



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I789636 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：109134516

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 10 月 06 日

(51)Int. Cl. : H01L29/40 (2006.01)

H01L29/43 (2006.01)

H01L29/66 (2006.01)

H01L29/778 (2006.01)

(30)優先權：2020/01/16 日本

2020-005312

(71)申請人：高谷信一郎 (日本) TAKATANI, SHINICHIRO (JP)

日本

白田理一郎 (日本) SHIROTA, RIICHIRO (JP)

新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：高谷信一郎 TAKATANI, SHINICHIRO (JP)；白田理一郎 SHIROTA, RIICHIRO (JP)

(74)代理人：葉璟宗；卓俊傑

(56)參考文獻：

TW 200849494A

TW 201438320A

US 20190296157A1

US 20190334024A1

審查人員：董柏昌

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：19 共 76 頁

(54)名稱

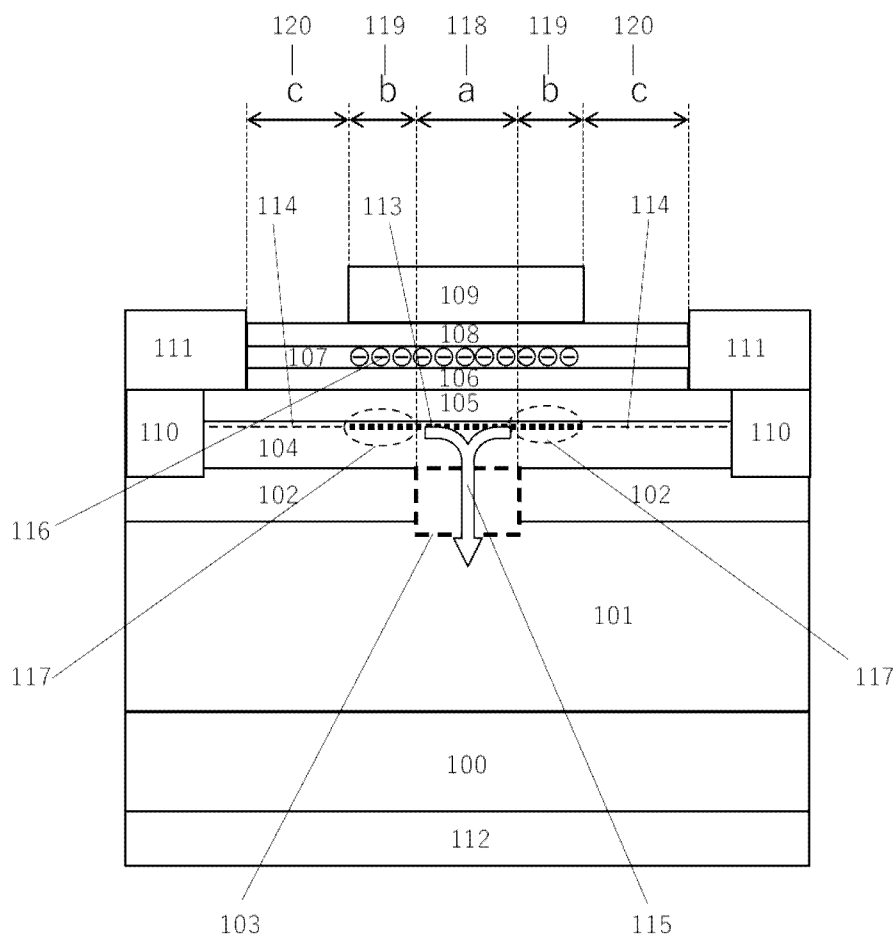
縱向氮化物半導體電晶體裝置

(57)摘要

一種臨界電壓偏差少的常關型縱向氮化物半導體電晶體裝置，包括：包含氮化物半導體的漂移層、與漂移層電性連接的通道區域、源極電極、汲極電極、閘極絕緣膜、閘極電極。所述閘極絕緣膜至少包括位於通道區域側的第一絕緣膜、位於閘極電極側的第二絕緣膜、在第二絕緣膜與閘極電極之間的第三絕緣膜，第二絕緣膜具有能階位於第一絕緣膜及第三絕緣膜兩者的帶隙的內側的電荷陷阱，且通過蓄積於電荷陷阱的電荷來調整臨界電壓。所述臨界電壓用於利用施加至閘極電極的電壓而使通道區域的傳導載子實質上消失來阻斷流動的電流。另外，在所述通道區域與所述閘極電極之間設置電荷蓄積用電極，且通過蓄積於所述電荷蓄積用電極的電荷來調整所述臨界電壓。

A normally-off vertical nitride semiconductor transistor device with less variation in threshold voltage includes a drift layer composed of a nitride semiconductor, a channel region electrically connected to the drift layer, a source electrode, a drain electrode, a gate insulating film, and a gate electrode. The gate insulating film includes at least a first insulating film on the channel region side, a second insulating film on the gate electrode side, and a third insulating film between the second insulating film and the gate electrode, wherein the second insulating film has charge traps of which energy levels are inside the band gaps of both the first and third insulating films, and the threshold voltage is adjusted by the charges accumulated in the charge traps. The threshold voltage is utilized to cut off the flowing current by substantially eliminating the conduction carriers in the channel region by the voltage applied to the gate electrode. Moreover, a charge storage electrode is disposed between the channel region and the gate electrode, and the threshold voltage is adjusted by the charge stored in the charge storage electrode.

符號簡單說明：



【圖1】

100:基板

101: 漂移層

102:阻擋層

103:開口部

104:第一氮化物半導體層

105:第二氮化物半導體層

106:第一絕緣膜

107:第二絕緣膜

108:第三絕緣膜

109: 閘極電極

110:主體電極

111:源極電極

112:汲極電極

113、114:導電層

115:表示傳導電子的流動的箭頭

116:固定電荷

117:通道區域

118:寬度(a)

119:寬度(b)

120:距離(c)



I789636

【發明摘要】

【中文發明名稱】縱向氮化物半導體電晶體裝置

【英文發明名稱】VERTICAL NITRIDE SEMICONDUCTOR

TRANSISTOR DEVICE

【中文】

一種臨界電壓偏差少的常關型縱向氮化物半導體電晶體裝置，包括：包含氮化物半導體的漂移層、與漂移層電性連接的通道區域、源極電極、汲極電極、閘極絕緣膜、閘極電極。所述閘極絕緣膜至少包括位於通道區域側的第一絕緣膜、位於閘極電極側的第二絕緣膜、在第二絕緣膜與閘極電極之間的第三絕緣膜，第二絕緣膜具有能階位於第一絕緣膜及第三絕緣膜兩者的帶隙的內側的電荷陷阱，且通過蓄積於電荷陷阱的電荷來調整臨界電壓。所述臨界電壓用於利用施加至閘極電極的電壓而使通道區域的傳導載子實質上消失來阻斷流動的電流。另外，在所述通道區域與所述閘極電極之間設置電荷蓄積用電極，且通過蓄積於所述電荷蓄積用電極的電荷來調整所述臨界電壓。

【英文】

A normally-off vertical nitride semiconductor transistor device with less variation in threshold voltage includes a drift layer composed of a nitride semiconductor, a channel region electrically connected to

the drift layer, a source electrode, a drain electrode, a gate insulating film, and a gate electrode. The gate insulating film includes at least a first insulating film on the channel region side, a second insulating film on the gate electrode side, and a third insulating film between the second insulating film and the gate electrode, wherein the second insulating film has charge traps of which energy levels are inside the band gaps of both the first and third insulating films, and the threshold voltage is adjusted by the charges accumulated in the charge traps. The threshold voltage is utilized to cut off the flowing current by substantially eliminating the conduction carriers in the channel region by the voltage applied to the gate electrode. Moreover, a charge storage electrode is disposed between the channel region and the gate electrode, and the threshold voltage is adjusted by the charge stored in the charge storage electrode.

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

100: 基板

101: 漂移層

102: 阻擋層

103: 開口部

104: 第一氮化物半導體層

105: 第二氮化物半導體層

- 106: 第一絕緣膜
- 107: 第二絕緣膜
- 108: 第三絕緣膜
- 109: 閘極電極
- 110: 主體電極
- 111: 源極電極
- 112: 汲極電極
- 113、114: 導電層
- 115: 表示傳導電子的流動的箭頭
- 116: 固定電荷
- 117: 通道區域
- 118: 寬度 (a)
- 119: 寬度 (b)
- 120: 距離 (c)

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】縱向氮化物半導體電晶體裝置

【英文發明名稱】VERTICAL NITRIDE SEMICONDUCTOR

TRANSISTOR DEVICE

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種縱向氮化物半導體電晶體裝置，且特別是有關於一種具有場效應型閘極且適宜應用於大功率開關元件的縱向氮化物半導體場效應電晶體裝置。

【先前技術】

【0002】 作為氮化物半導體的 GaN、AlN、InN 或包含它們的混晶的半導體具有寬的帶隙（band gap），且傳導電子具有高載子遷移率，因此適用於高電壓高輸出電子元件。尤其是在利用氮化物半導體製作的縱向場效應電晶體（Vertical Field Effect Transistor）中，自源極流出的電子電流通過配置於源極區域的下部的厚且摻質濃度低的漂移層而流入汲極。因此，相對於關斷時的汲極電壓的耐電壓高。而且，由於源極與汲極縱向地配置，每單位面積中流過的電流高，導通電阻低，因此適於用作大功率開關（電源開關（power switch））元件。圖 17（a）是作為第一現有例的縱向氮化物半導體場效應電晶體的剖面圖（專利文獻 1）。首先，在基板 1100 上形成漂移層 1101。在基板 1100 中使用 n 型導電性的 GaN、SiC、Si 等。氮化物半導體的磊晶成長（epitaxial growth）在 c 軸

方向的成長容易獲得良好的結晶性。因此，基板 1100 優選使用具有可獲得向 c 軸方向的磊晶成長的晶面方位的單晶基板。例如，在使用晶體結構為六方晶的 GaN 基板或 SiC 基板的情況下，將基板的晶面方位設為 c 軸方向。使用 GaN 基板的情況下，使用磊晶結晶成長特別容易的 Ga 面的基板。另外，在使用 Si 基板的情況下，若使用晶面方位為 (111) 的基板，則可獲得氮化物半導體向 c 軸方向的磊晶成長。在基板 1100 與漂移層 1101 之間，也可出於使漂移層 1101 磊晶成長時的結晶性提高的目的而插入緩衝層。另外，漂移層 1101 可用 n 型 GaN、 n 型 AlGaN、或具有組成傾斜的 AlGaIn 等。在漂移層 1101 的上部設置阻擋層 1102、第一氮化物半導體層 1104、第二氮化物半導體層 1105。阻擋層 1102 是出於阻止傳導電子的流動為目的而設置，且在面內的一部分設置不阻擋傳導電子的流動的開口部 1103。開口部 1103 的製作有各種方法。例如，可在漂移層 1101 上的整個面形成阻擋層 1102，並通過濕式蝕刻或乾式蝕刻將開口部 1103 的阻擋層 1102 去除，然後使第一氮化物半導體層 1104 及第二氮化物半導體層 1105 成長以填埋開口部 1103。在此種情況下，對於阻擋層 1102，使用在漂移層 1101 上磊晶成長而成的 p 型 GaN、 p 型 AlGaIn、摻雜有用於形成深陷阱能階的摻質的高電阻氮化物半導體、絕緣膜、或者它們的層疊結構等。或者，也可在成長出漂移層 1101 之後，通過離子注入將 p 型摻質選擇性地導入至開口部以外的部分，並通過其後的熱處理加以活化，從而形成包括 p 型層的阻擋層 1102。或者，也可在依次磊晶成長出漂移層 1101、包含 p 型氮化物半導體的阻擋層 1102、第一氮化物半導體層 1104、第二氮化物半導體層 1105 之後，

