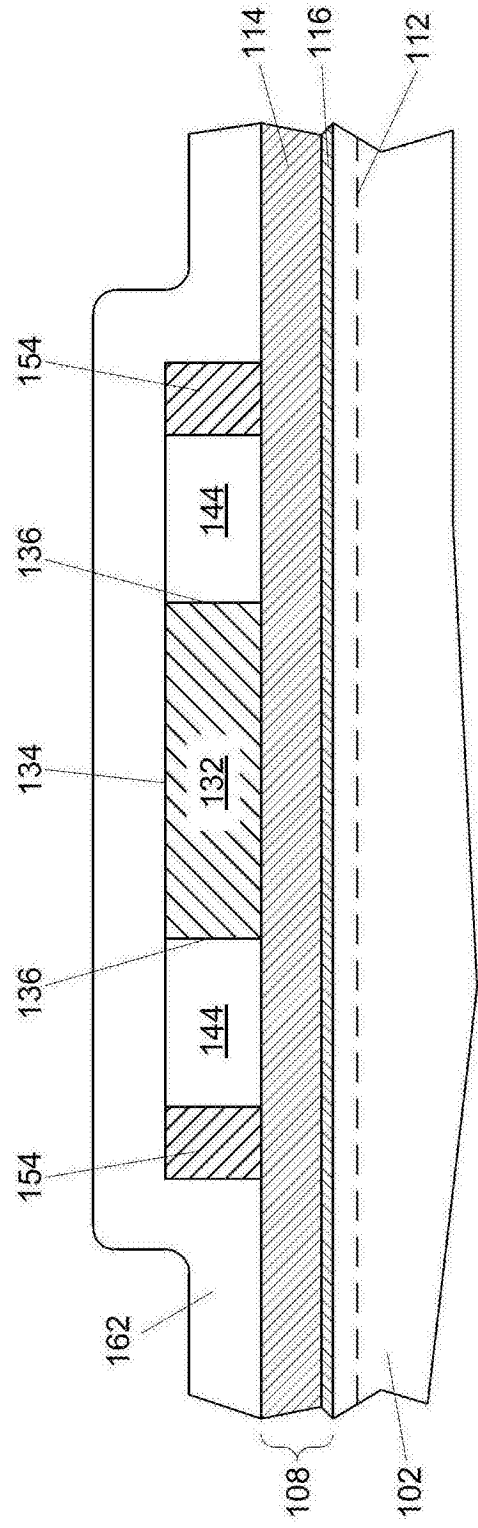


图8

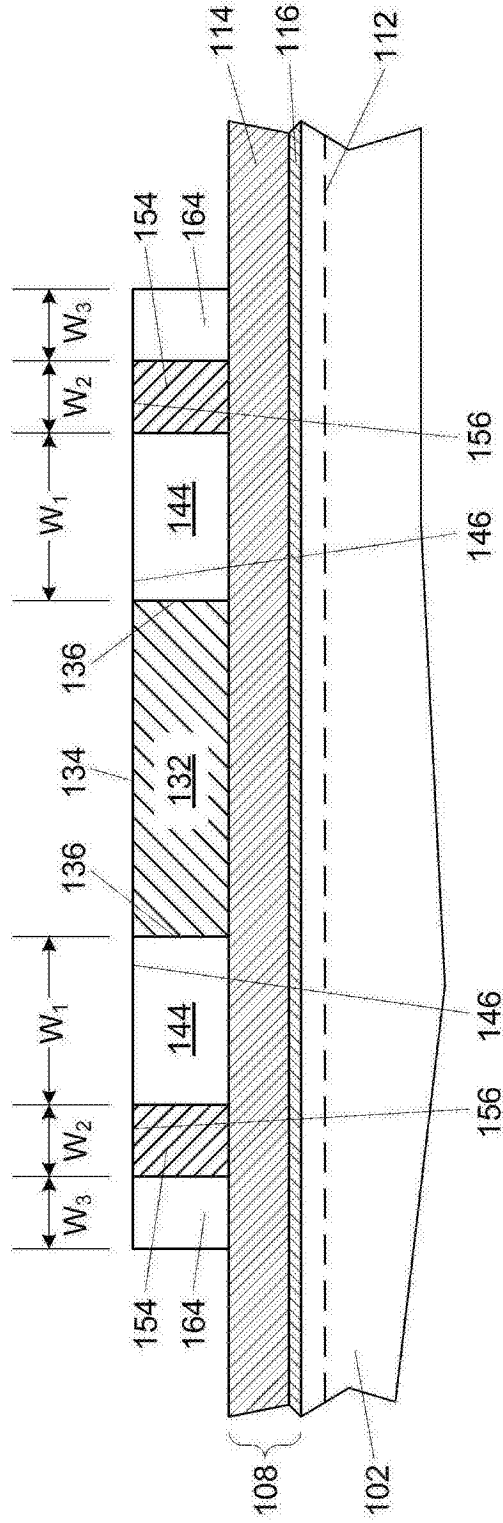


