



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117581385 A

(43) 申请公布日 2024. 02. 20

(21) 申请号 202280045854.4

(22) 申请日 2022.06.15

(30) 优先权数据

2021-113581 2021.07.08 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.12.27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/023968 2022.06.15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/281998 JA 2023.01.12

(71) 申请人 罗姆股份有限公司

地址 日本京都府

(72) 发明人 大岳浩隆 馆毅

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

11243

专利代理师 许静 范胜杰

(51) Int.Cl.

H01L 29/812 (2006.01)

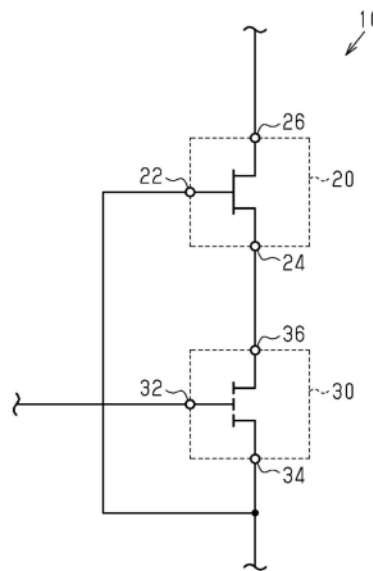
权利要求书2页 说明书15页 附图6页

(54) 发明名称

氮化物半导体装置

(57) 摘要

氮化物半导体装置(10)具有:耗尽型晶体管(20),其包含第一栅极端子(22)、第一源极端子(24)及第一漏极端子(26);增强型晶体管(30),其包含第二栅极端子(32)、第二源极端子(34)及第二漏极端子(36)。第二漏极端子(36)与第一源极端子(24)连接,第二源极端子(34)与第一栅极端子(22)连接。耗尽型晶体管(20)包含:电子传输层,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;电子供给层,其形成在电子传输层上,并由包含比电子传输层大的铝组分的氮化物半导体构成。



1. 一种氮化物半导体装置,具有:  
耗尽型晶体管,其包含第一栅极端子、第一源极端子及第一漏极端子;以及  
增强型晶体管,其包含第二栅极端子、第二源极端子及第二漏极端子,  
所述第二漏极端子与所述第一源极端子连接,所述第二源极端子与所述第一栅极端子  
连接,  
所述耗尽型晶体管包含:  
电子传输层,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;以及  
电子供给层,其形成在所述电子传输层上,并由包含比所述电子传输层大的铝组分的  
氮化物半导体构成。
2. 根据权利要求1所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述电子传输层由 $Al_xGa_{1-x}N$ 形成,  
所述电子供给层由 $Al_yGa_{1-y}N$ 形成,  
 $0.1 < x < 0.2, 0.25 < y < 0.4, x < y$ 。
3. 根据权利要求1或2所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述耗尽型晶体管还包含:氮化物半导体层,其形成在所述电子供给层上,并包含施主  
型杂质。
4. 根据权利要求1~3中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述增强型晶体管包含:  
第二电子传输层,其由具有比所述耗尽型晶体管的所述电子传输层小的带隙的氮化物  
半导体构成;  
第二电子供给层,其形成在所述第二电子传输层上,并由具有比所述第二电子传输层  
大的带隙的氮化物半导体构成;以及  
栅极层,其形成于所述第二电子供给层上的一部分,并由包含受主型杂质的氮化物半  
导体构成。
5. 根据权利要求4所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述耗尽型晶体管的所述电子供给层具有比所述增强型晶体管的所述第二电子供给  
层大的厚度。
6. 根据权利要求4或5所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述栅极层具有110nm以上的厚度,  
所述增强型晶体管还包含:栅极电极,其与所述栅极层形成肖特基结。
7. 根据权利要求6所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述栅极层包含:  
脊部,其包含形成所述栅极电极的上表面;以及  
延展部,其在俯视图中向所述脊部的外侧延伸,并且具有所述脊部的厚度的1/2以下的  
厚度。
8. 根据权利要求4~7中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述增强型晶体管的栅极-源极间电压的最大额定为8V以上。
9. 根据权利要求1~3中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,  
所述增强型晶体管是硅MOSFET。

10. 根据权利要求1~9中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述耗尽型晶体管和所述增强型晶体管分别还包含Si基板。
11. 根据权利要求1~9中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述耗尽型晶体管还包含:含有Al的半导体基板,所述增强型晶体管还包含Si基板。
12. 根据权利要求1~11中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述耗尽型晶体管的漏极-源极间电压的最大额定比所述增强型晶体管的漏极-源极间电压的最大额定大。
13. 根据权利要求1~12中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述增强型晶体管的漏极-源极间电压的最大额定为30V以上,所述耗尽型晶体管的漏极-源极间电压的最大额定为500V以上。
14. 根据权利要求1~13中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述耗尽型晶体管具有比所述增强型晶体管大的导通电阻。
15. 根据权利要求1~14中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述耗尽型晶体管具有比所述增强型晶体管的导通电阻的10倍还大的导通电阻。
16. 根据权利要求1~15中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,所述增强型晶体管的漏极-源极间电压的最大额定为100V以下。

## 氮化物半导体装置

### 技术领域

[0001] 本公开涉及氮化物半导体装置。

### 背景技术

[0002] 目前,使用了氮化物半导体的高电子迁移率晶体管 (HEMT:High Electron Mobility Transistor) 的产品化不断发展。在将HEMT应用于功率器件的情况下,从失效保护 (fail-safe) 的观点出发,要求在零偏置时阻断源极-漏极间的电流路径 (沟道) 的常关动作 (normally-off)。

[0003] 在专利文献1中,公开了一种增强型的硅MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) 与耗尽型的氮化镓HEMT串联连接而成的共源共栅晶体管 (cascode transistor)。在专利文献1的共源共栅晶体管中,为了对耗尽型的氮化镓HEMT进行开关,组合了增强型的硅MOSFET来实现常关动作。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2015-61265号公报

### 发明内容

[0007] 发明要解决的课题

[0008] 在如专利文献1所记载的增强型的硅MOSFET与耗尽型的氮化镓HEMT串联连接而成的共源共栅晶体管中,导通电阻的温度依赖性比较大。例如,当动作温度从室温上升到150℃时,共源共栅晶体管的导通电阻可能增加到2倍以上。这样的导通电阻增加使导通损耗增大,可能导致芯片温度的进一步上升,因此,期望降低导通电阻的温度依赖性。

[0009] 用于解决课题的手段

[0010] 本公开的一方式的氮化物半导体装置具有:耗尽型晶体管,其包含第一栅极端子、第一源极端子及第一漏极端子;以及增强型晶体管,其包含第二栅极端子、第二源极端子及第二漏极端子。所述第二漏极端子与所述第一源极端子连接,所述第二源极端子与所述第一栅极端子连接。所述耗尽型晶体管包含:电子传输层,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;以及电子供给层,其形成在所述电子传输层上,并由包含比所述电子传输层大的铝组分的氮化物半导体构成。

[0011] 发明效果

[0012] 根据本公开的氮化物半导体装置,能够降低导通电阻的温度依赖性。

### 附图说明

[0013] 图1是一实施方式的示例性的氮化物半导体装置的概略电路图。

[0014] 图2是基于本公开的一方式的示例性的耗尽型晶体管的概略剖视图。

[0015] 图3是基于本公开的一方式的示例性的增强型晶体管的概略剖视图。

- [0016] 图4是基于本公开的其他方式的示例性的耗尽型晶体管的概略剖视图。
- [0017] 图5是表示本公开的氮化物半导体装置的应用例的概略电路图。
- [0018] 图6是表示本公开的氮化物半导体装置的其他应用例的概略电路图。

### 具体实施方式

[0019] 以下,参照附图对本公开的氮化物半导体装置的实施方式进行说明。此外,为了使说明简单且明确,附图所示的构成要素不一定以固定比例尺进行描绘。另外,为了容易理解,在剖视图中有时省略了剖面线。附图只不过是本公开的实施例进行例示,不应视为对本公开进行限制。

[0020] 以下的详细记载包含使本公开的示例性的实施方式具体化的装置、系统和方法。该详细记载只不过是原本说明用的,并不意味着限定本公开的实施例或者这样的实施方式的应用以及使用。

[0021] 图1是一实施方式的示例性的氮化物半导体装置10的概略电路图。氮化物半导体装置10具有耗尽型(depletion mode)晶体管20和增强型(enhancement mode)晶体管30。耗尽型晶体管20包含第一栅极端子22、第一源极端子24及第一漏极端子26。增强型晶体管30包含第二栅极端子32、第二源极端子34及第二漏极端子36。第二漏极端子36与第一源极端子24连接,第二源极端子34与第一栅极端子22连接。因此,通过耗尽型晶体管20和增强型晶体管30的共源共栅连接而构成氮化物半导体装置10。通过共源共栅连接中包含的增强型晶体管30,能够实现氮化物半导体装置10的常关动作。