將 n 型摻質選擇性地離子注入至開口部 1103，並通過其後的熱處理加以活化，從而使開口部 1103 的阻擋層 1102 進行 n 型反轉。第二氮化物半導體層 1105 至少包含帶隙比第一氮化物半導體層 1104 的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體。例如，使用 GaN 作為第一氮化物半導體層 1104，使用 AlGaN 作為第二氮化物半導體層 1105。由此，在第二氮化物半導體層 1105 與第一氮化物半導體層 1104 的界面的第一氮化物半導體層 1104 側形成包含二維電子氣的導電層 1111 及導電層 1112。在第二氮化物半導體層 1105 上形成閘極絕緣膜 1106。作為其材料，使用氧化鋁、氧化矽、氮化矽、氧化鉛、氧化鋇或現有已知的其他閘極絕緣物材料、或者它們的層疊膜。在閘極絕緣膜 1106 上形成閘極電極 1107。另外，與第二氮化物半導體層 1105 接觸地形成源極電極 1109，在基板 1100 的背面形成汲極電極 1110。另外，當在阻擋層 1102 中使用 p 型氮化物半導體時，為了將電位固定，也可設置主體電極 1108。作為電極材料，例如使用 Pd、Pt、Ni 等。源極電極 1109 形成為同時與主體電極 1108 電性連接。作為電極材料，例如使用由下層為 Ti、上層為 Al 所構成的多層膜。此外，源極電極 1109 的形成也可在形成閘極電極 1107 之前進行，例如可在形成第二氮化物半導體層 1105 之後，首先形成主體電極 1108 及源極電極 1109，繼而沉積閘極絕緣膜 1106，再形成閘極電極 1107。背面的汲極電極 1110 也可在其他電極形成之前形成。主體電極 1108 是為了將阻擋層 1102 的電位固定而設置，但也可不設置主體電極 1108。

【0003】 接著，對作為第一現有例的圖 17 (a) 所示的縱向氮化物半導體電晶體的運行原理進行說明。由於存在阻擋層 1102，自源

極電極 1109 流入半導體層的傳導電子不直接向基板方向流動，而是通過導電層 1112（在圖 17（a）中由細虛線表示）及導電層 1111（在圖 17（a）中由粗虛線表示）的一部分，並沿表示傳導電子的流動的箭頭 1113 的方向經由開口部 1103 流入漂移層 1101。其後，傳導電子通過漂移層 1101 及基板 1100 而到達汲極電極 1110。此時，可利用施加至閘極電極 1107 的電壓的場效應而使正下方的導電層 1111 的傳導電子的數量變化，由此使電子的流動變化。以下，將在源極與汲極之間的電流路徑中可利用閘極電極的場效應使傳導電子的數量變化的導電區域稱為通道區域。在圖 17（a）中，由虛線橢圓表示通道區域 1114。使構成通道區域 1114 的導電層 1111 中的傳導電子實質上消失來阻斷電流的閘極電壓被稱為臨界電壓，在本現有例所示的縱向氮化物半導體場效應電晶體中，臨界電壓通常為負值。通過對閘極電極施加臨界電壓以上的電壓，使開關元件導通。此時，傳導電子經由包含二維電子氣的高遷移率的導電層 1112 及通道區域內的導電層 1111 而到達開口部 1103，因此可獲得導通狀態下為低電阻，即導通電阻低的開關元件。另一方面，在關斷狀態下，作為大功率開關而言，重要的是相對於汲極電壓的耐電壓。在縱向電晶體中，可通過增加漂移層 1101 的厚度且降低漂移層 1101 的 n 型摻質濃度來提高耐電壓。但是，通過漂移層的傳導電子的電阻會增加，所以導通電阻會增加。因此，要考慮耐電壓與導通電阻來進行漂移層 1101 的厚度及摻質濃度的最優化。

【0004】圖 17（b）是作為第二現有例的縱向氮化物半導體電晶體的剖面圖。在第二現有例中，在漂移層 1101 與基板 1100 之間設

置 n 型氮化物半導體層 1130，且將汲極電極 1110 以與 n 型氮化物半導體層 1130 接觸的方式設置於 n 型氮化物半導體層 1130 的上表面，而非設置於基板 1100 的背面。因此，基板 1100 不需要是 n 型基板，也可使用高電阻的基板。其他與圖 17 (a) 所示的第一現有例相同。在第二現有例中，由於汲極電極 1110 存在於表面，因此在製作開關元件時需要額外的面積，與第一現有例相比，每單位面積的導通電阻變高。以下，現有例、本發明的實施例均僅說明將汲極電極設置於基板的背面的情況。

【0005】圖 18 是作為第三現有例的縱向氮化物半導體電晶體的剖面結構（非專利文獻 1）。在基板 1100 上形成漂移層 1101，進而在其上形成阻擋層 1202。至此為止與圖 17 (a) 中所說明的電晶體的製造程序大致相同，但開口部 1203 的形成是通過在整個面形成阻擋層 1202 之後將不需要的部分蝕刻去除來進行，開口部如圖 18 所示具有傾斜。繼而，以沿著具有傾斜的開口部側面的方式成長第一氮化物半導體層 1204 與第二氮化物半導體層 1205。此處，第二氮化物半導體層 1205 至少包括帶隙比第一氮化物半導體層 1204 的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體，此與圖 17 (a) 中所說明的第一現有例相同。例如，使用 GaN 作為第一氮化物半導體層 1204，使用 AlGaN 作為第二氮化物半導體層 1205。其中，由於第一氮化物半導體層 1204 與第二氮化物半導體層 1205 是沿著開口部 1203 的側面成長，因此在第二氮化物半導體層 1205 與第一氮化物半導體層 1204 的界面的第一氮化物半導體層 1204 側形成的導電層 1211 也是沿著包含側面的開口部 1203 的內側形成。繼而，形成閘極絕緣膜 1206，進而在其上以覆蓋開口部內表

面的方式形成閘極電極 1207。主體電極 1108、源極電極 1109、汲極電極 1110 以與圖 17 (a) 中所說明的第一現有例相同的方式形成。

【0006】 接著，對作為第三現有例的圖 18 所示的縱向氮化物半導體電晶體的運行原理進行說明。通道區域 1214 包括導電層 1211 中形成於開口部 1203 內傾斜部的部分，傳導電子自源極電極 1109 通過導電層 1212、通道區域 1214 並流入漂移層 1101，進而通過基板 1100 而到達汲極電極 1110。另外，可利用施加至閘極電極 1207 的電壓的場效應而使包括通道區域 1214 內的導電層 1211 的傳導電子的數量變化，由此可調節電流量。用於使通道區域 1214 中的傳導電子實質上消失來阻斷電流的臨界電壓可設為比圖 17

(a) 的現有例小的負電壓或正電壓。這是基於以下理由。如第[0002]段中所說明，在圖 17 (a) 的第一現有例中，在基板上成長的氮化物半導體層的晶面方位為 c 軸方向。c 面是所謂的極化面，受沿著 c 軸在基板方向上發生的自發極化以及壓電極化的影響，在並無來自外部的電壓施加的狀態下自發地形成導電層 1111。因此，為了使導電層 1111 的傳導電子實質上消失，需要對閘極電極 1107 施加大的負電壓。即，臨界電壓具有大的負值。相對於此，在圖 18 所示的第三現有例中，形成於開口部 1203 的側面的第一半導體層 1204 與第二半導體層 1205 的晶面方位自 c 軸方向偏離。因此，自發極化及壓電極化減弱，在並無來自外部的電壓施加的狀態下，在形成於側面部的導電層 1211 中被誘導的載子數量比圖 17 (a) 的導電層 1111 少。此為與圖 17 (a) 的第一現有例相比而臨界電壓向正方向偏移的理由（非專利文獻 2）。然而，臨界電壓的偏移

量敏感地取決於側面部的傾斜角度，進而，臨界電壓也在很大程度上取決於開口部 1203、第一氮化物半導體層 1204、第二氮化物半導體層 1205、及閘極絕緣膜 1206 的形成製程的細節。因此根據報告，臨界電壓具有負的大值的情況（非專利文獻 1）。

【0007】圖 19 是作為第四現有例的縱向氮化物半導體電晶體的剖面結構（非專利文獻 3）。直到在基板 1300 上成長漂移層 1301 為止，與圖 17(a)中所說明的第一現有例的基板 1100 及漂移層 1101 的製造程序相同。繼而，依次形成 p 型氮化物半導體層 1302、n 型氮化物半導體層 1303。p 型氮化物半導體層 1302 用作 p 型主體區域。在一個優選例中，在 p 型氮化物半導體層 1302 及 n 型氮化物半導體層 1303 中使用 GaN。在形成 n 型氮化物半導體層 1303 後，通過濕式蝕刻或乾式蝕刻形成貫通至漂移層 1301 的溝槽 1304。繼而，以覆蓋溝槽 1304 的側面及底面的方式形成閘極絕緣膜 1305。此外，為了改善閘極絕緣膜與氮化物半導體的界面的特性，在形成閘極絕緣膜 1305 之前，也可以覆蓋溝槽 1304 的內壁的方式成長薄的 GaN 等的氮化物半導體層（非專利文獻 4）。繼而，以覆蓋溝槽 1304 的內表面的方式形成閘極電極 1306。進而，形成與 p 型氮化物半導體層 1302 電性連接的主體電極 1307。作為電極材料，例如使用 Pd、Pt、Ni 等。繼而，形成源極電極 1308。作為電極材料，例如使用由下層 Ti、上層 Al 所構成的多層膜。源極電極 1308 與主體電極 1307 及 n 型氮化物半導體層 1303 電性連接。進而，在基板 1300 的背面形成汲極電極 1309，如此則完成縱向氮化物半導體電晶體。此外，主體電極 1307 及源極電極 1308 的形成可在閘極電極 1306 形成之前進行，例如，可在形成 n 型氮化物

半導體層 1303 之後，首先形成主體電極 1307 及源極電極 1308，繼而依次進行溝槽 1304 的形成、閘極絕緣膜 1305 的沉積、閘極電極 1306 的形成。背面的汲極電極 1309 也可在其他電極形成之前形成。主體電極 1307 是為了將用作 p 型主體區域的 p 型氮化物半導體層 1302 的電位固定而設置，也可省略。

【0008】 接著，對作為第四現有例的圖 19 所示的縱向氮化物半導體電晶體的運行原理進行說明。由於存在 p 型氮化物半導體層 1302，自源極電極 1308 流入 n 型氮化物半導體層 1303 的傳導電子不直接向基板方向流動，而是沿著表示傳導電子的流動的箭頭 1311 向溝槽 1304 的方向流動。另一方面，p 型氮化物半導體層 1302 作為 p 型主體區域發揮功能，且沿著溝槽 1304 內部的側面形成的倒置型的導電層 1310 構成通道區域 1314。傳導電子自 n 型氮化物半導體層 1303，經由所述通道區域 1314 並沿著表示電子的流動的箭頭 1312 流入漂移層 1301。進而，傳導電子通過漂移層 1301 及基板 1300 而到達汲極電極 1309。漂移層 1301 的設計按照與圖 17 (a) 的第一現有例中所說明的情況相同的方式進行即可。另一方面，可利用施加至閘極電極 1306 的電壓，使在形成通道區域的導電層 1310 中誘導的傳導電子的數量變化。當閘極電壓為某臨界電壓以下時成為關斷狀態，當閘極電壓為臨界電壓以上時成為導通狀態，從而可獲得作為開關的導通/關斷動作。在導通狀態下，在導電層 1310 中流動的傳導電子的遷移率因導電層 1310 與閘極絕緣膜 1305 的界面處的凹凸或缺陷等的影響而降低。因此，與圖 17

(a) 的第一現有例相比，電流更低，導通電阻更高。另一方面，導電層 1312 形成為與 c 面大致正交的面，因此極化的影響小，與圖 17 (a) 的第一現有例不同，臨界電壓通常為正值。

【0009】 [現有技術文獻]

[專利文獻]

[專利文獻 1]喬杜裡等人 (Chowdhury et al.) US 9,590,088 B2

[非專利文獻]

[非專利文獻 1]季東等人 (Dong Ji et al.)，電氣與電子工程師協會 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 電子元件快報 (Electron Device Letters)，第 39 卷，第 6 期，2018 年 6 月，(Vol. 39, No. 6, June 2018)，p.863.

[非專利文獻 2]柴田大輔等人 (Daisuke Shibata et al.)，國際電子元件會議 (International Electron Device Meeting) 2016, p.248.

[非專利文獻 3]李雷等人 (Ray Li et al.)，電氣與電子工程師協會 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 電子元件快報 (Electron Device Letters)，第 37 卷，第 11 期，2016 年 11 月，(Vol. 37, No. 11, November 2016)，p.1466.

[非專利文獻 4]奇拉格·古普塔等人 (Chirag Gupta et al.)，电气与电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 电子元件快报 (Electron Device Letters)，第 38 卷，第 3 期，2017 年 3 月 (Vol. 38, No. 3, March 2017)，p.353.