图9

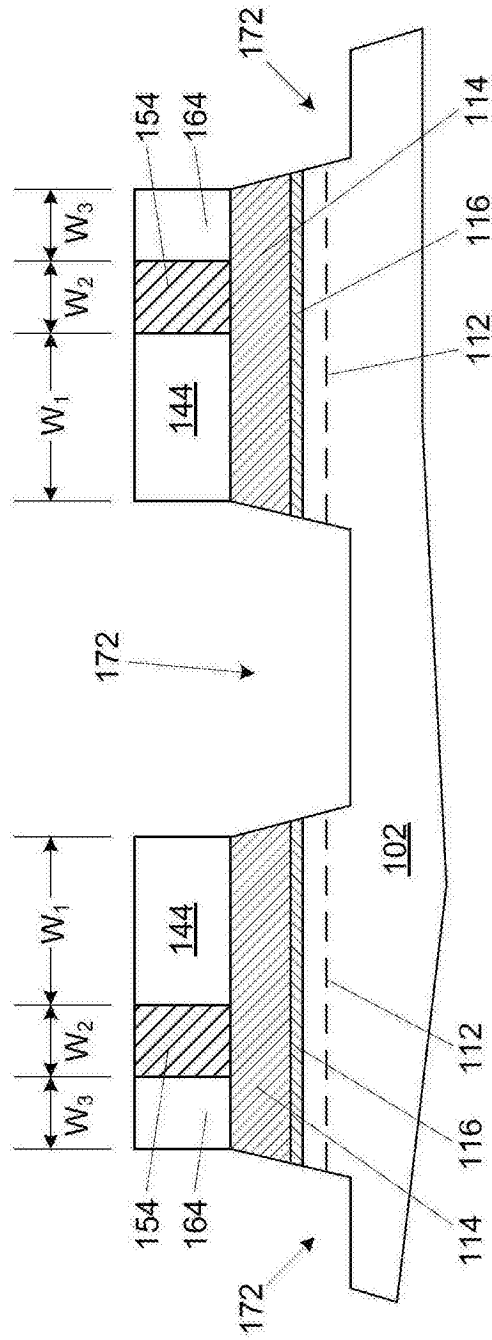


图10