[0022] 通过耗尽型晶体管20和增强型晶体管30的共源共栅连接而构成的氮化物半导体装置10的导通电阻相当于耗尽型晶体管20的导通电阻与增强型晶体管30的导通电阻的合计。如以下更详细说明那样,通过使用导通电阻的温度依赖性小的耗尽型晶体管20,能够降低氮化物半导体装置10整体的导通电阻的温度依赖性。

[0023] 图2是基于本公开的一方式的示例性的耗尽型晶体管20的概略剖视图。耗尽型晶体管20在一例中为氮化物半导体基极(base)的高电子迁移率晶体管(HEMT)。耗尽型晶体管20包含:电子传输层56,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;电子供给层58,其形成在电子传输层56上,并由包含比电子传输层56大的铝组分的氮化物半导体构成。

[0024] 更详细而言,耗尽型晶体管20可以包含:基板52、形成于基板52上的缓冲层54、形成于缓冲层54上的电子传输层56、以及形成于电子传输层56上的电子供给层58。

[0025] 基板52可以由硅(Si)、氮化铝(AlN)、氧化铝(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)或其他基板材料形成。基板52也可以是QST(Qromis' Substrate Technology)基板,QST基板包含非晶AlN以及形成于非晶AlN表面的Si。基板52的厚度例如可以设为200μm以上且1500μm以下。图2所示的相互正交的XYZ轴的Z方向是与形成器件的基板52的面正交的方向。此外,只要没有明确地另外记载,在本说明书中提及的层的厚度就是指沿着Z方向的尺寸。

[0026] 缓冲层54位于基板52与电子传输层56之间,可以由能够缓和基板52与电子传输层56之间的晶格失配的任意材料构成。缓冲层54可以包含一个或多个氮化物半导体层,例如也可以包含氮化铝镓(AlGa<sub>2</sub>N)层、AlN层和具有不同的铝组分的分级AlGa<sub>2</sub>N(grated AlGa<sub>2</sub>N)层中的至少一个。

[0027] 电子传输层56由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成。例如,电子传输层56

由 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 形成,可以为 $0.1 < x < 0.2$ 。在一例中, $x=0.15$ 。在本公开中,“在晶体组分中包含铝”这样的表述是指排除了铝作为微量的杂质而包含的结构。在一例中,“在晶体组分中包含铝”是指以至少10%的组分包含铝,但并不限于此。电子传输层56的厚度例如可以设为300nm以上且400nm以下。在一例中,电子传输层56的厚度为350nm。

[0028] 电子供给层58由包含比电子传输层56大的铝组分的氮化物半导体构成。例如,电子供给层58由 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 形成,可以为 $0.25 < y < 0.4$ 。在一例中, $y=0.35$ 。电子供给层58包含比电子传输层56大的铝组分,因此, $x < y$ 。另外,铝组分越大,带隙越大,因此,电子供给层58具有比电子传输层56大的带隙。电子供给层58能够具有20nm以上且30nm以下的厚度。在一例中,电子供给层58具有25nm的厚度。

[0029] 电子传输层56和电子供给层58具有彼此不同的铝组分,因此由具有不同的晶格常数的氮化物半导体构成电子传输层56和电子供给层58。电子传输层56与电子供给层58的晶格失配系的接合对电子供给层58赋予应变,该应变在电子传输层56中诱发呈二维状扩展的电子,即二维电子气(2DEG)60。2DEG60在电子传输层56中,向靠近电子传输层56与电子供给层58的异质界面的位置(例如,距界面数nm左右的距离)扩展。该2DEG60作为耗尽型晶体管20的电流路径(沟道)发挥功能。

[0030] 耗尽型晶体管20的电子供给层58可以具有比增强型晶体管30的后述的第二电子供给层108大的厚度。由此,在耗尽型晶体管20中,能够抑制电流崩塌(collapse)的产生。

[0031] 此外,电流崩塌是指在晶体管的截止状态下,若对漏极-源极间施加高电压,则接下来使晶体管开关为导通状态时导通电阻增大的现象。这可能是因为:晶体管内部的结晶缺陷或层界面例如电子传输层内或电子供给层表面电子被捕获,这些电子阻碍二维电子气的产生。耗尽型晶体管20的电子供给层58具有比较大的厚度,由此,能够使电子供给层58的表面远离2DEG60,因此,能够抑制电流崩塌的产生。

[0032] 耗尽型晶体管20还包含:形成在电子供给层58上的栅极绝缘层62、源极电极64、漏极电极66。

[0033] 栅极绝缘层62可以由能够使电子供给层58与后述的栅极电极72绝缘的任意材料形成。例如,栅极绝缘层62可以包含氮化硅(SiN)和AlN中的至少一个。在一例中,栅极绝缘层62可以包含SiN层和形成在SiN层上的AlN层。

[0034] 栅极绝缘层62具有:使电子供给层58的表面露出的第一开口62A以及第二开口62B。源极电极64填充第一开口62A,并经由第一开口62A与电子供给层58相接。漏极电极66填充第二开口62B,并经由第二开口62B与电子供给层58相接。

[0035] 源极电极64及漏极电极66分别可以由1个或多个金属层(例如,由钛(Ti)层、氮化钛(TiN)层、铝(Al)层、铝硅铜合金(AlSiCu)层及铝铜合金(AlCu)层等任意组合构成)构成。在一例中,源极电极64及漏极电极66分别可以包含Ti层、形成在Ti层上的TiN层、形成在TiN层上的AlCu层、形成在AlCu层上的TiN层。源极电极64和漏极电极66分别经由第一开口62A和第二开口62B与电子供给层58正下方的2DEG60欧姆接触。

[0036] 耗尽型晶体管20还可以包含:覆盖栅极绝缘层62、源极电极64及漏极电极66的第一钝化层68;形成在第一钝化层68上的第二钝化层70;以及栅极电极72。第一钝化层68及第二钝化层70将源极电极64及漏极电极66分别局部地覆盖。

[0037] 第一钝化层68具有使栅极绝缘层62露出的开口68A。形成在第一钝化层68上的第

二钝化层70具有开口70A,所述开口70A沿着X方向具有比开口68A大的宽度。在沿着Z方向从上方观察时,开口68A位于开口70A的内侧。另外,开口68A和开口70A位于比漏极电极66靠近源极电极64的位置。

[0038] 第一钝化层68和第二钝化层70可以由SiN构成。虽然省略图示,但也可以在第一钝化层68与第二钝化层70之间形成AlN层作为蚀刻停止层。

[0039] 栅极电极72形成在第二钝化层70上,并且填充开口68A及开口70A。栅极电极72经由开口68A以及开口70A与栅极绝缘层62相接。

[0040] 在沿着Z方向观察时,栅极电极72可以包含:栅极接触部72A,其形成于开口68A的区域;第一栅极场板部72B,其形成于从开口70A的区域除去开口68A的区域;第二栅极场板部72C,其形成于比开口70A靠外侧的区域。

[0041] 第二栅极场板部72C沿着X方向具有比开口70A大的宽度。因此,第二栅极场板部72C与第一栅极场板部72B相比,延伸至源极电极64及漏极电极66的附近。此外,第二栅极场板部72C与源极电极64及漏极电极66分离。

[0042] 在栅极-源极间电压为零且漏极-源极间电压比较高时,第一栅极场板部72B和第二栅极场板部72C特别起到抑制栅极-漏极间的电场集中的作用。

[0043] 在栅极-源极间电压为零且漏极-源极间电压比较高时,也对位于第一栅极场板部72B和第二栅极场板部72C之下的第一钝化层68和/或第二钝化层70施加电场,该电场越接近漏极电极66越高。

[0044] 在图2的例子中,在位于比较接近漏极电极66的位置的第二栅极场板部72C之下,设置有第一钝化层68及第二钝化层70两者。在第二栅极场板部72C之下,钝化层整体厚度增加第二钝化层70厚度的量,因此,能够提高第一钝化层68及第二钝化层70的绝缘破坏耐受性。

[0045] 栅极电极72、源极电极64以及漏极电极66分别与图1所示的第一栅极端子22、第一源极端子24以及第一漏极端子26连接。

[0046] 如以上说明的那样,耗尽型晶体管20包含:电子传输层56,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;电子供给层58,其形成在电子传输层56上,并由包含比电子传输层56大的铝组分的氮化物半导体构成。根据该结构,与电子传输层56在晶体组分中不包含铝的情况相比,2DEG60不易受到晶格振动导致的电子迁移率降低的影响,能够降低导通电阻的温度依赖性。与例如将氮化镓(GaN)层用作电子传输层的GaN沟道HEMT相比,耗尽型晶体管20的导通电阻的温度依赖性小。