【發明內容】

【0010】 [發明所要解決的問題]

【0011】 所述第一現有例、第二現有例的縱向氮化物半導體電晶體的臨界電壓通常為負電壓。即，作為開關元件，是在未對閘極電極進行電壓施加的狀態下成為開關開啟的所謂常通（normally on）。由常通的電晶體構成的開關會在因誤運行或故障等而失去了對閘極電極施加的控制電壓時成為開關開啟，因此電源等裝置整體被破壞的危險性高，就安全性的觀點而言並不優選。關於所述第三現有例的縱向氮化物半導體電晶體的臨界電壓，由於在通道部分中氮化物半導體層的晶面方位自 c 軸傾斜，因此極化電荷的影響變小，從而期待向正電壓的方向偏移。然而，實際獲得的臨界電壓在很大程度上取決於結構或製造程序，多數情況下為負電壓。或者即便在成為正電壓而成為常關的情況下，在電源等的應用中也難以獲得就安全性的觀點而言通常所要求的 3 V 以上的臨界電壓。另外，由製程引起的臨界電壓的變動大，難以獲得特性一致的開關元件。在所述第四現有例的縱向氮化物半導體電晶體中，可獲得具有 3 V 左右的正電壓的常關型電晶體。然而，由於形成通道的倒置型的導電層 1310 形成於通過蝕刻而形成的開口部 1304 的側面，故基於殘存由蝕刻導致的半導體表面的損傷使得難以在開口部 1304 內部的側面形成品質良好的閘極絕緣膜 1305 等的理由，由製程引起的臨界電壓的變動大，難以獲得特性一致的開關元件。

【0012】 本發明的目的在於提供一種具有足夠大的正電壓且偏差少的臨界電壓的常關型縱向氮化物半導體電晶體。

【0013】 [解決問題的技術手段]

【0014】 用於解決所述課題的、由本申請第一發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置包括：由氮化物半導體構成的漂移層；由氮化物半導體構成的通道區域，且與所述漂移層電性連接；源極電極，電性接觸所述通道區域的和所述漂移層相反的一側；汲極電極，與所述漂移層電性接觸；閘極絕緣膜，接近所述通道區域；以及閘極電極，設置於所述閘極絕緣膜的與所述通道區域相反的一側。所述閘極絕緣膜至少包括位於所述通道區域側的第一絕緣膜、比第一絕緣膜更靠所述閘極電極側的第二絕緣膜、以及比第二絕緣膜更靠所述閘極電極側的第三絕緣膜，所述第二絕緣膜具有能階位於所述第一絕緣膜與所述第三絕緣膜兩者的帶隙的內側的電荷陷阱。通過蓄積於所述電荷陷阱的電荷來調整臨界電壓，所述臨界電壓用於利用施加至所述閘極電極的電壓而使所述通道區域的傳導載子實質上消失，來阻斷在所述源極電極與所述汲極電極之間流動的電流。

【0015】 在由本申請第一發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，通過蓄積於所述電荷陷阱的所述電荷而將所述臨界電壓調整為正電壓。

【0016】 在由本申請第一發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，在所述漂移層上設置阻止所述電流的阻擋層，在所述阻擋層上設置第一氮化物半導體層，在所述第一氮化物半導體層上設置第二氮化物半導體層。所述第二氮化物半導體層至少包含帶隙比所述第一氮化物半導體層的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體，所述通道區域包括在所述第二氮化物半導體層與所述第一氮化物半導體層的界面的所述第一氮化物半

導體層側形成的導電層的至少一部分，所述阻擋層具有開口部，所述第一氮化物半導體層經由所述開口部與所述漂移層電性連接，所述源極電極與所述汲極電極之間的所述電流實質上經由所述開口部流動。

【0017】 在由本申請第一發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的另一優選形態中，在所述漂移層上設置具有與所述漂移層相反的導電型的第三氮化物半導體層，在所述第三氮化物半導體層上設置第四氮化物半導體層，所述第四氮化物半導體層通過摻質摻雜或極化電荷而具有實質上與所述漂移層相同的導電型。所述源極電極與所述第四氮化物半導體層電性連接。形成有貫通所述第四氮化物半導體層與所述第三氮化物半導體層而到達所述漂移層的溝槽。所述閘極絕緣膜的至少一部分直接或隔著薄的氮化物半導體層而形成於所述溝槽的內表面中的所述第三氮化物半導體層的側面。在所述第三氮化物半導體層的所述側面與所述閘極絕緣膜之間直接或隔著所述薄的氮化物半導體層而形成的界面的、所述第三氮化物半導體層的一側形成有倒置型的導電層。所述閘極電極的至少一部分形成於所述閘極絕緣膜的與所述倒置型的導電層相反的一側，所述通道區域包括所述倒置型的導電層的至少一部分。

【0018】 用於解決所述課題的、由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置包括：由氮化物半導體構成的漂移層；由氮化物半導體構成的通道區域，且與所述漂移層電性連接；源極電極，電性接觸所述通道區域的和所述漂移層相反的一側；汲極電極，與所述漂移層電性接觸；第四絕緣膜，接近所述通道區域；

電荷蓄積用電極，設置於所述第四絕緣膜的與所述通道區域相反的一側；第五絕緣膜，設置於所述電荷蓄積用電極的與所述第四絕緣膜相反的一側；以及閘極電極，設置於所述第五絕緣膜的與所述電荷蓄積用電極相反的一側。通過蓄積於所述電荷蓄積用電極的電荷來調整臨界電壓，所述臨界電壓用於利用施加至所述閘極電極的電壓而使所述通道區域的傳導載子實質上消失來阻斷在所述源極電極與所述汲極電極之間流動的電流。

【0019】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，所述電荷蓄積用電極包括橫向地排列且電絕緣的多個電極。

【0020】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，通過蓄積於所述電荷蓄積用電極的電荷而將所述臨界電壓調整為正電壓。

【0021】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，在導通狀態下，形成於所述通道區域與所述電荷蓄積用電極之間的第一電容器的電容值比形成於所述閘極電極與所述電荷蓄積用電極之間的第二電容器的電容值小。

【0022】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，具有與所述電荷蓄積用電極形成第三電容器的電荷注入用電極，向所述電荷蓄積用電極的所述電荷的蓄積是通過經由所述第三電容器流動的電流來進行。

【0023】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，在所述電荷注入用電極上的至少一部分形成第六絕緣膜，在所述第六絕緣膜上的至少一部分形成所述電荷

蓄積用電極，將所述第六絕緣膜作為電容耦合膜而在所述電荷蓄積用電極與所述電荷注入用電極之間形成所述第三電容器。

【0024】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，所述第三電容器的電容值比所述第二電容器的電容值小。

【0025】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，在所述漂移層上設置阻止所述電流的阻擋層，在所述阻擋層上設置第一氮化物半導體層，在第一氮化物半導體層上設置第二氮化物半導體層，第二氮化物半導體層至少包含帶隙比所述第一氮化物半導體層的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體，所述通道區域包括在所述第二氮化物半導體層與所述第一氮化物半導體層的界面的第一氮化物半導體層側形成的導電層的至少一部分，所述阻擋層具有開口部，所述第一氮化物半導體層經由所述開口部與所述漂移層電性連接，所述源極電極與所述汲極電極之間的所述電流實質上經由所述開口部流動。

【0026】 在由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的另一優選形態中，在所述漂移層上設置具有與所述漂移層相反的導電型的第三氮化物半導體層，在所述第三氮化物半導體層上設置第四氮化物半導體層，所述第四氮化物半導體層通過摻質摻雜或極化電荷而具有實質上與所述漂移層相同的導電型，所述源極電極與所述第四氮化物半導體層電性連接。形成有貫通所述第四氮化物半導體層與所述第三氮化物半導體層而到達所述漂移層的溝槽，所述 第四絕緣膜的至少一部分直接或隔著薄的氮化物半導體層而形成於所述溝槽的內表面中的所述第三氮化物半導體

層的側面。在所述第三氮化物半導體層的所述側面與所述第四絕緣膜之間直接或隔著所述薄的氮化物半導體層而形成的界面的、所述第三氮化物半導體層的一側形成倒置型的導電層。所述電荷蓄積用電極的至少一部分形成於所述第四絕緣膜的與所述倒置型的導電層相反的一側。所述通道區域包括所述倒置型的導電層的至少一部分。

【0027】 在本申請第二發明中，當通過經由所述第三電容器而流動的電流在所述電荷蓄積用電極中蓄積所述電荷時，對所述閘極電極施加電壓，可容易地進行電荷注入量的控制。

【0028】 當將由本申請第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置密封于封裝時，可使閘極電極、汲極電極、源極電極分別與外部引腳連接，使電荷注入用電極不與外部引腳連接。或者，也可使電荷注入用電極和閘極電極與同一外部引腳連接。

【0029】 在由本申請第一發明及第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，所述第一氮化物半導體層由 GaN 構成，所述第二氮化物半導體層由 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) 構成。由於在 GaN 與 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的界面中被誘導的導電層具有高電子遷移率，因此可獲得作為開關的重要特性之一的導通電阻優異的縱向氮化物半導體電晶體裝置。

【0030】 在由本申請第一發明及第二發明提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的一個優選形態中，與氮化物半導體層接觸的閘極絕緣膜的至少最下層由氧化鋁構成。氧化鋁在與氮化物半導體層的界面中不易產生界面陷阱能階，因此當對閘極電極施加正電壓而使通道區域的傳導載子數增加來增大流動的電流時，不易受到

通道區域的氮化物半導體與閘極絕緣膜的界面中的界面陷阱能階的影響。其結果，可獲得作為開關的重要特性之一的導通電阻優異的縱向氮化物半導體電晶體裝置。

【0031】 [發明的效果]

【0032】 如上所述，根據本申請發明，可獲得一種具有正臨界電壓且臨界電壓的偏差少的常關型縱向氮化物半導體電晶體裝置。

【圖式簡單說明】

【0033】

圖 1 是表示由本申請第一發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 2 是表示在圖 1 所示的由本申請第一發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的二維元件模擬中假定的尺寸及材料特性的表。

圖 3 是表示通過圖 1 及圖 2 所示的由本申請第一發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的二維元件模擬而獲得的漂移層中的傳導帶能量的深度依存性的圖。

圖 4 是表示圖 1 及圖 2 所示的由本申請第一發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置在進行負電荷向電荷蓄積用絕緣膜的蓄積之前的狀態下的汲極電流的汲極電壓依存性的圖。

圖 5 是表示圖 1 及圖 2 所示的由本申請第一發明的第一實施

例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的汲極電流的閘極電壓依存性的圖。

圖 6 是表示由本申請第一發明的第二實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 7 是表示由本申請第一發明的第三實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 8 是表示由本申請第一發明的第四實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 9 是表示由本申請第一發明的第五實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 10 是表示由本申請第二發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 11 是表示由本申請第二發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的各節點間的電容器的等效電路圖。

圖 12 是表示由本申請第二發明的第二實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的平面圖與 A-A'剖面圖及 B-B'剖面圖。

圖 13 是表示由本申請第二發明的第二實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的各節點間的電容器的等效電路圖。

圖 14 是表示由本申請第二發明的第三實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 15 是表示由本申請第二發明的第四實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 16 是表示由本申請第二發明的第五實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 17 (a) 是表示作為第一現有例的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 17 (b) 是表示作為第二現有例的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 18 是表示作為第三現有例的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

圖 19 是表示作為第四現有例的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。

【實施方式】

【0034】 圖 1 中示出由本申請第一發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。在本實施例及本申請發明的其他實施例中，全部是描述傳導電子用作傳導載子的情況。在基板 100 上磊晶成長漂移層 101。基板 100 可使用 n 型導電性的 GaN、SiC、Si 等。在磊晶成長氮化物半導體的情況下，通過使氮化物半導體沿 c 軸方向成長可獲得良好的結晶性。因此，基板 100 優選使用具有可獲得向 c 軸方向的磊晶成長的晶面方位的單晶基板。例如，在使用晶體結構為六方晶的 GaN 基板或 SiC 基板的情況下，使用在 c 軸方向具有基板的晶面方位的單晶基板。在使用 GaN 基板的情況下，優選使用以磊晶結晶成長特別容易的 Ga 面為表面的基板。在使用 Si 基板的情況下，若使用晶面方位為 (111) 的基板，