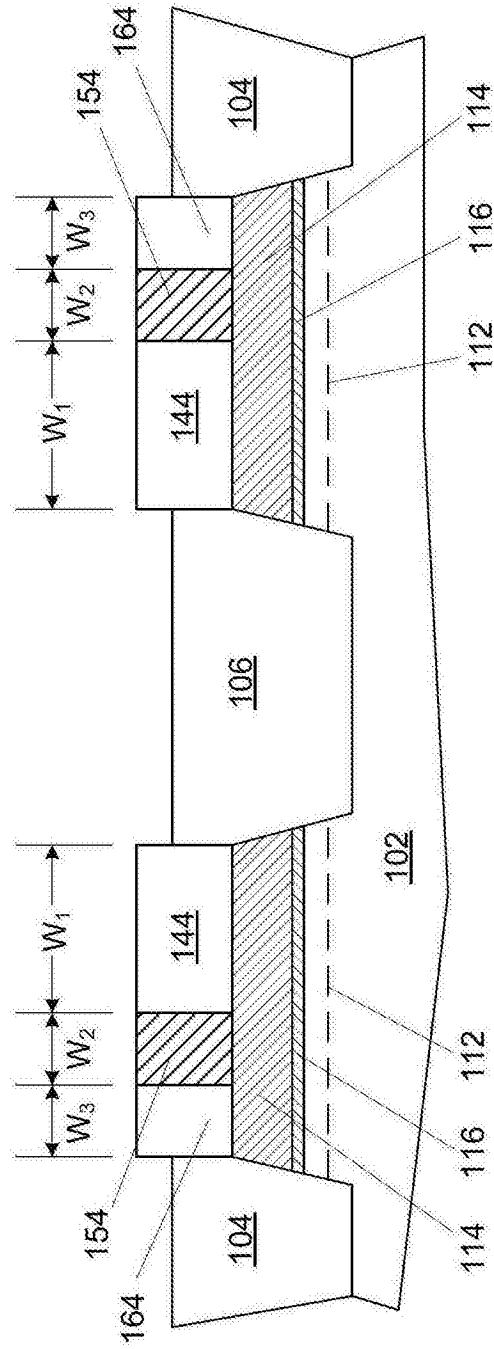


图11

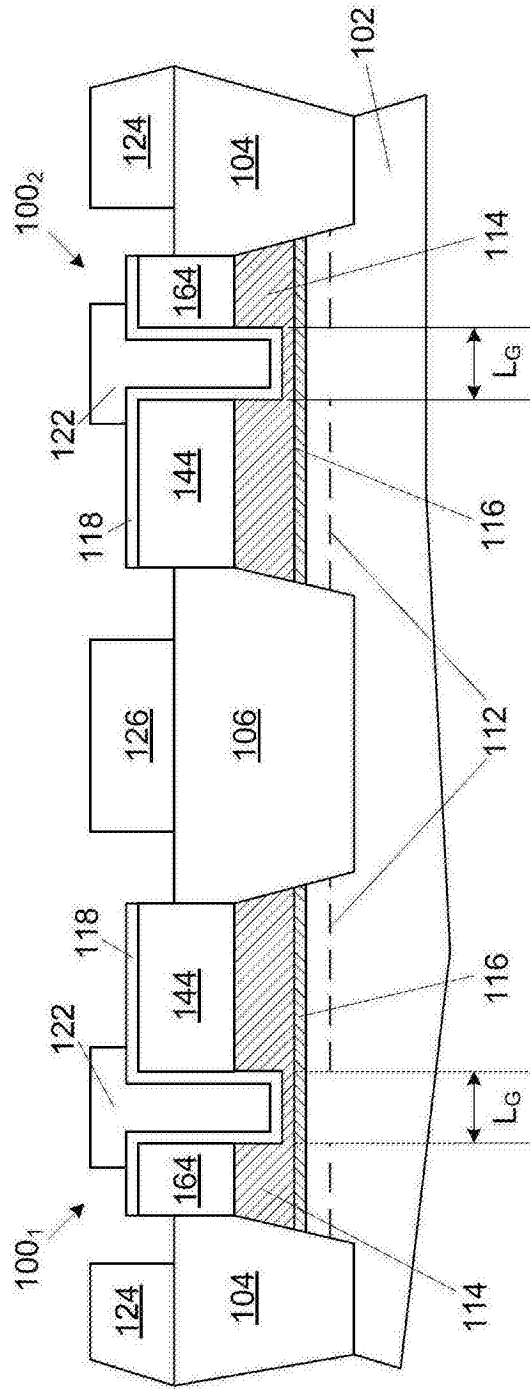