[0047] 从通过增强型晶体管30保证常关动作并且通过耗尽型晶体管20提高氮化物半导体装置10的耐压这样的观点出发,耗尽型晶体管20的漏极-源极间电压的最大额定可以比增强型晶体管30的漏极-源极间电压的最大额定大。从同样观点出发,耗尽型晶体管20可以具有比增强型晶体管30大的导通电阻。例如,耗尽型晶体管20可以具有比增强型晶体管30的导通电阻的10倍还大的导通电阻,这样的情况下,氮化物半导体装置10的导通电阻中耗尽型晶体管20的导通电阻所占的比例为90%以上。

[0048] 在一例中,耗尽型晶体管20的漏极-源极间电压的最大额定可以为500V以上,增强型晶体管30的漏极-源极间电压的最大额定可以为30V以上。另外,在一例中,增强型晶体管30的漏极-源极间电压的最大额定可以为100V以下。

[0049] 图3是基于本公开一方式的示例性的增强型晶体管30的概略剖视图,在此,增强型晶体管30为氮化物半导体基极的HEMT。

[0050] 增强型晶体管30可以包含:基板102、形成在基板102上的缓冲层104、形成在缓冲层104上的电子传输层106、形成在电子传输层106上的电子供给层108。为了与耗尽型晶体管20的缓冲层54进行区分,缓冲层104也被称为第二缓冲层。为了与耗尽型晶体管20的电子传输层56进行区分,电子传输层106也被称为第二电子传输层。为了与耗尽型晶体管20的电子供给层58进行区分,电子供给层108也被称为第二电子供给层。

[0051] 基板102可以由硅(Si)、碳化硅(SiC)、GaN、蓝宝石或其他基板材料形成。在一例中,基板102是Si基板。

[0052] 此外,增强型晶体管30的基板102可以由与耗尽型晶体管20的基板52相同的材料形成,或者也可以由与耗尽型晶体管20的基板52不同的材料形成。在基板52和基板102由相同材料形成的一例中,基板52和基板102可以分别为Si基板。在基板52和基板102由不同材料形成的其他例中,基板52可以是包含Al的半导体基板,基板102可以是Si基板。

[0053] 基板102的厚度例如可以设为 $200\mu\text{m}$ 以上且 $1500\mu\text{m}$ 以下。图3所示的相互正交的XYZ轴的Z方向是与形成器件的基板102的面正交的方向。

[0054] 缓冲层104位于基板102与电子传输层106之间,可以由能够缓和基板102与电子传输层106之间的晶格失配的任意材料构成。缓冲层104可以包含一个或多个氮化物半导体层,例如可以包含AlN层、AlGa<sub>z</sub>N层和具有不同的铝组分的分级AlGa<sub>z</sub>N层中的至少一个。例如,缓冲层104可以由单一的AlN层、单一的AlGa<sub>z</sub>N层、具有AlGa<sub>z</sub>N/GaN超晶格结构的层、具有AlN/AlGa<sub>z</sub>N超晶格结构的层、或具有AlN/GaN超晶格结构的层构成。

[0055] 在一例中,缓冲层104可以包含:形成于基板102上的AlN层即第一缓冲层、形成于AlN层上的AlGa<sub>z</sub>N层即第二缓冲层。第一缓冲层例如可以是具有200nm的厚度的AlN层,第二缓冲层例如可以具有层叠有多个AlGa<sub>z</sub>N层的构造。此外,为了抑制缓冲层104中的漏电流,可以向缓冲层104的一部分导入杂质而成为半绝缘性。此时,杂质例如为碳(C)或铁(Fe),杂质的浓度例如可以为 $4 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上。

[0056] 电子传输层106由氮化物半导体构成,例如可以为GaN层。电子传输层106可以由具有比耗尽型晶体管20的电子传输层56小的带隙的氮化物半导体构成。电子传输层106的厚度例如可以设为300nm以上且 $2\mu\text{m}$ 以下,更优选可以为300nm以上且400nm以下。在一例中,电子传输层106的厚度为350nm。

[0057] 此外,为了抑制电子传输层106中的漏电流,可以向电子传输层106的一部分导入杂质而使电子传输层106的表层区域以外为半绝缘性。此时,杂质例如为C,杂质浓度例如以峰值浓度计可以设为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上。即,电子传输层106可以包含杂质浓度不同的多个GaN层,在一例中,可以包含C掺杂GaN层和非掺杂GaN层。C掺杂GaN层中的C浓度可以设为 $9 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上且 $9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0058] 电子供给层108由具有比电子传输层106大的带隙的氮化物半导体构成,例如可以是AlGa<sub>z</sub>N层。Al组分越大,带隙越大,因此,作为AlGa<sub>z</sub>N层的电子供给层108具有比作为GaN层的电子传输层106大的带隙。在一例中,电子供给层108由Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N构成,z为 $0.1 < z < 0.4$ ,更优选为 $0.2 < z < 0.3$ 。在一例中, $z = 0.25$ 。电子供给层108可以具有5nm以上且20nm以下的厚度。在一例中,电子供给层108可以具有8nm以上且15nm以下的厚度。

[0059] 电子传输层106和电子供给层108由具有彼此不同的晶格常数的氮化物半导体构成。电子传输层106与电子供给层108的晶格失配系的接合对电子供给层108赋予应变,该应变在电子传输层106中诱发二维电子气(2DEG)110。2DEG110在电子传输层106中,向靠近电子传输层106与电子供给层108的异质结界面的位置(例如,距界面数nm左右的距离)扩展。该2DEG110作为增强型晶体管30的电流路径(沟道)发挥功能。

[0060] 增强型晶体管30还包含:栅极层112,其形成在电子供给层108上;栅极电极114,其形成在栅极层112上;钝化层116,其覆盖电子供给层108、栅极层112以及栅极电极114,并且具有第一开口116A和第二开口116B;源极电极118,其经由第一开口116A与电子供给层108相接;漏极电极120,其经由第二开口116B与电子供给层108相接。

[0061] 栅极层112形成于电子供给层108的一部分上,并由包含受主型杂质的氮化物半导体构成。栅极层112例如可以由具有比AlGaIn层即电子供给层108小的带隙的任意材料构成。在一例中,栅极层112是掺杂有受主型杂质的GaIn层(p型GaIn层)。受主型杂质可以包含锌(Zn)、镁(Mg)和碳(C)中的至少一个。栅极层112中的受主型杂质的最大浓度在一例中为 $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上且 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0062] 栅极层112包含与电子供给层108相接的底面112A、底面112A的相反侧的上表面112B。栅极电极114形成于栅极层112的上表面112B。栅极层112在图3中的ZX平面中,可以具有矩形状、梯形状或脊状的截面。

[0063] 在图3所示的例子中,栅极层112包含:脊部122,其包含形成有栅极电极114的上表面112B;两个延展部124、126(第一延展部124和第二延展部126),其在俯视图中延伸到脊部122的外侧。此外,俯视图是指沿着Z方向从上方观察增强型晶体管30。

[0064] 第一延展部124在俯视图中从脊部122朝向第一开口116A延伸。第一延展部124与第一开口116A分离。

[0065] 第二延展部126在俯视图中从脊部122朝向第二开口116B延伸。第二延展部126与第二开口116B分离。

[0066] 脊部122位于第一延展部124与第二延展部126之间,与第一延展部124及第二延展部126一体地形成。因第一延展部124及第二延展部126的存在,栅极层112的底面112A也可以具有比上表面112B大的面积。在图3所示的例子中,第二延展部126与第一延展部124相比,在俯视图中朝向脊部122的外侧延伸得较长。

[0067] 脊部122相当于栅极层112的比较厚的部分,可以具有80nm以上且150nm以下的厚度。栅极层112,特别是脊部122的厚度可以考虑包含栅极阈值电压的参数来决定。在一例中,栅极层112(脊部122)具有比110nm大的厚度。

[0068] 第一延展部124以及第二延展部126分别具有比脊部122的厚度小的厚度。在一例中,第一延展部124以及第二延展部126分别具有脊部122的厚度的1/2以下的厚度。

[0069] 此外,在图3所示的例子中,第一延展部124以及第二延展部126分别是具有大致一定厚度的平坦部分。此外,在本说明书中,“大致一定厚度”是指厚度处于制造上的偏差(例如20%)范围内。作为替代,第一延展部124以及第二延展部126分别在与脊部122邻接的区域中可以包含具有越远离脊部122越逐渐减小的厚度的锥形部,也可以在从脊部122分离超过规定距离的区域中包含具有大致一定厚度的平坦部。在一例中,平坦部可以具有5nm以上且25nm以下的厚度。