則可獲得氮化物半導體的向 c 軸方向的磊晶成長。在基板 100 與漂移層 101 之間，也可出於使漂移層 101 磊晶成長時的結晶性提高的目的而插入緩衝層。另外，漂移層 101 可用 n 型 GaN、n 型 AlGaN、或具有組成傾斜的 AlGaN 等。在漂移層 101 的上部設置阻擋層 102、第一氮化物半導體層 104、第二氮化物半導體層 105。阻擋層 102 是出於阻止傳導電子的流動的目的而設置，但在其一部分設置不阻擋電子的流動的開口部 103。開口部 103 的製作有各種方法。例如，可在漂移層 101 上的整個面形成阻擋層 102，並通過濕式蝕刻或乾式蝕刻將開口部 103 的部分去除，然後使第一氮化物半導體層 104 成長以填埋開口部 103。在此種情況下，對於阻擋層 102，使用在漂移層 101 上磊晶成長而成的 p 型 GaN、p 型 AlGaN、摻雜有用於形成深陷阱能階的摻質的高電阻氮化物半導體、絕緣體、或者它們的層疊結構等。或者，也可在成長出漂移層 101 之後，通過離子注入將 p 型摻質選擇性地導入至開口部以外的表面部分，並通過其後的熱處理加以活化，從而形成包括 p 型層的阻擋層 102。或者，也可在依次磊晶成長出漂移層 101、包含 p 型氮化物半導體的阻擋層 102、第一氮化物半導體層 104、第二氮化物半導體層 105 之後，將 n 型摻質選擇性地離子注入至開口部 103，並通過其後的熱處理加以活化，從而使開口部 103 的阻擋層 102 進行 n 型反轉。第二氮化物半導體層 105 至少包含帶隙比第一氮化物半導體層 104 的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體。例如，使用 GaN 作為第一氮化物半導體層 104，使用 AlGaN 作為第二氮化物半導體層 105。由此，在第二氮化物半導體層 105 與第一氮化物半導體層 104 的界面的第一氮化物半導體層

104 側形成包含二維電子氣的導電層 113 (圖 1 中由粗虛線表示) 及導電層 114 (圖 1 中由細虛線表示)。通道區域 117 在圖 1 中由虛線橢圓表示。出於促進自通道區域 117 經由開口部 103 抵達漂移層 101 的電子傳導的目的, 也可在第一氮化物半導體層 104 中摻雜 n 型摻質。繼而, 在第二氮化物半導體層 105 上依次沉積均包括單層膜或層疊膜的第一絕緣膜 106、第二絕緣膜 107、第三絕緣膜 108。此時, 第二絕緣膜 107 以在膜中包含如下的電荷陷阱的方式選擇材料、成膜方法: 所述電荷陷阱的能階位於第一絕緣膜 106 的至少一部分絕緣膜的帶隙的內側且位於第三絕緣膜的至少一部分絕緣膜的帶隙的內側。例如, 作為第二絕緣膜, 使用通過電漿化學氣相沉積法 (電漿增強化學氣相沉積 (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD)) 或原子層沉積法 (Atomic Layer Deposition, ALD) 而製膜的氮化矽、氧化鋁、氧化鋯。另一方面, 在第一絕緣膜 106 及第三絕緣膜 108 中, 例如使用氧化矽、氧化鋁或它們的層疊膜。成膜方法可使用與第二絕緣膜 107 同樣的方法。繼而, 在第三絕緣膜 108 上形成閘極電極 109。在第二氮化物半導體層 105 上, 以相對於導電層 114 獲得低電阻的良好電性連接的方式形成源極電極 111。作為電極材料, 例如使用由下層為 Ti、上層為 Al 所構成的多層膜。另外, 當在阻擋層 102 中使用 p 型氮化物半導體時, 為了將電位固定, 也可設置主體電極 110。作為電極材料, 例如使用 Pd、Pt、Ni 等。源極電極 111 形成為也同時對主體電極 110 電性連接。汲極電極 112 形成於基板 100 的背面。此外, 源極電極 111 的形成可在閘極電極 109 形成之前進行, 例如可在形成第二氮化物半導體層 105 之後, 首先形成主

體電極 110 及源極電極 111，繼而沉積第一絕緣膜 106、第二絕緣膜 107、第三絕緣膜 108，再形成閘極電極 109。背面的汲極電極 112 也可在其他電極形成之前形成。

【0035】關於圖 1 所示的本申請第一發明的第一實施例，可視為將圖 17 (a) 所示的所述第一現有例中的閘極絕緣膜 1106 置換成了包括第一絕緣膜 106、第二絕緣膜 107 及第三絕緣膜 108 的層疊膜。因此，電晶體的運行原理基本上與圖 17 (a) 所示的第一現有例相同，自源極電極 111 流出的傳導電子經由導電層 114 在包括導電層 113 的通道區域 117 中流動，進而沿著表示傳導電子的流動的箭頭 115 流入漂移層，進而經由基板 100 到達汲極電極 112。另一方面，本實施例的特徵在於可在第二絕緣膜 107 中蓄積固定電荷 116。可與蓄積電荷的符號及量對應地使第二絕緣膜 107 的勢能變化。例如，在蓄積了負電荷的情況下，相對於電子的勢能被拉升，伴隨於此，汲極電流的閘極電壓依存性整體向正的閘極電壓方向偏移。通過蓄積充分的負電荷量，可將用於使通道區域 117 中的傳導電子實質上消失來阻斷源極電極與汲極電極之間的電流的臨界電壓設為正值，從而實現在所述第一現有例中難以實現的常關動作。另一方面，當用 GaN 作為第一氮化物半導體層 104、用 AlGaN 作為第二氮化物半導體層 105 時，第二氮化物半導體層 105 的厚度設為 0.01 微米左右或以上，會在導電層 114 中誘導充分量的傳導電子，使自源極電極至閘極電極的區域的電阻降低。對第二氮化物半導體層 105 的 AlN 混晶比，即適當調節化學式表述為 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的 x 的值，能使得晶格常數與 GaN 不同的 AlGaN 不會引起顯著的晶格弛豫。通常， x 調節在 0.1 至 0.4 之間。

【0036】 要向第二絕緣膜 107 蓄積負的固定電荷時，可對閘極電極 109 施加與源極電極 111 相比為正的電壓，使電子自第二氮化物半導體層 105 穿隧（tunnelling）第一絕緣膜 106，並流入第二絕緣膜 107。例如，用通過 PECVD 法成膜的氮化矽作為第二絕緣膜 107，用氧化矽作為第一絕緣膜 106 及第三絕緣膜 108。在此種情況下，通過 PECVD 而成膜的氮化矽包含能階位於氧化矽的帶隙內側的多個電荷陷阱，穿隧過第一絕緣膜 106 的電子被所述電荷陷阱捕捉。由於氮化矽膜內的陷阱能階位於比氧化矽的傳導帶更深的能量中，因此經捕獲的電荷幾乎不會被再次釋放，而是作為固定電荷 116 滯留。此外，當通過本方法在第二絕緣膜 107 中蓄積負電荷時，需要減小第一絕緣膜 106 的厚度，以便充分獲得電子的穿隧。但若過薄，則所蓄積的負電荷因穿隧而再次釋放。通常，第一絕緣膜 106 的厚度設為 5 nm 至 20 nm 的範圍。另一方面，為了防止第二絕緣膜 107 中所蓄積的電荷因穿隧而再次釋放，使第三絕緣膜 108 較厚，但若過厚，則閘極電極 109 與通道區域 117 之間的耦合電容會減弱，由閘極電壓引起的通道區域 117 中的傳導電子數量的變化會變小，電流的變化量會變小，因此電晶體的特性會劣化。通常，第三絕緣膜 108 的厚度設為 10 nm 至 40 nm 的範圍。

【0037】 作為在第二絕緣膜 107 中蓄積負的固定電荷 116 的另一方法，也可對閘極電極 109 施加與源極電極 111 相比為負的電壓，使電子自閘極電極 109 穿隧第三絕緣膜 108，並注入第二絕緣膜 107。在此種情況下，為了促進穿隧而調整第三絕緣膜的厚度。

【0038】 接著，對由本申請第一發明的第一實施例提供的縱向氮

化物半導體電晶體裝置的特性進行說明。圖 2 是表示圖 1 所示的縱向氮化物半導體電晶體裝置的二維元件模擬中的裝置的尺寸、材料的種類的表。漂移層 101 包括厚度為 2 微米的 n 型 GaN 層，摻質濃度為 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。另外，阻擋層 102 包括 p 型 GaN 層，厚度為 0.4 微米，摻質濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。另外，第一氮化物半導體層 104 包括厚度為 0.2 微米的 GaN 層，摻質濃度為 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。第二氮化物半導體層 105 包括厚度為 0.01 微米的 AlGaIn 層，AlIn 混晶比（表述為 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}$ 時的 x ）為 0.3，未摻雜摻質。關於閘極絕緣膜，第一絕緣膜 106 與第三絕緣膜 108 是氧化矽，第二絕緣膜 107 是氮化矽。厚度均為 0.01 微米。關於橫向尺寸，將開口部 103 的寬度（a）118 設為 2 微米。通道區域 117 是對應於除了開口部 103 以外的導電層 113，將其寬度（b）119 設為 1 微米。另外，閘極電極 109 與源極電極 111 之間的距離（c）120 設為 1 微米。此外，在二維元件模擬中不包括主體電極 110。

【0039】 接著，對模擬結果進行說明。圖 3 表示比開口部 103 更靠下側的漂移層 101 中的傳導帶能量的深度依存性。閘極處於導通狀態。另外，源極電極 111 接地，汲極電極 112 的電壓為 10 伏。可知電位在漂移層中沿深度方向平緩地變化的狀況。圖 4 表示汲極電流的汲極電壓依存性。未進行固定電荷向第二絕緣膜 107 的蓄積。使閘極電壓以 1 V 為單位自 -5 V 至 4 V 變化，在各個閘極電壓下掃描汲極電壓。圖 4 的縱軸的汲極電流是電晶體裝置在保持圖 1 所示的剖面構造的狀態下沿與紙面垂直的方向延伸時的每單位 mm 的電流值。獲得了作為開關元件所期望的導通電阻及導通電流。圖 5 是將汲極電壓固定為 10 V 來掃描閘極電壓時的特

性。在圖中示出了三條曲線，但它們表示的是使蓄積於第二絕緣膜 107 的負的固定電荷 116 變化的情況。假設在閘極電極 109 下部的第二絕緣膜 107 中，以在縱向、橫向上皆均勻地分佈的方式蓄積有負的固定電荷 116，則圖 5 的曲線表示每單位體積的負電荷密度自左起為 0 、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的情況。隨著負電荷向第二絕緣膜的蓄積量增大，電流電壓特性向正的閘極電壓側偏移，且在負電荷密度為 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 時，阻斷汲極電流的臨界電壓成為 3.4 V ，作為臨界電壓超過 3 V 的大功率開關，可實現所期望的常關特性。

【0040】在圖 1 所示的本申請第一發明的第一實施例的一個優選形態中，第一絕緣膜 106 使用由下層為氧化鋁、上層為氧化矽所構成的層疊膜。氧化鋁在與氮化物半導體層的界面中不易產生界面陷阱能階，因此當對閘極電極施加正電壓而使通道區域的傳導電子數量增加來增大流動的電流時，不易受到通道區域的氮化物半導體與第一絕緣膜之間所存在的界面中的界面陷阱能階的影響。其結果，可獲得作為開關的重要特性之一的導通電阻優異的縱向氮化物半導體電晶體裝置。

【0041】圖 6 是表示由本申請第一發明的第二實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。直到在基板 100 上形成漂移層 101、阻擋層 102、開口部 103、第一氮化物半導體層 104、第二氮化物半導體層 205 為止，與本申請第一發明的第一實施例相同。其後，沉積場絕緣膜 218，並將閘極電極形成部的場絕緣膜 218 去除，進而對第二氮化物半導體層 205 進行蝕刻來減小厚度。對於場絕緣膜 218，可使用氧化鋁、氧化矽、氮化矽或它們的多層