图13

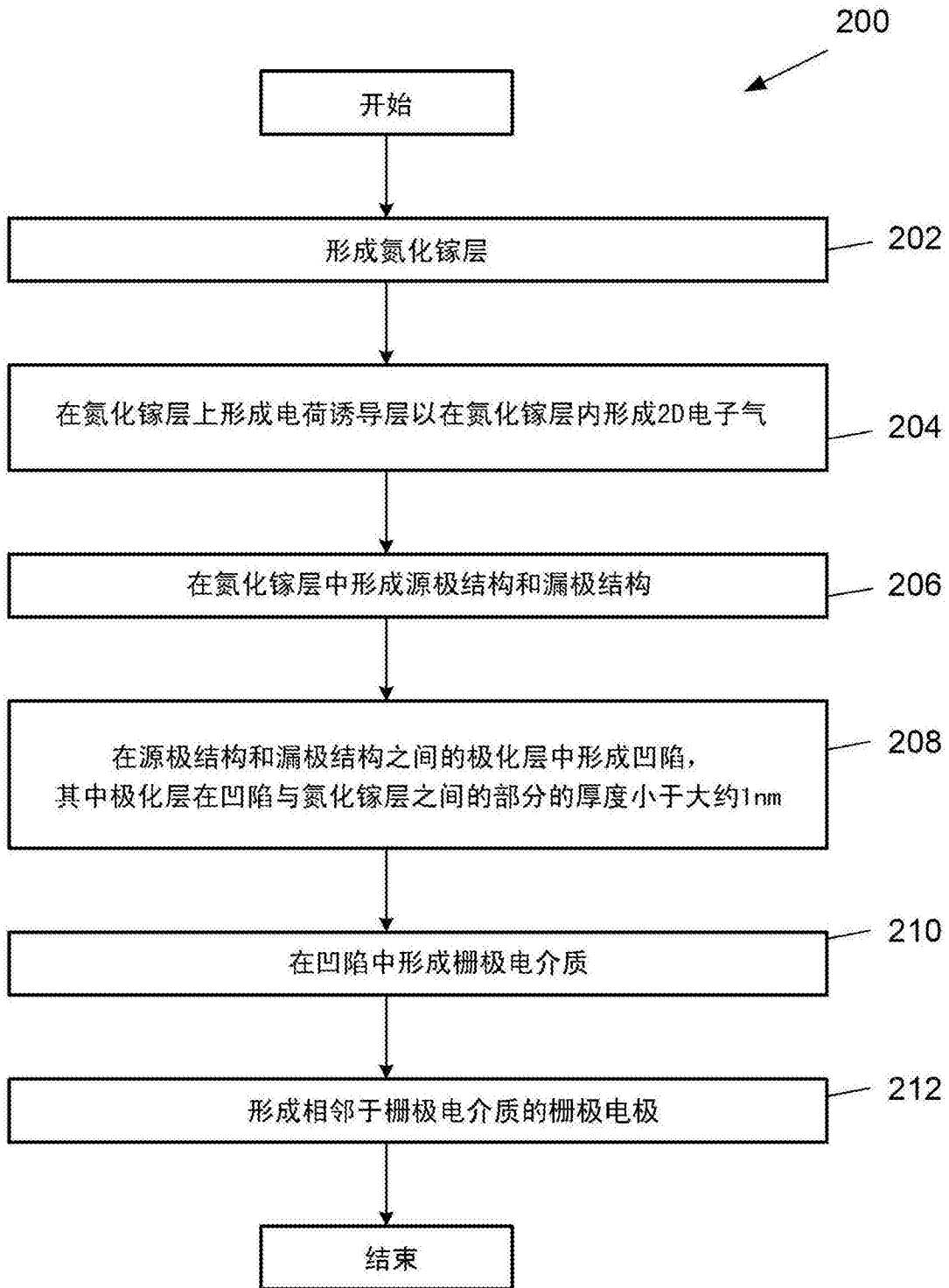


图14