[0070] 栅极电极114形成于栅极层112的上表面112B。脊部122包含栅极层112的上表面112B,因此,栅极电极114也可以形成在栅极层112的脊部122上。栅极电极114由一个或多个金属层构成,在一例中为TiN层。或者,栅极电极114也可以通过由Ti构成的第一金属层、设置在第一金属层上由TiN构成的第二金属层来构成。栅极电极114的厚度例如可以为50nm以上且200nm以下。栅极电极114与栅极层112形成肖特基结。

[0071] 钝化层116覆盖电子供给层108、栅极层112和栅极电极114,并且具有第一开口116A和第二开口116B。钝化层116的第一开口116A及第二开口116B分别与栅极层112分离,栅极层112位于第一开口116A与第二开口116B之间。更详细而言,栅极层112位于第一开口116A与第二开口116B之间且比第二开口116B靠近第一开口116A的位置。钝化层116沿着电子供给层108的上表面、栅极层112的侧面及上表面112B、栅极电极114的侧面及上表面延伸,因此具有非平坦的表面。

[0072] 源极电极118和漏极电极120可以由一个或多个金属层(例如,由Ti层、TiN层、Al层、AlSiCu层、AlCu层等的任意组合而成)构成。源极电极118的至少一部分填充在第一开口116A内。漏极电极120的至少一部分填充在第二开口116B内。源极电极118和漏极电极120分别经由第一开口116A和第二开口116B与电子供给层108正下方的2DEG110欧姆接触。

[0073] 源极电极118包含:填充于第一开口116A的源极接触部118A、覆盖钝化层116的源极场板部118B。源极场板部118B与源极接触部118A连续,并与源极接触部118A一体地形成。源极场板部118B包含:在俯视图中位于第二开口116B与栅极层112之间的端部118C。源极场板部118B沿着钝化层116的表面从源极接触部118A朝向漏极电极120延伸至端部118C,但与漏极电极120分离。源极场板部118B沿着钝化层116的非平坦的表面延伸,因此,同样具有非平坦的表面。在未对栅极电极114施加栅极电压的零偏置期间对漏极电极120施加漏极电压时,源极场板部118B发挥缓和栅极电极114的端部附近的电场集中的作用。

[0074] 栅极电极114、源极电极118以及漏极电极120分别与图1所示的第二栅极端子32、第二源极端子34以及第二漏极端子36连接。

[0075] 在增强型晶体管30是上述那样的氮化物半导体基极的高电子迁移率晶体管(HEMT)时,能够使增强型晶体管30的栅极-源极间电压的最大额定为8V以上。

[0076] 在参照图3说明的例子中,增强型晶体管30是氮化物半导体基极的HEMT,但增强型晶体管30也可以是硅基极的金属氧化物半导体场效应晶体管(硅MOSFET)。增强型晶体管30可以从能够进行常关动作的任意的适当器件中来选择。

[0077] 此外,增强型晶体管30的导通电阻的温度依赖性可能比耗尽型晶体管20大。然而,耗尽型晶体管20的导通电阻占氮化物半导体装置10整体的导通电阻的比例比较小(例如小于10%),对温度依赖性的影响足够小。

[0078] (作用)

[0079] 以下,对本实施方式的氮化物半导体装置10的作用进行说明。

[0080] 氮化物半导体装置10通过耗尽型晶体管20和增强型晶体管30的共源共栅连接而构成。由耗尽型晶体管20和增强型晶体管30的共源共栅连接构成的氮化物半导体装置10的导通电阻相当于耗尽型晶体管20的导通电阻与增强型晶体管30的导通电阻的合计。因此,通过使用导通电阻的温度依赖性小的耗尽型晶体管20,能够保证常关动作,并且降低氮化物半导体装置10整体的导通电阻的温度依赖性。

[0081] 耗尽型晶体管20包含:电子传输层56,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;电子供给层58,其形成在电子传输层56上,并由包含比电子传输层56大的铝组分的氮化物半导体构成。根据该结构,与电子传输层56在晶体组分中不包含铝的情况相比,2DEG60不易受到晶格振动导致的电子迁移率降低的影响,能够降低导通电阻的温度依赖性。

[0082] 特别是,在氮化物半导体装置10的导通电阻中耗尽型晶体管20的导通电阻所占的比例大的情况下,降低耗尽型晶体管20的导通电阻的温度依赖性对改善氮化物半导体装置10的导通电阻的温度依赖性是有利的。

[0083] (效果)

[0084] 第一实施方式的氮化物半导体装置10具有以下优点。

[0085] (1) 氮化物半导体装置10由耗尽型晶体管20和增强型晶体管30的共源共栅连接构成,耗尽型晶体管20包含:电子传输层56,其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;电子供给层58,其形成在电子传输层56上,并由包含比电子传输层56大的铝组分的氮化物半导体构成。

[0086] 根据该结构,在耗尽型晶体管20中产生的2DEG60不易受到晶格振动导致的电子迁移率降低的影响,因此,能够降低耗尽型晶体管20的导通电阻的温度依赖性。结果,能够保证常关动作,并且降低氮化物半导体装置10整体的导通电阻的温度依赖性。

[0087] (2) 增强型晶体管30可以包含:第二电子传输层106,其由具有比耗尽型晶体管20的电子传输层56小的带隙的氮化物半导体构成;第二电子供给层108,其形成在第二电子传输层106上,并由具有比第二电子传输层106大的带隙的氮化物半导体构成;栅极层112,其形成于第二电子供给层108上的一部分,并由包含受主型杂质的氮化物半导体构成。

[0088] 根据该结构,耗尽型晶体管20和增强型晶体管30两者是不具有pn反并联二极管的氮化物半导体HEMT,因此,能够实现高温时良好的反向恢复特性。

[0089] (3) 耗尽型晶体管20的电子供给层58可以具有比增强型晶体管30的第二电子供给层108大的厚度。

[0090] 根据该结构,在耗尽型晶体管20中,能够使电子供给层58的表面远离2DEG60,能够抑制电流崩塌的产生。

[0091] (4) 栅极层112可以包含:脊部122,其包含形成有栅极电极114的上表面112B;延展部126(和/或124),其在俯视图中向脊部122的外侧延伸,并且具有脊部122的厚度的1/2以下的厚度。

[0092] 根据该结构,与栅极层112仅包含脊部122的情况相比,能够使栅极层112的底面112A的面积增加延展部126(和/或124)的量。结果,能够降低在栅极层112与电子供给层108的界面蓄积的空穴密度,降低漏电流。

[0093] (5) 增强型晶体管30的栅极-源极间电压的最大额定可以为8V以上。

[0094] 根据该结构,栅极驱动对象即增强型晶体管30的栅极-源极间电压的最大额定比较高,因此,能够提高氮化物半导体装置10的动作的可靠性。

[0095] (6) 耗尽型晶体管20和增强型晶体管30分别可以包含Si基板。

[0096] 根据该结构,耗尽型晶体管20和增强型晶体管30分别是使用Si基板来制造的,因此能够降低氮化物半导体装置10的制造成本。

[0097] (7) 增强型晶体管30可以包含Si基板,耗尽型晶体管20可以包含含有Al的半导体

基板。

[0098] 根据该结构,使用具有较高刚性的基板来制造耗尽型晶体管20,因此,能够在抑制裂纹产生的同时,将由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成的电子传输层56形成得较厚。

[0099] (8)耗尽型晶体管20可以具有比增强型晶体管30大的导通电阻。

[0100] 根据该结构,氮化物半导体装置10的导通电阻中耗尽型晶体管20的导通电阻所占的比例变大,因此,能够有效地降低氮化物半导体装置10的导通电阻的温度依赖性。

[0101] [耗尽型晶体管的变更例]

[0102] 图4是变更例的耗尽型晶体管40的概略剖视图。可以代替图3所示的耗尽型晶体管20而在氮化物半导体装置10中包含耗尽型晶体管40,构成级联连接(cascade connection)。

[0103] 耗尽型晶体管40包含:形成在电子供给层58上的、包含施主型杂质的氮化物半导体层202。耗尽型晶体管40与图3所示的耗尽型晶体管20的不同点在于:在电子供给层58与栅极绝缘层62之间包含氮化物半导体层202。在图4的耗尽型晶体管40中,对与图3所示的耗尽型晶体管20一样的构成要素标注相同的符号。另外,在图4中,对与耗尽型晶体管20一样的构成要素省略详细说明。

[0104] 氮化物半导体层202形成在电子供给层58上。氮化物半导体层202由包含施主型杂质的氮化物半导体构成。在一例中,氮化物半导体层202可以是包含施主型杂质的GaN层。在其他例中,氮化物半导体层202可以是包含施主型杂质的AlGaN层。