膜等。繼而，依次沉積第一絕緣膜 206、第二絕緣膜 207、第三絕緣膜 208，最後形成閘極電極 209。在本實施例的電晶體裝置中，由於閘極電極形成部分的第二氮化物半導體層 205 變薄而極化電荷的影響減弱，因此在導電層 213 中被誘導的傳導電子的數量變少，在第二絕緣膜 207 中蓄積固定電荷之前的臨界電壓成為比本申請第一發明的第一實施例小的負電壓。因此，可減少為了使臨界電壓成為正電壓來獲得所期望的常關特性而在第二絕緣膜 207 中蓄積的負的固定電荷 216 的量。另一方面，通過使閘極電極 209 與源極電極 111 之間的第二氮化物半導體層保持原有厚度，在此部分的導電層 214 中被誘導的傳導電子的數量不減少，因此可以低電阻獲得自源極電極 111 向通道區域 217 的電性連接。第二絕緣膜 207 以在膜中包含如下的電荷陷阱的方式選擇材料、成膜方法：所述電荷陷阱的能階位於第一絕緣膜 206 的至少一部分的帶隙的內側且位於第三絕緣膜 208 的至少一部分的帶隙的內側，此方面與本申請第一發明的第一實施例相同。此外，也可在對場絕緣膜 218 的開口部的氮化物半導體層 205 進行了蝕刻之後將殘留的場絕緣膜 218 去除，然後沉積第一絕緣膜 206、第二絕緣膜 207、第三絕緣膜 208。另外，也可在閘極電極 209 形成之前形成主體電極 110、源極電極 111，例如首先形成主體電極 110，繼而沉積場絕緣膜 218，在將源極電極形成部的場絕緣膜 218 去除之後形成源極電極 111，繼而在將閘極電極形成部的場絕緣膜 218 去除之後對第二氮化物半導體層 205 進行蝕刻，其後進行閘極部的製程直至形成閘極電極 209。

【0042】 圖 7 是表示由本申請第一發明的第三實施例提供的縱向

氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。在本實施例中，對阻擋層 302 使用在漂移層 101 上成長而成的 p 型氮化物半導體層或高電阻的氮化物半導體層，並通過蝕刻形成具有傾斜的開口部 303，繼而在開口部 303 的包含傾斜部的上表面成長第一氮化物半導體層 304、第二氮化物半導體層 305，然後在其上依次沉積第一絕緣膜 306、第二絕緣膜 307、第三絕緣膜 308，接著在其上以覆蓋開口部 303 的整個面的方式形成閘極電極 309。其他與本申請第一發明的第一實施例相同。在本實施例中，導電層 313 的至少一部分形成於開口部 303 的傾斜部。所述傾斜部的導電層 313 形成通道區域 317，自源極電極流出的傳導電子自導電層 314 經由通道區域 317 並沿著箭頭 315 流入漂移層 101。如在所述第三現有例中所說明，當氮化物半導體的層疊結構的晶面方位自 c 軸方向偏離時，產生的極化減弱。因此，當在第二絕緣膜 307 中蓄積固定電荷之前進行比較時，臨界電壓成為比本申請第一發明的第一實施例小的負電壓。因此，可減少為了使臨界電壓成為充分大的正電壓來獲得所期望的常關特性而在第二絕緣膜 307 中蓄積的負的固定電荷 316 的量。另外，在臨界電壓的偏差成為問題的情況下，可通過針對每個電晶體調節在第二絕緣膜 307 中蓄積的電荷量來降低偏差。第二絕緣膜 307 以在膜中包含如下的電荷陷阱的方式選擇材料、成膜方法：所述電荷陷阱的能階位於第一絕緣膜 306 的帶隙內側且位於第三絕緣膜 308 的帶隙的內側，此方面與本申請第一發明的第一實施例相同。

【0043】圖 8 是表示由本申請第一發明的第四實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。在基板 400 上磊晶成長漂移

層 401。至此為止與本申請第一發明的第一實施例相同。繼而，在漂移層 401 上成長具有 p 型的導電型的第三氮化物半導體層 402、具有 n 型的導電型的第四氮化物半導體層 403。在一個優選例中，使用 GaN 作為第三氮化物半導體層 402 及第四氮化物半導體層 403。繼而，形成貫通第四氮化物半導體層 403、第三氮化物半導體層 402 而到達漂移層 401 的溝槽 405。然後，以覆蓋溝槽 405 的內部的方式，依次沉積第一絕緣膜 406、第二絕緣膜 407、第三絕緣膜 408。關於所述絕緣膜的種類、性質、沉積方法，如本申請第一發明的第一實施例中所說明。此外，為了改善絕緣膜與氮化物半導體的界面的特性，也可在溝槽 405 的內部成長出薄的氮化物半導體層例如 GaN 層，之後，依次沉積第一絕緣膜 406、第二絕緣膜 407、第三絕緣膜 408。通常，所述薄的氮化物半導體層的厚度在 1 nm 至 20 nm 的範圍內選擇。繼而，以覆蓋溝槽 405 的內表面的方式形成閘極電極 409。以與用作主體區域的第三氮化物半導體層 402 電性接觸的方式設置主體電極 410。然後，以與第四氮化物半導體層 403 及主體電極 410 電性接觸的方式設置源極電極 411。主體電極 410 可出於將主體區域固定成與源極電極相同電位的目的設置，但也可不設置。汲極電極 412 設置於基板 400 的背面。此外，源極電極 411 的形成可在閘極電極 409 形成之前進行，例如可在形成第四氮化物半導體層 403 之後，首先形成主體電極 410 及源極電極 411，繼而形成溝槽 405，進而沉積第一絕緣膜 406、第二絕緣膜 407、第三絕緣膜 408，並形成閘極電極 409。背面的汲極電極 412 也可在其他電極形成之前形成。

【0044】 關於圖 8 所示的本申請第一發明的第四實施例，可視為

將圖 19 所示的所述第四現有例中的閘極絕緣膜 1305 置換成了包括第一絕緣膜 406、第二絕緣膜 407、第三絕緣膜 408 的層疊膜。因此，電晶體的運行原理基本上與圖 19 所示的第四現有例相同，自源極電極 411 流出的傳導電子在第四氮化物半導體層 403 中沿著表示傳導電子的流動的箭頭 414 在溝槽方向上流動，進而經由包括倒置型的導電層 413 的通道區域 417，沿表示傳導電子的流動的箭頭 415 的方向流入漂移層 401，進而通過基板 400 而到達汲極電極 412。另一方面，在圖 8 所示的本申請第一發明的第四實施例中，通過在第二絕緣膜 407 中蓄積固定電荷 416，可調節臨界電壓，以消除通道區域 417 中的傳導電子，並藉此阻斷源極電極 411 與汲極電極 412 之間的電流。尤其可在第二絕緣膜 407 中蓄積負的固定電荷 416 而使臨界電壓成為正值。或者，在電荷蓄積前的臨界電壓已經為正值的情況下，也可通過蓄積負電荷或正電荷而調節成所期望的臨界電壓。或者，可通過針對每個電晶體調節蓄積電荷來降低蓄積前的臨界電壓偏差。可通過對閘極電極 409 施加相對於源極電極 411 為正的電壓，使電子經由穿隧第一絕緣膜 406 從導電層 413 注入第二絕緣膜 407，而在第二絕緣膜 407 中蓄積固定電荷 416。例如，當用通過 PECVD 而沉積的氮化矽作為第二絕緣膜 407，用氧化矽作為第一絕緣膜 406 及第三絕緣膜 408 時，PECVD 氮化矽膜包含能階位於氧化矽的帶隙的內側的多個電荷陷阱，穿隧過第一絕緣膜 406 的電子被所述電荷陷阱捕捉。一經捕獲的電荷由於能階位於比包含氧化矽的第一絕緣膜 406 及第三絕緣膜 408 的傳導帶更深的能量中，因此幾乎不會被再次釋放，而是作為固定電荷滯留。或者，可通過對閘極電極 409 施加相對

於源極電極 411 為負的電壓，使電子經由穿隧第三絕緣膜 408 而自閘極電極 409 注入第二絕緣膜 407。在此種情況下，減小第三絕緣膜 408 的厚度來促進穿隧。在絕緣膜 407 中蓄積正的固定電荷是通過電洞注入進行的，這可通過自第三氮化物半導體層 402 或閘極電極 409 的電洞穿隧來實現，所述電洞穿隧受到選擇適當的第一絕緣膜 406 與第三絕緣膜 408 的材料和厚度以及調節施加至閘極電極 409 與源極電極 411 的電壓所支配。

【0045】圖 9 是表示由本申請第一發明的第五實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。本實施例與本申請第一發明的第四實施例的不同之處在於：在成長出具有 p 型的導電型的第三氮化物半導體層 402 之後，作為相當於第四氮化物半導體層的層，而形成包括第一氮化物半導體層 503 與第二氮化物半導體層 504 這兩層的氮化物半導體層。此處，與本申請第一發明的第一實施例同樣地，第二氮化物半導體層 504 至少包含帶隙比第一氮化物半導體層 503 的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體。例如，使用 GaN 作為第一氮化物半導體層 503，使用 AlGaN 作為第二氮化物半導體層 504。由此，在第二氮化物半導體層 504 與第一氮化物半導體層 503 的界面的第一氮化物半導體層 503 側形成包含二維電子氣的導電層 514。由第一氮化物半導體層 503 與第二氮化物半導體層 504 這兩層構成的氮化物半導體層，即便在不進行 n 型的摻質摻雜的情況下，也可利用極化電荷的效果在導電層 514 中誘導傳導電子，因此實質上可獲得 n 型的導電性，但也可為了促進朝向包括倒置型的導電層 513 的通道區域 517 的電子電流，而在第一氮化物半導體層 503 中摻雜 n 型的摻質。在本實施

例的電晶體中，自源極電極 411 流出的傳導電子經由導電層 514、通道區域 517，沿表示傳導電子的流動的箭頭 515 的方向流入漂移層 401。

【0046】圖 10 是表示由本申請第二發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。在基板 600 上磊晶成長漂移層 601。基板 600 可使用 n 型導電性的 GaN、SiC、Si 等。在磊晶成長氮化物半導體的情況下，通過使氮化物半導體沿 c 軸方向成長可獲得良好的結晶性。因此，基板 600 優選使用具有可獲得向 c 軸方向的磊晶成長的晶面方位的單晶基板。例如，在使用晶體結構為六方晶的 GaN 基板或 SiC 基板的情況下，使用在 c 軸方向具有基板的晶面方位的單晶基板。在使用 GaN 基板的情況下，優選使用以磊晶結晶成長特別容易的 Ga 面為表面的基板。另外，在使用 Si 基板的情況下，若使用晶面方位為 (111) 的基板，則可獲得氮化物半導體的向 c 軸方向的磊晶成長。在基板 600 與漂移層 601 之間，也可出於使漂移層 601 磊晶成長時的結晶性提高的目的而插入緩衝層。另外，漂移層 601 可用 n 型 GaN、n 型 AlGaIn、或具有組成傾斜的 AlGaIn 等。在漂移層 601 的上部設置阻擋層 602、第一氮化物半導體層 604、第二氮化物半導體層 605。阻擋層 602 是出於阻止傳導電子的流動的目的而設置，但在其一部分設置不阻擋傳導電子的流動的開口部 603。開口部 603 的製作有各種方法。例如，可在漂移層 601 上的整個面形成阻擋層 602，並通過濕式蝕刻或乾式蝕刻將開口部 603 的部分去除，然後使第一氮化物半導體層 604 及第二氮化物半導體層 605 成長以填埋開口部 603。在此種情況下，對於阻擋層 602，使用在漂移層 601 上磊晶成長而

成的 p 型 GaN、p 型 AlGaIn、摻雜有用於形成深陷阱能階的摻質的高電阻氮化物半導體、絕緣膜、或者它們的層疊結構等。或者，也可在成長出漂移層 601 之後，通過離子注入將 p 型摻質選擇性地導入至開口部以外的表面部分，並通過其後的熱處理加以活化，從而形成包括 p 型層的阻擋層 602。或者，也可在依次磊晶成長出漂移層 601、包含 p 型氮化物半導體的阻擋層 602、第一氮化物半導體層 604、第二氮化物半導體層 605 之後，將 n 型摻質選擇性地離子注入至開口部 603，並通過其後的熱處理加以活化，從而使開口部 603 的阻擋層 602 進行 n 型反轉。第二氮化物半導體層 605 至少包含帶隙比第一氮化物半導體層 604 的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體。例如，使用 GaN 作為第一氮化物半導體層 604，使用 AlGaIn 作為第二氮化物半導體層 605。由此，在第二氮化物半導體層 605 與第一氮化物半導體層 604 的界面的第一氮化物半導體層 604 側形成包含二維電子氣的導電層 613（圖 10 中由粗虛線表示）及導電層 614（圖 10 中由細虛線表示）。通道區域 617 在圖 10 中由虛線橢圓表示。為了促進自通道區域 617 經由開口部 603 抵達漂移層 601 的電子傳導，也可在第一氮化物半導體層 604 中摻雜 n 型摻質。以上製程與本申請第一發明的第一實施例相同。繼而，在第二氮化物半導體層 605 上沉積場絕緣膜 616，並將閘極電極形成部的場絕緣膜 616 去除。繼而，沉積第四絕緣膜 606，並在其上形成電荷蓄積用電極 607。此時，理想的是如圖 10 所示，以架設於場絕緣膜 616 所存在的部分上的方式形成電荷蓄積用電極 607，從而使電荷蓄積用電極的上部的面積比下部的面積大。繼而，在電荷蓄積用電極 607 上沉積第五絕緣膜