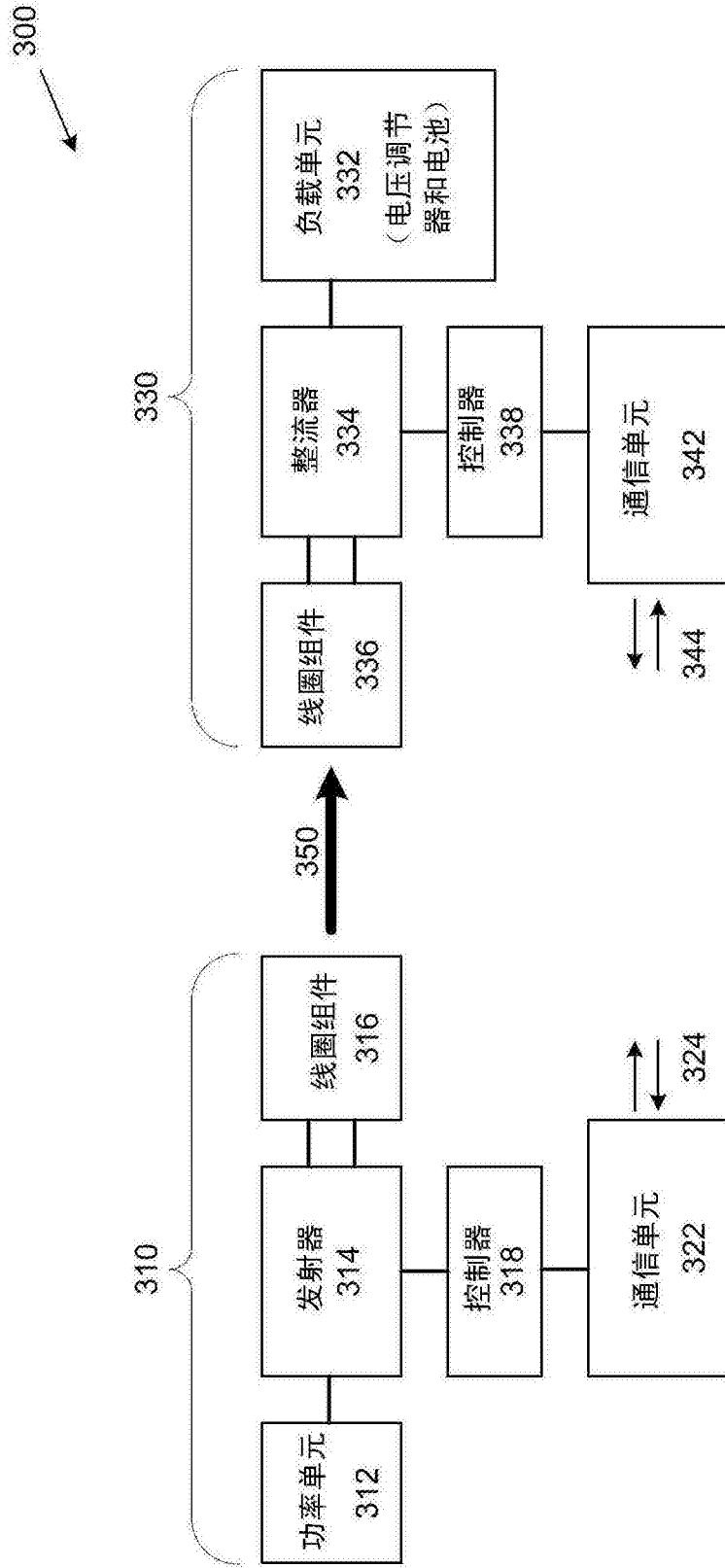


图15

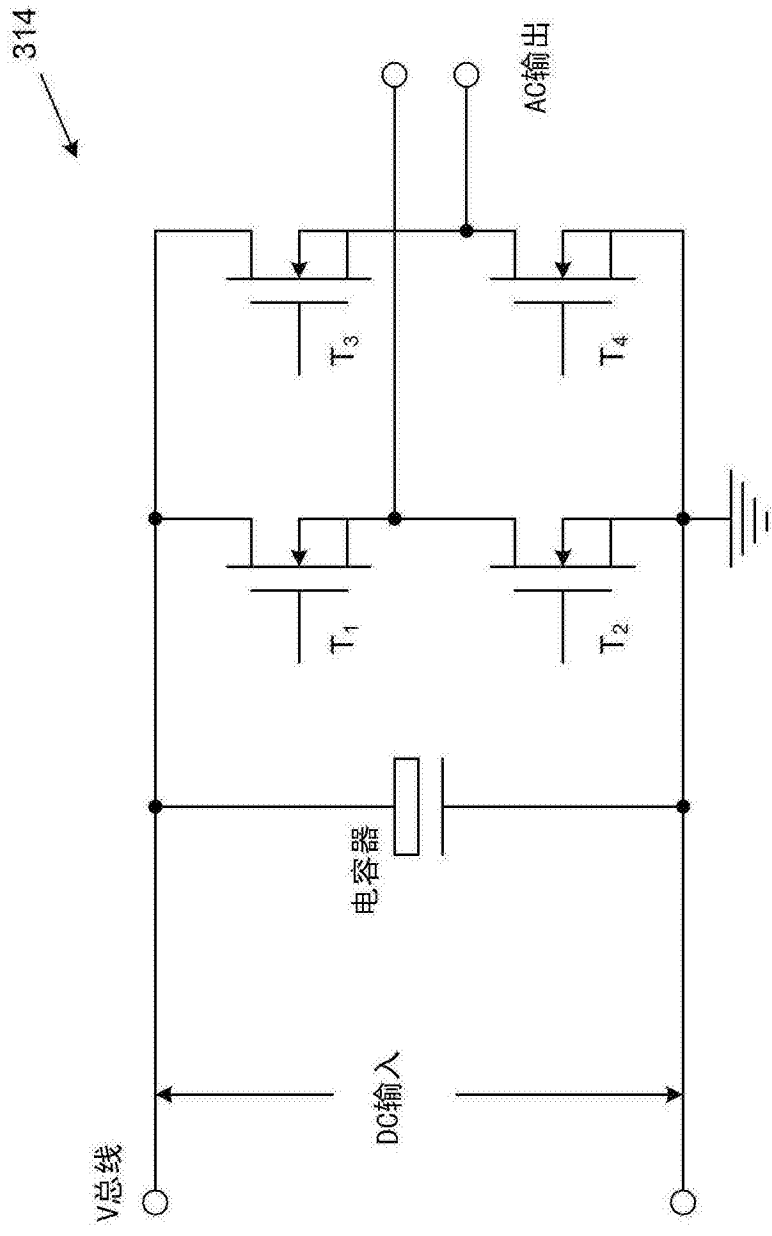


图16