[0105] 氮化物半导体层202具有:使电子供给层58露出的开口202A。在沿着Z方向从上方观察时,开口202A形成在开口70A的区域内。栅极绝缘层62形成在氮化物半导体层202上,并且是沿着开口202A和在开口202A内露出的电子供给层58形成的。通过栅极绝缘层62及栅极电极72来埋设开口202A。

[0106] 根据该结构,能够使氮化物半导体层202的表面远离2DEG60,因此,能够抑制电流崩塌的产生。

[0107] [氮化物半导体装置的应用例]

[0108] 图5是表示本公开的氮化物半导体装置10的应用例的概略电路图。图5表示了使用本公开的氮化物半导体装置10(参照图1)的LLC方式的DC/DC转换器300。DC/DC转换器300成为将从直流输入电源302供给的直流输入电压 $V_{in}$ 转换为直流输出电压 $V_{out}$ ,并向负载304(例如电池)供给电力。

[0109] DC/DC转换器300可以包含全桥结构的四个氮化物半导体装置10a、10b、10c、10d、谐振电感306以及谐振电容器308。氮化物半导体装置10a、10b、10c、10d分别对应于本公开的氮化物半导体装置10(参照图1)。谐振电感306和谐振电容器308分别与氮化物半导体装置10a和氮化物半导体装置10b之间的节点以及氮化物半导体装置10c和氮化物半导体装置10d之间的节点连接。此外,在其他例子中,DC/DC转换器300也可以包含半桥结构的两个氮化物半导体装置10来代替全桥结构的四个氮化物半导体装置10a、10b、10c、10d。

[0110] 氮化物半导体装置10a、10b、10c、10d根据从驱动电路310供给的驱动信号来进行开关,以将直流输入电压 $V_{in}$ 转换为交流电压。DC/DC转换器300还包含具有初级绕组和次级绕组的变压器312,上述交流电压被供给到变压器312的初级绕组。

[0111] DC/DC转换器300还包含:分别与变压器312的次级绕组的两端连接的整流元件314、316;与变压器312的次级绕组的中心抽头连接的平滑电容器318。整流元件314、316例如可以是同步整流晶体管或二极管。如图5所示,在整流元件314、316是同步整流晶体管时,整流元件314、316可以分别根据信号S1、S2进行动作。结果,从变压器312输出的交流电压被整流和平滑化,能够生成直流输出电压 $V_{out}$ 。

[0112] 在氮化物半导体装置10中包含的耗尽型晶体管20和/或增强型晶体管30为氮化物半导体HEMT时,氮化物半导体装置10具有良好的反向恢复特性,因此,能够实现损耗比较小的DC/DC转换器300。

[0113] 图6是表示本公开的氮化物半导体装置10的其他应用例的概略电路图。在图6中表示了使用本公开的氮化物半导体装置10(参照图1)的图腾柱型的功率因数改善(Power Factor Correction, PFC)电路400。PFC电路400构成为通过减小从交流输入电源402供给的交流输入电压 $V_{in}$ 与输入电流的相位差来提高功率因数。在PFC电路400中,将交流输入电压 $V_{in}$ 转换为直流输出电压 $V_{out}$ ,以向负载404供给DC输出。

[0114] PFC电路400可以包含:升压用的电感406、四个氮化物半导体装置10e、10f、10g、10h以及平滑电容器408。氮化物半导体装置10e、10f、10g、10h分别对应于本公开的氮化物半导体装置10(参照图1)。电感406与氮化物半导体装置10e和氮化物半导体装置10f之间的节点连接。交流输入电源402连接在电感406与氮化物半导体装置10g和氮化物半导体装置10h之间的节点之间。为了进行同步整流,氮化物半导体装置10e、10f、10g、10h根据从驱动电路410供给的驱动信号进行开关。

[0115] 在氮化物半导体装置10中包含的耗尽型晶体管20和/或增强型晶体管30为氮化物半导体HEMT的情况下,氮化物半导体装置10具有良好的反向恢复特性,因此,能够实现损耗比较小的PFC电路400。

[0116] 图5所示的DC/DC转换器300和图6所示的PFC电路400可以应用于例如车载充电器(on board charger, OBC)。

[0117] [其他变更例]

[0118] 上述实施方式以及变更例分别可以如下那样变更来进行实施。

[0119] • 栅极层112除了脊部122之外,也可以仅包含第一延展部124以及第二延展部126中的一个。例如,栅极层112可以包含脊部122和第二延展部126,而不包含第一延展部124。在另外其他例中,栅极层112也可以包含脊部122而不包含第一延展部124及第二延展部126。

[0120] • 栅极电极114图示为形成于栅极层112的上表面112B的一部分,但栅极电极114也可以形成为覆盖栅极层112的整个上表面112B。

[0121] • 耗尽型晶体管20的电子供给层58可以具有与增强型晶体管30的第二电子供给层108相同的厚度,或者也可以具有比第二电子供给层108小的厚度。

[0122] • 电子传输层56可以经由缓冲层54层叠在基板52上,或者也可以不经由缓冲层54而层叠在基板52上。

[0123] • 电子传输层106可以经由缓冲层104层叠在基板102上,或者也可以不经由缓冲层104而层叠在基板102上。

[0124] 可以在技术上不矛盾的范围内组合本说明书中记载的各种例子中的一个或多个。

[0125] 在本说明书中,“A及B中的至少一个”应理解为是指“仅A、或仅B、或A及B双方”。

[0126] 在本公开中使用的“在~上”这样的术语包含“在~上”和“在~的上方”的含义,除非上下文清楚地表明。因此,“第一层形成在第二层上”这样的表述是指,在某实施方式中,第一层可以与第二层接触地直接配置于第二层上,但在其他实施方式中,第一层可以不与第二层接触地配置于第二层的上方。即,“在~上”这样的术语不排除在第一层与第二层之间形成其他层的构造。例如,电子供给层108形成在电子传输层106上的构造可以包含中间层位于电子供给层108和电子传输层106之间以稳定地形成2DEG110的构造。

[0127] 在本公开中使用的“垂直”、“水平”、“上方”、“下方”、“上”、“下”、“前方”、“后方”、“纵”、“横”、“左”、“右”、“前”、“后”等表示方向的术语取决于说明和图示的装置的特定朝向。在本公开中,可以想到各种替代的朝向,因此,这些表示方向的术语不应被狭义地解释。

[0128] 例如,在本公开中使用的Z方向不一定需要是铅垂方向,也不需要与铅垂方向完全一致。因此,基于本公开的各种构造(例如,图1所示的构造)不限于本说明书中说明的Z方向的“上”和“下”是铅垂方向的“上”和“下”。例如,X方向也可以是铅垂方向,或者Y方向也可以是铅垂方向。

[0129] [附记]

[0130] 以下记载了能够从本公开掌握的技术思想。此外,为了辅助理解而并不限定,对附记所记载的构成要素标注实施方式中对应的构成要素的参照符号。参照符号是为了辅助理解而作为例子展示的,各附记所记载的构成要素不应限定于参照符号表示的构成要素。

[0131] (附记1)

[0132] 一种氮化物半导体装置,具有:

[0133] 耗尽型晶体管(20),其包含第一栅极端子(22)、第一源极端子(24)及第一漏极端子(26);以及

[0134] 增强型晶体管(30),其包含第二栅极端子(32)、第二源极端子(34)及第二漏极端子(36);

[0135] 所述第二漏极端子(36)与所述第一源极端子(24)连接,所述第二源极端子(34)与所述第一栅极端子(22)连接,

[0136] 所述耗尽型晶体管(20)具有:

[0137] 电子传输层(56),其由在晶体组分中包含铝的氮化物半导体构成;以及

[0138] 电子供给层(58),其形成在所述电子传输层(56)上,并由包含比所述电子传输层(56)大的铝组分的氮化物半导体构成。

[0139] (附记2)

[0140] 根据附记1所述的氮化物半导体装置,其中,

[0141] 所述电子传输层(56)由 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 形成,

[0142] 所述电子供给层(58)由 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 形成,

[0143]  $0.1 < x < 0.2, 0.25 < y < 0.4, x < y$ 。

[0144] (附记3)