608。電荷蓄積用電極 607 的周圍由第四絕緣膜 606 及第五絕緣膜 608 覆蓋，從而成為電浮動狀態。在第四絕緣膜及第五絕緣膜中，可使用現有已知的絕緣體材料，例如氧化矽膜、氮化矽膜、氧化鋁膜、氧化鋯膜、氧化鉛膜或者它們的層疊膜等。另外，作為電荷蓄積用電極 607，不僅可使用金屬層，還可使用摻雜有摻質的多晶矽。在此種情況下，摻質使用磷、砷、硼等。繼而，在第五絕緣膜 608 上形成閘極電極 609，以便與電荷蓄積用電極一起形成電容器。在第二氮化物半導體層 605 上形成源極電極 611，以便相對於導電層 614 而獲得低電阻的良好電性連接。作為電極材料，例如使用由下層為 Ti、上層為 Al 所構成的多層膜。另外，當在阻擋層 602 中使用 p 型氮化物半導體時，也可為了將電位固定而設置主體電極 610。作為電極材料，例如使用 Pd、Pt、Ni 等。源極電極 611 形成為同時與主體電極 610 電性接觸。汲極電極 612 形成於基板 600 的背面。此外，主體電極 610 及源極電極 611 的形成可在閘極電極 609 形成之前進行，例如可在成長出第二氮化物半導體層 605 之後，首先形成主體電極 610，繼而沉積場絕緣膜 616，將用於形成源極電極的部分的場絕緣膜 616 去除並形成源極電極 611，繼而將用於形成閘極電極的部分的場絕緣膜 616 去除，其後進行閘極部分的製程直至形成閘極電極 609。背面的汲極電極 612 也可在其他電極形成之前形成。

【0047】 接著，對由本申請第二發明的第一實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的運行原理進行說明。與本申請第一發明的第一實施例同樣地，自源極電極流出的傳導電子如表示傳導電子的流動的箭頭 615 所示，自導電層 614、通道區域 617 經由開口

部 603 流入漂移層 601，進而通過基板 600 到達汲極電極 612。另一方面，對閘極電極 609 施加的電壓通過電容耦合，經由電荷蓄積用電極 607 傳遞至通道區域 617，從而可使所述區域內的傳導電子數量變化。通道區域 617 中的傳導電子數量實質上成為零從而在源極電極 611 與汲極電極 612 之間流動的電流被阻斷時的閘極電壓為臨界電壓，但所述電壓的值可根據蓄積於電荷蓄積用電極 607 的電荷而變化。例如，當在電荷蓄積用電極 607 中蓄積負電荷時，電荷蓄積用電極 607 的相對於電子的勢能被拉升。其結果，汲極電流的閘極電壓依存性整體上向正的閘極電壓方向偏移。若提供充分量的負電荷，則可實現具有正的臨界電壓的常關動作。

【0048】 接著，對本申請第二發明的第一實施例的向電荷蓄積用電極 607 的負電荷蓄積方法進行說明。可對閘極電極 609 施加與源極電極 611 相比為正的電壓，使電子自第二氮化物半導體層 605 穿隧第四絕緣膜 606，並注入電荷蓄積用電極 607。在此種情況下，需要減小第四絕緣膜 606 的厚度，以便獲得充分的穿隧電流。但若過薄，則所蓄積的負電荷因穿隧而再次釋放。通常，第四絕緣膜 606 的厚度設為 5 nm 至 20 nm 的範圍。另一方面，為了防止電荷蓄積用電極 607 中所蓄積的電荷因穿隧而再次釋放，使第五絕緣膜 608 的厚度較厚，但若過厚，則閘極電極 609 與電荷蓄積用電極 607 的耦合電容會減弱，由閘極電壓引起的通道區域 617 中的傳導電子數量的變化會變小，電流的變化量會變小，因此電晶體的特性會劣化。通常，第五絕緣膜 608 的厚度設為 10 nm 至 40 nm 的範圍。

【0049】 作為在電荷蓄積用電極 607 中蓄積負電荷的另一方法，

也可對閘極電極 609 施加與源極電極 611 相比為負的電壓，使電子自閘極電極 609 穿隧第五絕緣膜 608。在此種情況下，減小第五絕緣膜 608 的厚度以促進穿隧。此外，通過設計第四絕緣膜 606 及第五絕緣膜 608 的厚度等，使得電子自電荷蓄積用電極 607 向第二氮化物半導體層 605 的穿隧所導致的流出成為支配性的，也可在電荷蓄積用電極 607 中蓄積正電荷。進而，通過設計也可以使得在也對閘極電極 609 施加了與源極電極相比為正的電壓的狀態下，電子自電荷蓄積用電極 607 向閘極電極 609 的流出成為支配性的，從而在電荷蓄積用電極中蓄積正電荷。

【0050】圖 11 是表示本申請第二發明的第一實施例中的各節點間的電容器的圖。第一電容器 630 是導電層 613 與電荷蓄積用電極 607 之間的耦合電容。導電層 613 形成通道區域 617，且傳導電子的數量根據對閘極電極 609 施加的電壓而變化。當在導電層 613 中積存有傳導電子、即開關處於導通狀態時以及當導電層 613 的傳導電子耗盡且開關處於關斷狀態時，圖 11 的第一電容器 630 的電容值不同，在導通狀態下大，在關斷狀態下小。另一方面，第二電容器 631 是電荷蓄積用電極 607 與閘極電極 609 之間的耦合電容。此處，對開關處於接通狀態的情況進行說明。在接通狀態下，第一電容器 630 的值變大，但理想的是第二電容器 631 更大。由此，可提高在通道區域 617 中被誘導的傳導電子數量對施加至閘極電極 609 的電壓即閘極電壓的依存性。在圖 10 所示的本申請第二發明的第一實施例中，以架設於場絕緣膜 616 所存在的部分的方式形成電荷蓄積用電極 607，從而第二電容器 631 的面積大於第一電容器 630 的面積。因此，即便在對第四絕緣膜 606 與第五

絕緣膜 608 使用相同的介電常數及厚度的絕緣膜的情況下，也可與面積成比例地使第二電容器 631 比第一電容器 630 大，可獲得作為開關的特性優異的電晶體裝置。此外，也可為了使第二電容器 631 大於第一電容器 630，而使第五絕緣膜 608 的介電常數比第四絕緣膜 606 大。

【0051】圖 12 中示出由本申請第二發明的第二實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖與平面圖。剖面圖示出了 A-A' 剖面及 B-B' 剖面兩者。與本發明的本申請第二發明的第一實施例的不同之處在於：設置有經由絕緣膜與電荷蓄積用電極 607 電容耦合的電荷注入用電極 620。以下，將本電容器稱為第三電容器 632。例如，如圖 12 的 B-B' 剖面圖所示，電荷注入用電極 620 隔著第六絕緣膜 619 形成於電荷蓄積用電極 607 的下部。在此種情況下，第三電容器 632 是將第六絕緣膜 619 作為電容耦合膜而形成，第一電容器 630 是將第四絕緣膜 606 與第六絕緣膜 619 的層疊膜作為電容耦合膜而形成。若減小第六絕緣膜 619 的厚度，則通過經由第三電容器 632 的穿隧而進行的向電荷蓄積用電極 607 的電子注入將變得容易。另一方面，第一電容器 630 的電容耦合膜的厚度可利用第四絕緣膜 606 的厚度來調節。當製作電荷注入用電極 620 及第三電容器 632 時，可考慮各種變化形式。例如，也可不進行第六絕緣膜的形成，而在場絕緣膜 616 上形成電荷注入用電極 620，並在其上形成第四絕緣膜，從而第一電容器 630、第三電容器 632 均是將第四絕緣膜作為電容耦合膜來製作。在此種情況下，第三電容器 632 的電容耦合膜的厚度變厚，但可如圖所示使第三電容器 632 具有邊緣部 621，通過在邊緣部的電場集中

而兩個電極間的穿隧得到促進，因此，可相對容易地進行電子注入。或者，也可在電荷蓄積用電極 607 的上部形成電荷注入用電極 620。在此種情況下，例如，若在形成電荷蓄積用電極 607 之後，在其上部形成第六絕緣膜 620，進而在其上形成電荷注入用電極 620，則可獲得將第六絕緣膜 620 作為電容耦合膜的第三電容器 632。繼而，形成第五絕緣膜 608，在其上形成閘極電極 609。當保留形成有閘極電極 609 的部分的第六絕緣膜時，第二電容器 631 使用第五絕緣膜 608 與第六絕緣膜 619 的層疊膜作為電容耦合膜。或者，也可在將用於形成閘極電極 609 的部分的第六絕緣膜 619 去除之後形成第五絕緣膜 608，在其上形成閘極電極 609。在此種情況下，第二電容器 631 僅使用第五絕緣膜 608 作為電容耦合膜。在任一方法中，第一電容器 630、第二電容器 631、第三電容器 632 的電容耦合膜的種類及厚度均根據各自的用途而進行最優化。例如，第三電容器 632 的電容耦合膜的厚度有助於通過穿隧進行電荷注入。在不使用由邊緣部中的電場集中帶來的穿隧促進的情況下，通常，絕緣膜的厚度設為 5 nm 至 20 nm 的範圍。另一方面，第一電容器 630 與第二電容器 631 的電容耦合膜的厚度優選為相對較厚，通常設為 10 nm 至 40 nm 的範圍。此外，若同樣在電荷蓄積用電極 607 的上部形成電荷注入用電極 620 的情況下，如果以覆蓋電荷蓄積用電極 607 的上表面的端部等邊緣部的方式形成電荷注入用電極 620，則可利用邊緣部的穿隧促進的效果。

【0052】 在圖 12 中，電荷蓄積用電極 607 是分離的各個指狀物，且作為電晶體裝置整體優選為包括多個分離的電荷蓄積用電極

607。由此，即便在蓄積於電荷蓄積用電極 607 的電荷因局部的缺陷或破壞而洩漏，且臨界電壓發生了變動的情況下，其影響所波及的範圍也停留在個別的電荷蓄積用電極 607 中，因此，作為開關元件整體而言可盡可能地抑制關斷狀態下的汲極洩漏電流的增大。在圖 12 中，各指狀物分別包括一個電荷蓄積用電極 607，但也可進一步細分而使各指狀物包括多個電荷蓄積用電極 607。此外，關於用來對電荷注入用電極 620 供電的墊，可對全部的電荷注入用電極 620 設置一個共用的墊，也可將電荷注入用電極 620 分開連接至多個墊。

【0053】圖 13 表示本申請第二發明的第二實施例中的各節點間的電容器的等效電路。在本實施例中的節點間電容器的等效電路中，對圖 11 所示的本申請第二發明的第一實施例追加第三電容器 632。為了改善開關導通狀態下的特性，理想的是使電容器 631 大於開關導通狀態時的電容器 630，為此，例如優選使電容器 631 的面積大於電容器 630 的面積，此與本申請第二發明的第一實施例相同。例如，如圖 12 的 A-A'剖面圖及 B-B'剖面圖所示，通過以架設於場絕緣膜 616 所存在的部分的方式形成電荷蓄積用電極 607，可使形成於電荷蓄積用電極 607 與閘極電極 609 之間的第二電容器 631 的面積比形成於電荷蓄積用電極 607 與導電層 613 之間的第一電容器 630 的面積大，從而即使用於第一電容器 630 與第二電容器 631 的介電膜具有相同的介電常數與厚度，也可使第二電容器 631 的電容值大。