[0145] 根据附记1或2所述的氮化物半导体装置,其中,

[0146] 所述耗尽型晶体管(40)还包含:氮化物半导体层(202),其形成在所述电子供给层(58)上,并包含施主型杂质。

- [0147] (附记4)
- [0148] 根据附记1~3中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0149] 所述增强型晶体管(30)具有:
- [0150] 第二电子传输层(106),其由具有比所述耗尽型晶体管(20)的所述电子传输层(56)小的带隙的氮化物半导体构成;
- [0151] 第二电子供给层(108),其形成在所述第二电子传输层(106)上,并由具有比所述第二电子传输层(106)大的带隙的氮化物半导体构成;以及
- [0152] 栅极层(112),其形成于所述第二电子供给层(108)上的一部分,并由包含受主型杂质的氮化物半导体构成。
- [0153] (附记5)
- [0154] 根据附记4所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0155] 所述耗尽型晶体管(20)的所述电子供给层(58)具有比所述增强型晶体管(30)的所述第二电子供给层(108)大的厚度。
- [0156] (附记6)
- [0157] 根据附记4或5所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0158] 所述栅极层(112)具有110nm以上的厚度,
- [0159] 所述增强型晶体管(30)还包含:栅极电极(114),其与所述栅极层(112)形成肖特基结。
- [0160] (附记7)
- [0161] 根据附记6所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0162] 所述栅极层(112)包含:
- [0163] 脊部(122),其包含形成有所述栅极电极(114)的上表面(112B);以及
- [0164] 延展部(126),其在俯视图中向所述脊部(122)的外侧延伸,并且具有所述脊部的厚度的1/2以下的厚度。
- [0165] (附记8)
- [0166] 根据附记4~7中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0167] 所述增强型晶体管(30)的栅极-源极间电压的最大额定为8V以上。
- [0168] (附记9)
- [0169] 根据附记1~3中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0170] 所述增强型晶体管(30)是硅MOSFET。
- [0171] (附记10)
- [0172] 根据附记1~9中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0173] 所述耗尽型晶体管(20)和所述增强型晶体管(30)分别还包含Si基板(52或102)。
- [0174] (附记11)
- [0175] 根据附记10所述的氮化物半导体装置,其中,
- [0176] 所述电子传输层(56)和所述第二电子传输层(106)分别形成于所述Si基板(52或102)上。
- [0177] (附记12)
- [0178] 根据附记10或11所述的氮化物半导体装置,其中,

[0179] 所述耗尽型晶体管(20)以及所述增强型晶体管(30)分别还包含:缓冲层(54或104),其形成在所述Si基板(52或102)上,

[0180] 所述电子传输层(56)以及所述第二电子传输层(106)分别经由所述缓冲层(54或104)层叠于所述Si基板(52或102)上。

[0181] (附记13)

[0182] 根据附记1~9中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,

[0183] 所述耗尽型晶体管(20)还包含:含有Al的半导体基板(52),

[0184] 所述增强型晶体管(30)还包含Si基板(102)。

[0185] (附记14)

[0186] 根据附记13所述的氮化物半导体装置,其中,

[0187] 所述电子传输层(56)形成在所述含有Al的半导体基板(52)上,

[0188] 所述第二电子传输层(106)形成于所述Si基板(102)上。

[0189] (附记15)

[0190] 根据附记13或14所述的氮化物半导体装置,其中,

[0191] 所述耗尽型晶体管(20)还包含:缓冲层(54),其形成在所述含有Al的半导体基板(52)上,

[0192] 所述增强型晶体管(30)还包含:第二缓冲层(104),其形成在所述Si基板(102)上,

[0193] 所述电子传输层(56)经由所述缓冲层(54)层叠在所述含有Al的半导体基板(52)上,

[0194] 所述第二电子传输层(106)经由所述第二缓冲层(104)层叠在所述Si基板(102)上。

[0195] (附记16)

[0196] 根据附记1~15中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,

[0197] 所述耗尽型晶体管(20)的漏极-源极间电压的最大额定比所述增强型晶体管(30)的漏极-源极间电压的最大额定大。

[0198] (附记17)

[0199] 根据附记1~16中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,

[0200] 所述增强型晶体管(30)的漏极-源极间电压的最大额定为30V以上,所述耗尽型晶体管(20)的漏极-源极间电压的最大额定为500V以上。

[0201] (附记18)

[0202] 根据附记1~17中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,

[0203] 所述耗尽型晶体管(20)具有比所述增强型晶体管(30)大的导通电阻。

[0204] (附记19)

[0205] 根据附记1~18中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,

[0206] 所述耗尽型晶体管(20)具有比所述增强型晶体管(30)的导通电阻的10倍还大的导通电阻。

[0207] (附记20)

[0208] 根据附记1~19中任一项所述的氮化物半导体装置,其中,

[0209] 所述增强型晶体管(30)的漏极-源极间电压的最大额定为100V以下。

[0210] 以上说明仅为示例。本领域技术人员可以认识到,除为了说明本公开的技术的目的而列举的构成要素和方法(制造工艺)以外,还可以进行更多的可想到的组合和置换。本公开旨在包含在包含权利要求书在内的本公开的范围内所包含的所有替代、变形和变更。

[0211] 符号说明

[0212] 10…氮化物半导体装置

[0213] 20、40…耗尽型晶体管

[0214] 22…第一栅极端子

[0215] 24…第一源极端子

[0216] 26…第一漏极端子

[0217] 30…增强型晶体管

[0218] 32…第二栅极端子

[0219] 34…第二源极端子

[0220] 36…第二漏极端子

[0221] 52、102…基板

[0222] 54…缓冲层

[0223] 56…电子传输层

[0224] 58…电子供给层

[0225] 60、110…二维电子气(2DEG)

[0226] 62…栅极绝缘层

[0227] 62A…第一开口

[0228] 62B…第二开口

[0229] 64、118…源极电极

[0230] 66、120…漏极电极

[0231] 68…第一钝化层

[0232] 68A…开口

[0233] 70…第二钝化层

[0234] 70A…开口

[0235] 72…栅极电极

[0236] 72A…栅极接触部

[0237] 72B…第一栅极场板部

[0238] 72C…第二栅极场板部

[0239] 104…(第二)缓冲层

[0240] 106…(第二)电子传输层

[0241] 108…(第二)电子供给层

[0242] 112…栅极层

[0243] 112A…底面

[0244] 112B…上表面

[0245] 114…栅极电极

[0246] 116…钝化层

- [0247] 116A...第一开口
- [0248] 116B...第二开口
- [0249] 118A...源极接触部
- [0250] 118B...源极场板部
- [0251] 118C...端部
- [0252] 122...脊部
- [0253] 124、126...延展部
- [0254] 202...氮化物半导体层
- [0255] 202A...开口
- [0256] 300...DC/DC转换器
- [0257] 302...直流输入电源
- [0258] 304...负载
- [0259] 306...谐振电感
- [0260] 308...谐振电容器
- [0261] 310...驱动电路
- [0262] 312...变压器
- [0263] 314、316...整流元件
- [0264] 318...平滑电容器
- [0265] 400...功率因数改善电路
- [0266] 402...交流输入电源
- [0267] 404...负载
- [0268] 406...电感
- [0269] 408...平滑电容器
- [0270] 410...驱动电路。



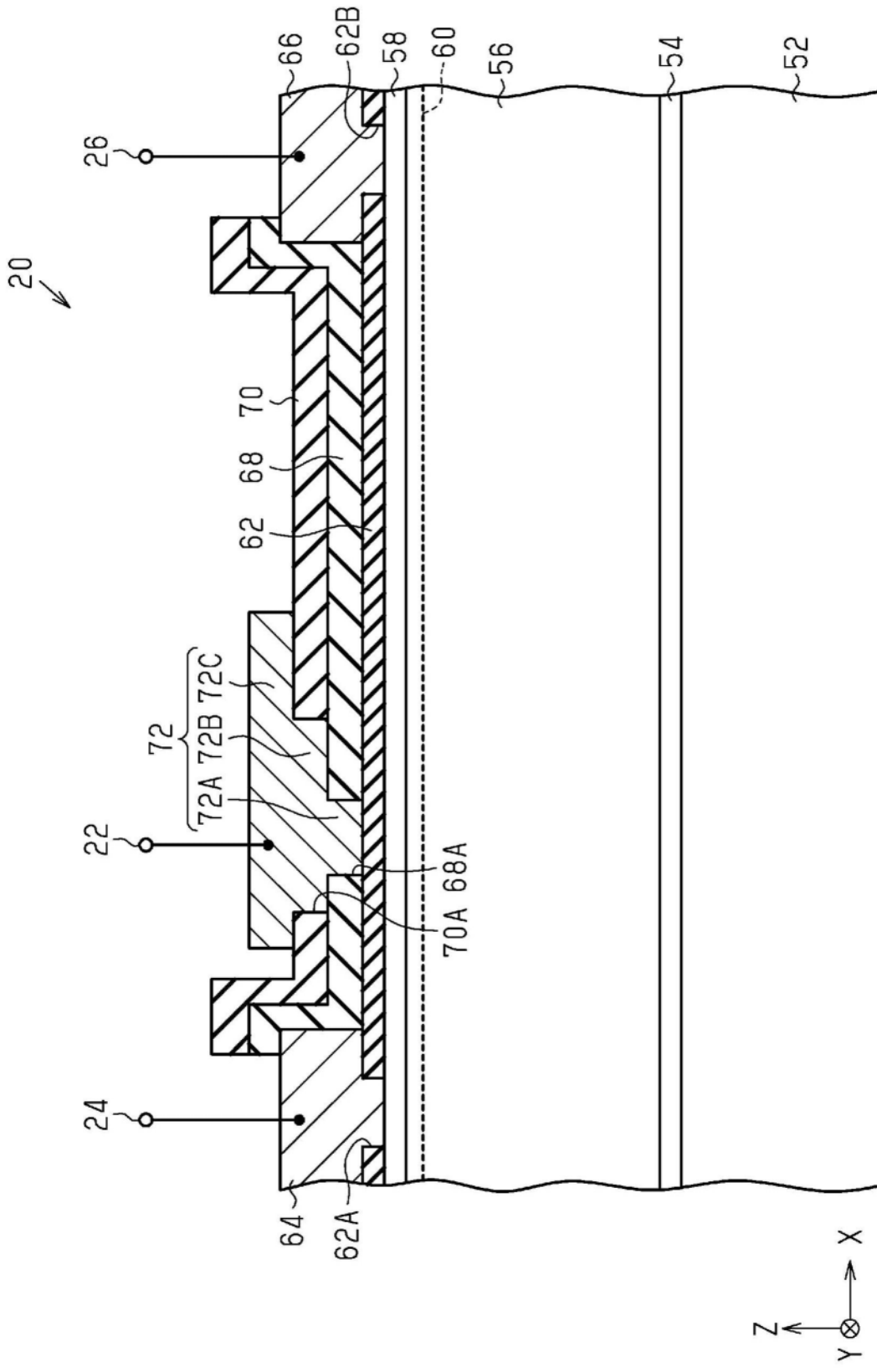


图2

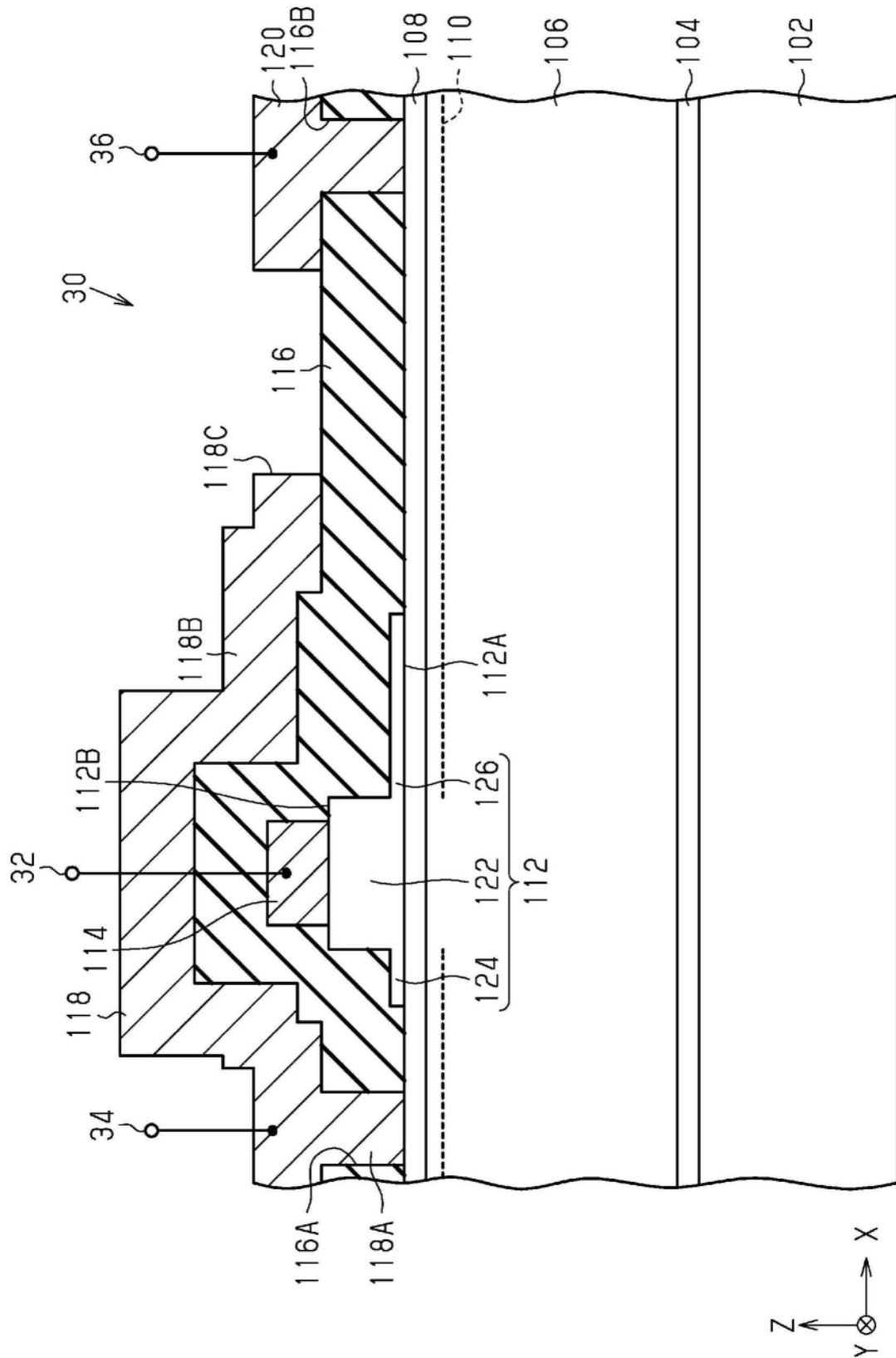


图3

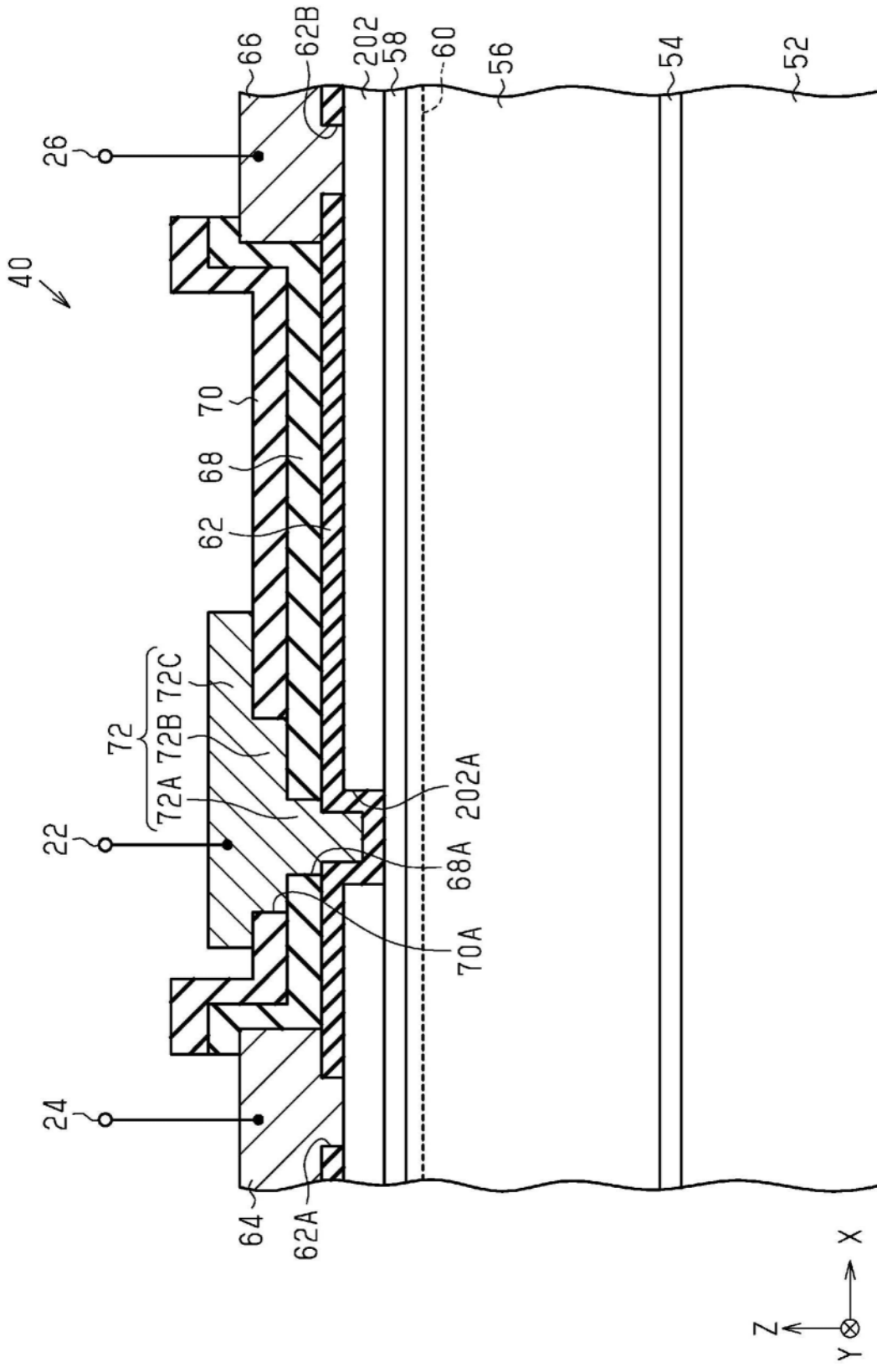