【0054】接著，關於圖 13 所示的第三電容器 632 的電容值，結合向電荷蓄積用電極 607 的電荷蓄積方法來進行說明。在本申請第

二發明的第二實施例中，負電荷向電荷蓄積用電極 607 的蓄積是通過對電荷注入用電極 620 施加與閘極電極 609 相比為負的電壓來進行。此時，由於電荷蓄積用電極 607 通過第二電容器 631 而與閘極電極 609 電容耦合，因此對電荷注入用電極 620 與電荷蓄積用電極 607 之間的第三電容器 632 施加電壓，電子自電荷注入用電極 620 穿隧電容耦合膜，並流入電荷蓄積用電極 607。當想要在電荷蓄積用電極 607 中儲存正電荷的情況下，若對電荷注入用電極 620 施加與閘極電極 609 相比為正的電壓，則通過穿隧第三電容器 632 的電容耦合膜，電子自電荷蓄積用電極 607 流出至電荷注入用電極 620，其結果，正電荷被蓄積於電荷蓄積用電極 607 中。在任一方法中，電荷向電荷蓄積用電極 607 的蓄積均通過經由第三電容器 632 流動的電流來進行。此處，對在電荷蓄積用電極 607 中蓄積負電荷的情況更詳細地進行說明。當對電荷注入用電極 620 施加與閘極電極 609 相比為負的電壓時，通過使第二電容器 631 的電容值大於第三電容器 632 的電容值，閘極電極 609 與電荷蓄積用電極 607 的電容耦合變強，對第三電容器 632 即電荷注入用電極 620 與電荷蓄積用電極 607 之間施加更大的電壓，因此可促進通過穿隧進行的電子自電荷注入用電極 620 向電荷蓄積用電極 607 的流入。電荷向電荷蓄積用電極 607 的蓄積可將源極電極的電位固定來進行。例如，使源極電極 611 與閘極電極 609 一起接地，並對電荷注入用電極 620 施加負電壓。負電荷蓄積前的電晶體的臨界電壓通常是負值，電晶體處於導通狀態，因此，第一電容器 630 的電容值大。因此，電荷蓄積用電極 607 的電位通過第二電容器 631 與第一電容器 630 兩者的電容耦合而被強力

固定，因此對電荷注入用電極 620 施加的電壓的大部分被施加至第三電容器 632，促進了通過穿隧將電子注入至電荷蓄積用電極 607。

【0055】圖 14 是表示由本申請第二發明的第三實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。在本實施例中，用在漂移層 601 上成長的 p 型氮化物半導體層或高電阻的氮化物半導體層作為阻擋層 702，並通過蝕刻形成具有傾斜的開口部 703，繼而在開口部 703 的包含傾斜部的上表面成長第一氮化物半導體層 704、第二氮化物半導體層 705，然後在第二氮化物半導體層 705 上沉積場絕緣膜 716，將閘極電極形成部的場絕緣膜 716 去除。繼而，沉積第四絕緣膜 706，在其上形成電荷蓄積用電極 707。此時，理想的是以架設於場絕緣膜 716 所存在的部分的方式形成電荷蓄積用電極 707，從而擴大電荷蓄積用電極 707 的上部的面積。繼而，在電荷蓄積用電極 707 上沉積第五絕緣膜 708。其他與本申請第二發明的第一實施例相同。在本實施例中，導電層 713 的至少一部分形成於開口部 703 的傾斜部。所述傾斜部的導電層 713 形成通道區域 717，自源極電極流出的傳導電子自導電層 714 經由通道區域 717 並沿著表示傳導電子的流動的箭頭 715 流入漂移層 601。如在所述第三現有例中所說明，當氮化物半導體的層疊結構的晶面方位自 c 軸方向偏離時，產生的極化減弱。因此，當在電荷蓄積用電極中蓄積電荷之前進行比較時，用於使通道區域 717 內的傳導電子實質上消失來阻斷源極電極 611 與汲極電極 612 之間的電流的臨界電壓是比本申請第二發明的第一實施例小的負電壓。因此，可減少為了獲得所期望的常關特性而需儲存在電荷蓄積用電

極 707 中的負電荷量。往電荷蓄積用電極 707 中蓄積負電荷及正電荷的方式，可與第[0048]、[0049]段所述的本申請第二發明的第一實施例一樣。或者，在如本申請第二發明的第二實施例那樣使用電流注入用電極的情況下，可進行與第[0054]段所述的同樣方法。

【0056】 圖 15 表示由本申請第二發明的第四實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。在基板 800 上依次成長漂移層 801、具有 p 型的導電型的第三氮化物半導體層 802、具有 n 型的導電型的第四氮化物半導體層 803。至此為止，與本申請第一發明的第四實施例相同。繼而，沉積場絕緣膜 816 並在閘極電極形成部形成開口之後，將所述開口作為掩模，形成貫通第四氮化物半導體層 803、第三氮化物半導體層 802 而到達漂移層 801 的溝槽 805。繼而，以覆蓋溝槽 805 的內部的方式形成第四絕緣膜 806。出於改善絕緣膜與氮化物半導體的界面的特性的目的，也可在溝槽 805 的內部成長出薄的氮化物半導體層、例如 GaN 層之後形成第四絕緣膜 806。進而在溝槽 803 內部形成電荷蓄積用電極 807，再形成第五絕緣膜 808，並在其上形成閘極電極 809。以與第三氮化物半導體層 802 電性接觸的方式設置主體電極 810，以與第四氮化物半導體層 803 及主體電極 810 電性接觸的方式設置源極電極。另外，以自背面與基板 800 電性接觸的方式設置汲極電極。此外，如本申請第二發明的第一實施例中所說明，主體電極 810 及源極電極 811 可在閘極電極 809 形成之前形成。關於第四絕緣膜 806、第五絕緣膜 808、電荷蓄積用電極 807 的材料，也與本申請第二發明的第一實施例相同。

【0057】 在圖 15 所示的由本申請第二發明的第四實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置中，與本申請第一發明的第四實施例同樣地，自源極電極 811 流出的傳導電子在第四氮化物半導體層 803 中沿著表示傳導電子的流動的箭頭 814 在溝槽方向上流動，進而經由包括倒置型的導電層 813 的通道區域 817，在表示傳導電子的流動的箭頭 815 的方向上流入漂移層 801，進而通過基板 800 而到達汲極電極 812。另一方面，在圖 15 所示的本申請第二發明的第四實施例中，通過在電荷蓄積用電極 807 中蓄積電荷，可調節用於使通道區域 817 的傳導電子實質上消失來阻斷源極電極 811 與汲極電極 812 之間的電流的臨界電壓，尤其可在電荷蓄積用電極 807 中蓄積負電荷而使臨界電壓為正值。或者，在電荷蓄積前的臨界電壓已經為正值的情況下，也可通過蓄積負電荷或正電荷而將臨界電壓調節成所期望的值。或者，可通過針對每個電晶體調節蓄積電荷來降低臨界電壓偏差。

【0058】 負電荷在電荷蓄積用電極 807 中的蓄積可通過電子自導電層 813、第四氮化物半導體層 803 或漂移層 801 穿隧第四絕緣膜 806 流入至電荷蓄積用電極 807 來完成，且這可通過對閘極電極 809 施加相對於源極電極 811 為正的電壓來實現。若第五絕緣膜 808 夠薄，則也可通過經由第五絕緣膜 808 穿隧，使電子自閘極電極 809 流入電荷蓄積用電極 807，從而在電荷蓄積用電極 807 中蓄積負電荷，且這可通過對閘極電極 809 施加相對於源極電極 811 為負的電壓來實現。另一方面，向電荷蓄積用電極 807 蓄積正電荷可通過以下方式進行：通過設計第四絕緣膜 806 及第五絕緣膜 808 的厚度，使得在對閘極電極 809 施加了與源極電極 811 相比為

負電壓的狀態下，電子自電荷蓄積用電極 807 向第三氮化物半導體層 802 的穿隧、或電洞自第三氮化物半導體層 802 向電荷蓄積用電極 807 的穿隧成為支配性的。或者，可通過以下方式進行：通過設計第四絕緣膜 806 及第五絕緣膜 808 的厚度，使得在對閘極電極 809 施加了與源極電極 811 相比為正電壓的狀態下，電子自電荷蓄積用電極 807 向閘極電極 809 的穿隧成為支配性的。

【0059】 作為在電荷蓄積用電極 807 中蓄積電荷的另一方法，也可如本申請第二發明的第二實施例那樣設置電荷注入用電極，並可進行與第[0054]段所述的同樣方法。

【0060】 與本申請第二發明的第一實施例及第二實施例的情況同樣地，如圖 15 所示，以架設於場絕緣膜 816 所存在的部分的方式形成電荷蓄積用電極 807，從而增大形成於電荷蓄積用電極 807 與閘極電極 809 之間的電容器的面積，將有利於改善電晶體作為開關的特性。

【0061】 圖 16 表示由本申請第二發明的第五實施例提供的縱向氮化物半導體電晶體裝置的剖面圖。本實施例與本申請第二發明的第四實施例的不同之處在於：在成長出具有 p 型的導電型的第三氮化物半導體層 802 之後，作為相當於第四氮化物半導體層的層而形成由第一氮化物半導體層 903 與第二氮化物半導體層 904 這兩層所構成的氮化物半導體層。此處，與本申請第二發明的第一實施例同樣地，第二氮化物半導體層 904 至少包含帶隙比第一氮化物半導體層 903 的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體。例如，使用 GaN 作為第一氮化物半導體層 903，使用 AlGaN 作為第二氮化物半導體層 904。由此，在第二氮化物半導體層 904

與第一氮化物半導體層 903 的界面的第一氮化物半導體層 903 側形成包含二維電子氣的導電層 914。由第一氮化物半導體層 903 與第二氮化物半導體層 904 這兩層所構成的氮化物半導體層即便在不進行 n 型的摻質摻雜的情況下，也可利用極化電荷的效果在導電層 914 中誘導傳導電子，實質上可獲得 n 型的導電性，但為了促進朝向包括倒置型的導電層 913 的通道區域 917 的電子電流也可在第一氮化物半導體層 903 中摻雜 n 型的摻質。在本實施例的電晶體中，自源極電極 811 流出的傳導電子經由導電層 914、通道區域 917，沿表示傳導電子的流動的箭頭 915 的方向流入漂移層 801。

【0062】在以上實施例中，對作為氮化物半導體而使用 GaN 及 AlGaN 的情況進行了說明，但也可使用其他氮化物半導體，例如 InN、InGaN、InAlN 等包含 In 的氮化物半導體。或者，也可使用材料或組成不同的氮化物半導體的層疊結構。尤其是在本申請第一發明的第一、第二、第三、第五實施例以及本申請第二發明的第一、第二、第三、第五實施例中，可採用第一氮化物半導體層的主要部分由帶隙小的氮化物半導體形成、第二氮化物半導體層的主要部分由帶隙大的氮化物半導體形成的方式來選擇材料及組成。

【0063】在本申請第一發明的第一、第二、第三、第五實施例以及本申請第二發明的第一、第二、第三、第五實施例中，例如也可將第一氮化物半導體層設為 GaN，且將第二氮化物半導體層設為以 AlGaN 為下層、以 GaN 為上層的兩層結構。AlGaN 的帶隙比作為第一氮化物半導體的 GaN 大，作為主要部分發揮功能，而上

層的 GaN 作為保護膜，以避免容易被氧化的 Al 原子暴露至表面

【0064】 [工業上的可利用性]

【0065】 本發明的縱向氮化物半導體電晶體裝置主要可有效地用作電源電路等使用的電源開關。另外，通過本發明所提供的臨界電壓的調整方法，作為開關而可實現所期望的常關動作。

【符號說明】

【0066】

100、400、600、800、1100、1300: 基板

101、401、601、801、1101、1301: 漂移層

102、302、602、702、1102、1202: 阻擋層

103、303、603、703、1103、1203: 開口部

104、304、503、604、704、903、1104: 第一氮化物半導體層

105、305、504、605、705、904、1105: 第二氮化物半導體層

106、206、306、406: 第一絕緣膜

107、207、307: 第二絕緣膜

108、208、308、408: 第三絕緣膜

109、209、309、409、609、809、1107、1207、1306: 閘極電極

110、410、610、810、1108、1307: 主體電極

111、411、611、811、1109、1308: 源極電極

112、412、612、812、1110、1309: 汲極電極

113、114、213、214、313、314、413、513、514、613、614、
713、714、813、913、914、1111、1112、1211、1212、1310: 導
電層

115、215、414、415、515、615、715、814、815、915、1113、
1213、1311、1312: 表示傳導電子的流動的箭頭

116、216、316、416、516: 固定電荷

117、217、317、417、517、617、717、817、917、1114、1214、
1314: 通道區域

118: 寬度 (a)

119: 寬度 (b)

120: 距離 (c)