图4

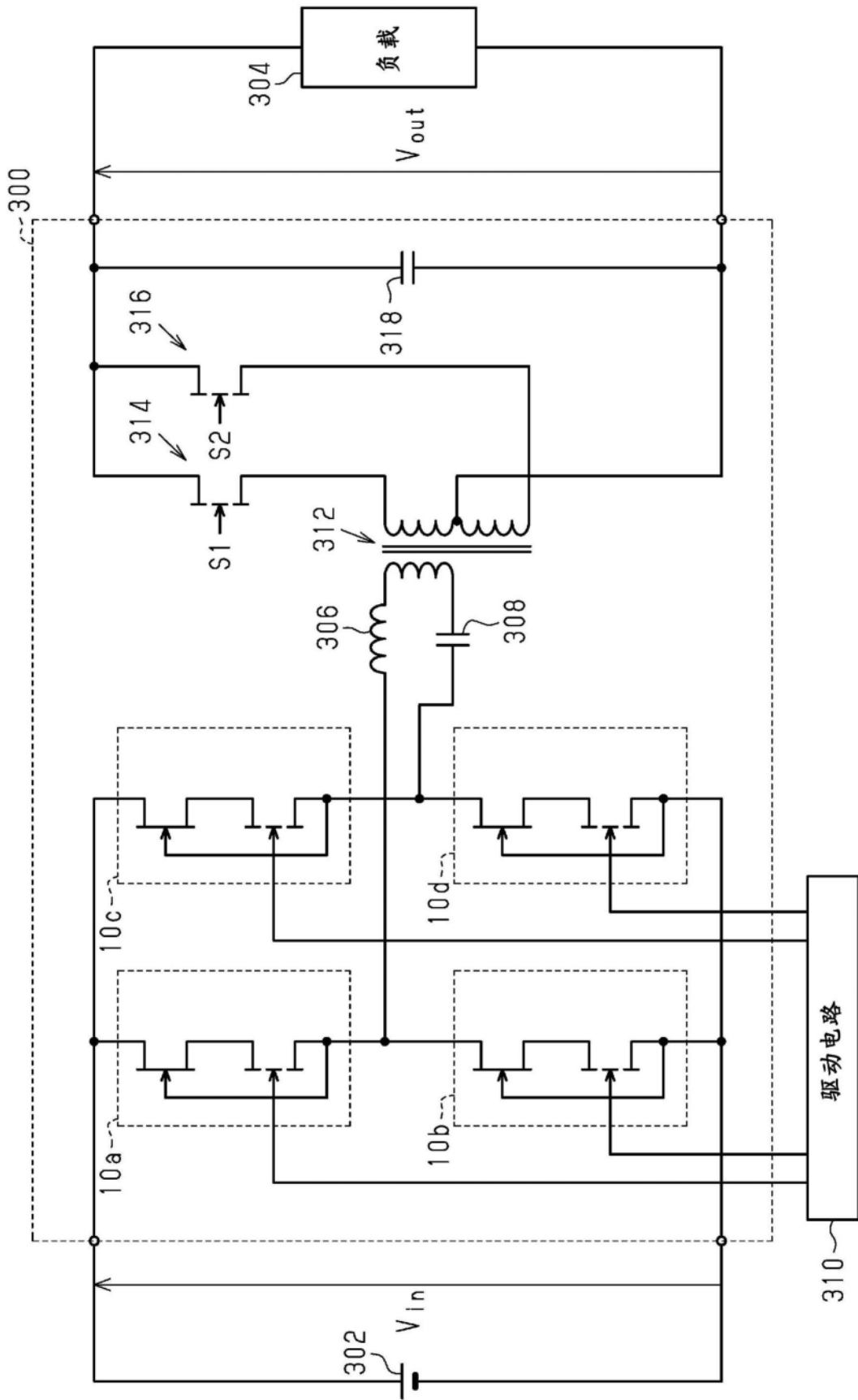


图5

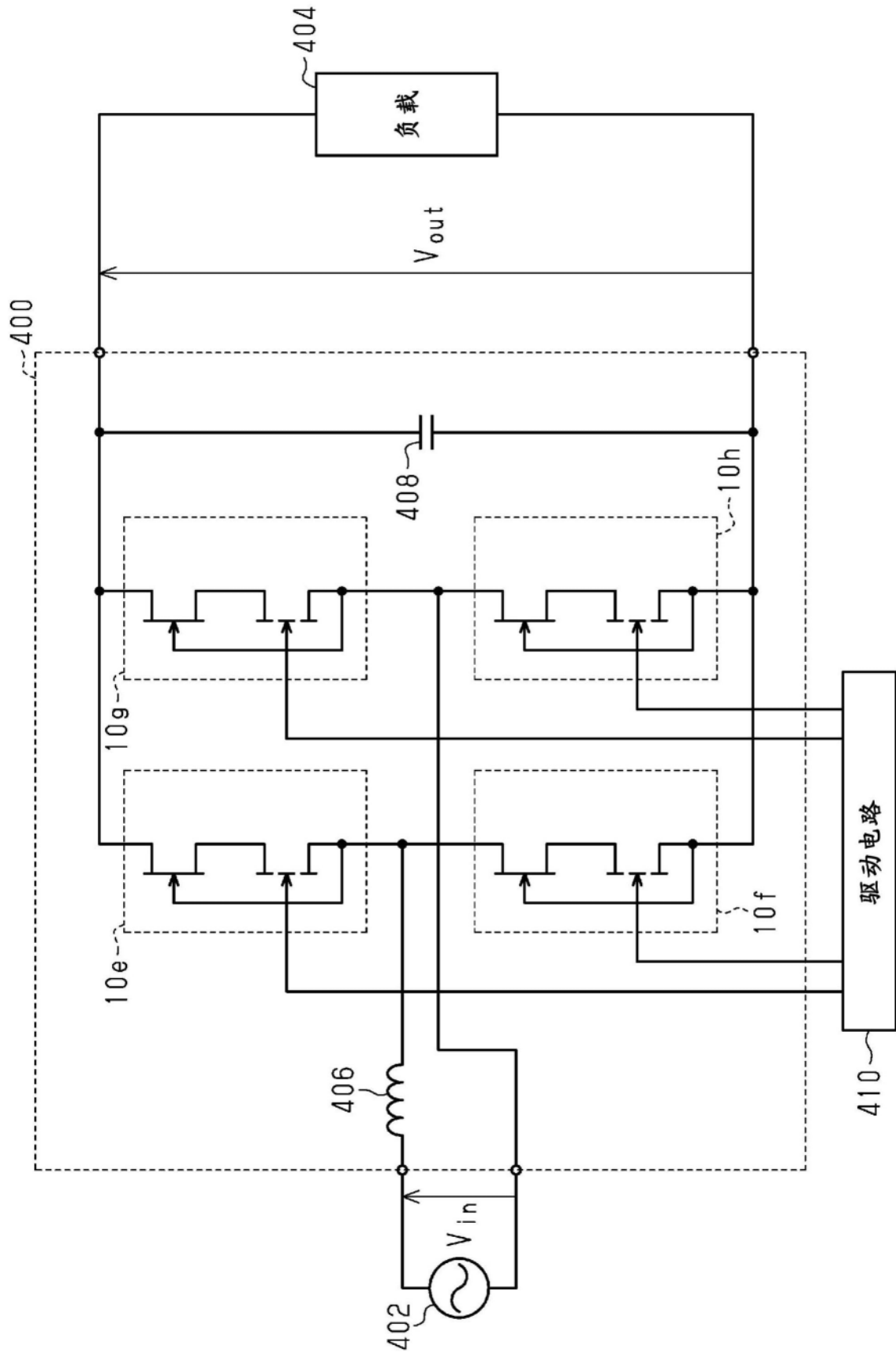


图6