205: 第二氮化物半導體層/氮化物半導體層

218、616、716、816: 場絕緣膜

315: 表示傳導電子的流動的箭頭/箭頭

402、802: 第三氮化物半導體層

403、803: 第四氮化物半導體層

405、505、805、905、1304: 溝槽

407: 第二絕緣膜/絕緣膜

606、706、806: 第四絕緣膜

607、707、807: 電荷蓄積用電極

608、708、808: 第五絕緣膜

619: 第六絕緣膜

620: 電荷注入用電極

621: 邊緣部

630: 第一電容器

631: 第二電容器

632: 第三電容器

1106、1206、1305: 閘極絕緣膜

1130、1303: n 型氮化物半導體層

1204: 第一氮化物半導體層/第一半導體層

1205: 第二氮化物半導體層/第二半導體層

1302: p 型氮化物半導體層

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，包括：

由氮化物半導體構成的漂移層；

由氮化物半導體構成的通道區域，與所述漂移層電性連接；

源極電極，電性接觸所述通道區域的與所述漂移層相反的一側；

汲極電極，與所述漂移層電性接觸；

閘極絕緣膜，接近所述通道區域；以及

閘極電極，設置於所述閘極絕緣膜的與所述通道區域相反的一側，

所述閘極絕緣膜至少包括位於所述通道區域側的第一絕緣膜、比第一絕緣膜更靠所述閘極電極側的第二絕緣膜、以及比第二絕緣膜更靠所述閘極電極側的第三絕緣膜，

所述第二絕緣膜具有能階位於所述第一絕緣膜與所述第三絕緣膜兩者的帶隙的內側的電荷陷阱，

通過蓄積於所述電荷陷阱的電荷來調整臨界電壓，所述臨界電壓用於利用施加至所述閘極電極的電壓而使所述通道區域的傳導載子實質上消失，來阻斷在所述源極電極與所述汲極電極之間流動的電流。

【請求項2】 如請求項1所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，通過蓄積於所述電荷陷阱的所述電荷而將所述臨界電壓調整為正值。

【請求項3】 如請求項1所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，更包括：

阻擋層，出於阻止所述電流的目的而設置於所述漂移層上；
第一氮化物半導體層，設置於所述阻擋層上；以及
第二氮化物半導體層，設置於所述第一氮化物半導體層上，
所述第二氮化物半導體層至少包含帶隙比所述第一氮化物半導體層的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體，

在所述第二氮化物半導體層與所述第一氮化物半導體層的界面的所述第一氮化物半導體層側形成有導電層，

所述通道區域包括所述導電層的至少一部分，

所述阻擋層具有開口部，

所述第一氮化物半導體層經由所述開口部而與所述漂移層電性連接，

在所述源極電極與所述汲極電極之間流動的所述電流實質上經由所述開口部流動。

【請求項4】 如請求項3所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述第一氮化物半導體層至少包括Ga_N層，所述第二氮化物半導體層至少包括Al_xGa_{1-x}N， $0 < x \leq 1$ 。

【請求項5】 如請求項1所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，更包括：

第三氮化物半導體層，設置於所述漂移層上，且具有與所述漂移層相反的導電型；以及

第四氮化物半導體層，設置於所述第三氮化物半導體層上，

且通過摻質摻雜或極化電荷而具有實質上與所述漂移層相同的導電型，

所述源極電極與所述第四氮化物半導體層電性連接，

形成有貫通所述第四氮化物半導體層與所述第三氮化物半導體層而到達所述漂移層的溝槽，

所述閘極絕緣膜的至少一部分直接或隔著薄的氮化物半導體層而形成於所述溝槽的內表面中的所述第三氮化物半導體層的側面，

在所述第三氮化物半導體層的所述側面與所述閘極絕緣膜之間直接或隔著所述薄的氮化物半導體層而形成的界面的、所述第三氮化物半導體層的所述側面的一側形成有倒置型的導電層，

所述閘極電極的至少一部分形成於所述閘極絕緣膜的與所述倒置型的導電層相反的一側，

所述通道區域包括所述倒置型的導電層的至少一部分。

【請求項6】 如請求項1至5中任一項所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述第二絕緣膜包括氮化矽、氧化鈣與氧化鋇中的至少一個膜。

【請求項7】 如請求項 1 至 5 中任一項所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述第一絕緣膜及所述第三絕緣膜均包括氧化矽與氧化鋁中的至少一個膜。

【請求項8】 一種縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，包括：

由氮化物半導體構成的漂移層；

由氮化物半導體構成的通道區域，與所述漂移層電性連接；
源極電極，電性接觸所述通道區域的與所述漂移層相反的一側；

汲極電極，與所述漂移層電性接觸；

第四絕緣膜，接近所述通道區域；

電荷蓄積用電極，設置於所述第四絕緣膜的與所述通道區域相反的一側；

第五絕緣膜，設置於所述電荷蓄積用電極的與所述第四絕緣膜相反的一側；以及

閘極電極，設置於所述第五絕緣膜的與所述電荷蓄積用電極相反的一側，

通過蓄積於所述電荷蓄積用電極的電荷來調整臨界電壓，所述臨界電壓用於利用施加至所述閘極電極的電壓而使所述通道區域的傳導載子實質上消失，來阻斷在所述源極電極與所述汲極電極之間流動的電流。

【請求項9】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述電荷蓄積用電極包括橫向地排列且電絕緣的多個電極。

【請求項10】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，通過蓄積於所述電荷蓄積用電極的電荷而將所述臨界電壓調整為正電壓。

【請求項11】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，在導通狀態下，形成於所述通道區域與所述電荷蓄積用電極之間的第一電容器的電容值比形成於所述閘極電極與所

述電荷蓄積用電極之間的第二電容器的電容值小。

【請求項12】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，更包括與所述電荷蓄積用電極形成第三電容器的電荷注入用電極，向所述電荷蓄積用電極的所述電荷的蓄積是通過經由所述第三電容器流動的電流來進行。

【請求項13】 如請求項 12 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，在所述電荷注入用電極上的至少一部分具有第六絕緣膜，且所述電荷蓄積用電極形成於所述第六絕緣膜上的至少一部分，將所述第六絕緣膜作為電容耦合膜而在所述電荷蓄積用電極與所述電荷注入用電極之間形成所述第三電容器。

【請求項14】 如請求項 12 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述第三電容器的電容值比所述第二電容器的電容值小。

【請求項15】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，更包括：

阻擋層，出於阻止所述電流的目的而設置於所述漂移層上；
第一氮化物半導體層，設置於所述阻擋層上；以及
第二氮化物半導體層，設置於所述第一氮化物半導體層上，
所述第二氮化物半導體層至少包含帶隙比所述第一氮化物半導體層的至少一部分氮化物半導體大的氮化物半導體，

在所述第二氮化物半導體層與所述第一氮化物半導體層的界面的第一氮化物半導體層側形成有導電層，

所述通道區域包括所述導電層的至少一部分，

所述阻擋層具有開口部，

所述第一氮化物半導體層經由所述開口部與所述漂移層電性連接，

所述源極電極與所述汲極電極之間的所述電流實質上經由所述開口部流動。

【請求項16】如請求項 15 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述第一氮化物半導體層至少包括 GaN 層，所述第二氮化物半導體層至少包含 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ， $0 < x \leq 1$ 。

【請求項17】如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，更包括：

第三氮化物半導體層，設置於所述漂移層上，且具有與所述漂移層相反的導電型；以及

第四氮化物半導體層，設置於所述第三氮化物半導體層上，且通過摻質摻雜或極化電荷而具有實質上與所述漂移層相同的導電型，

所述源極電極與所述第四氮化物半導體層電性連接，

形成有貫通所述第四氮化物半導體層與所述第三氮化物半導體層而到達所述漂移層的溝槽，

所述第四絕緣膜的至少一部分直接或隔著薄的氮化物半導體層而形成於所述溝槽的內表面中的所述第三氮化物半導體層的側面，

在所述第三氮化物半導體層的所述側面與所述第四絕緣膜之間直接或隔著所述薄的氮化物半導體層而形成的界面的、所述第三氮化物半導體層的所述側面的一側形成有倒置型的導電層，

所述電荷蓄積用電極的至少一部分形成於所述第四絕緣膜的

與所述倒置型的導電層相反的一側，

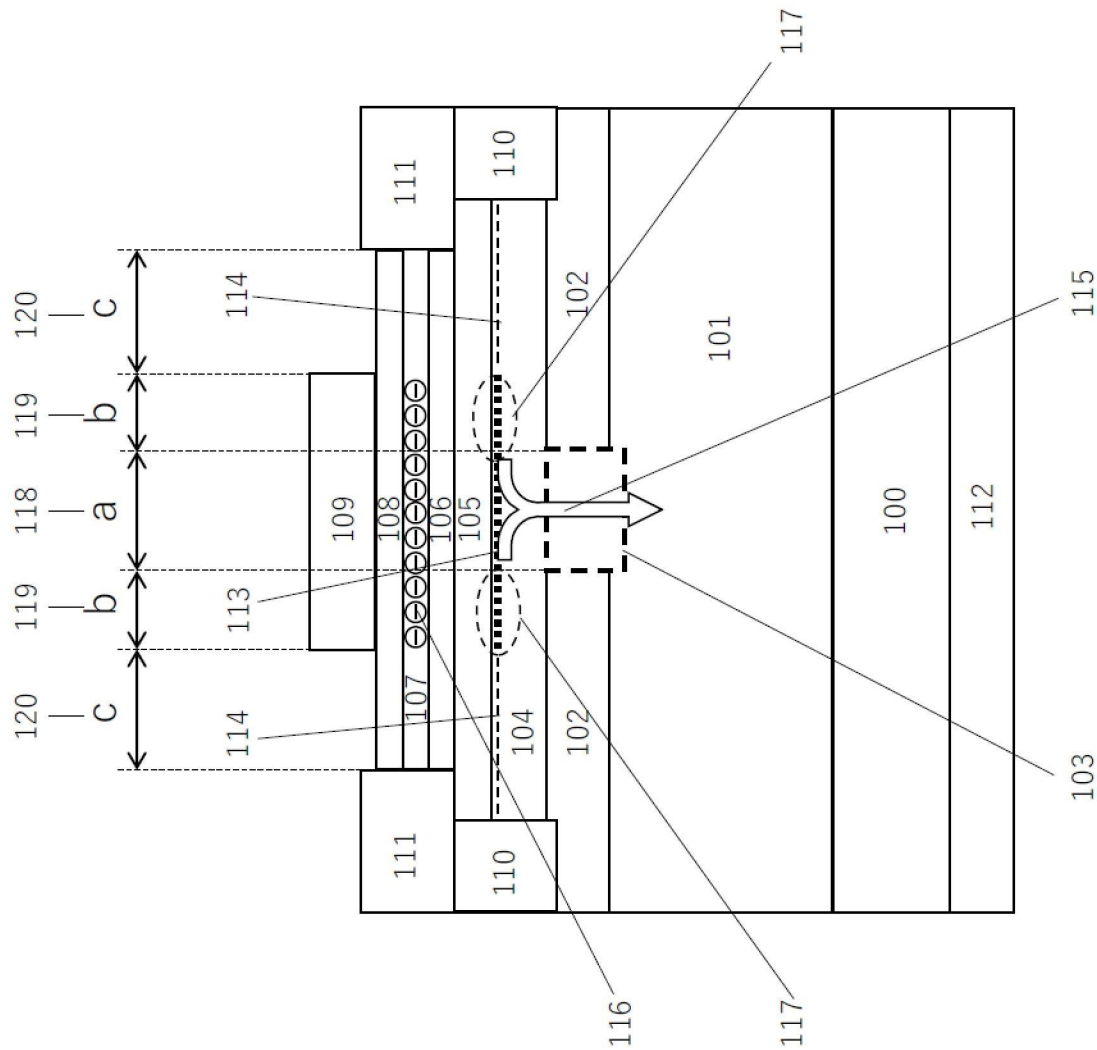
所述通道區域包括所述倒置型的導電層的至少一部分。

【請求項18】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述第四絕緣膜及所述第五絕緣膜均包括氧化矽與氧化鋁中的至少一個膜。

【請求項19】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述閘極電極、所述源極電極以及所述汲極電極獨立地與封裝的外部引腳連接，電荷注入用電極不與封裝的外部引腳連接。

【請求項20】 如請求項 8 所述的縱向氮化物半導體電晶體裝置，其特徵在於，所述電荷注入用電極和所述閘極電極與封裝的同一外部引腳連接。

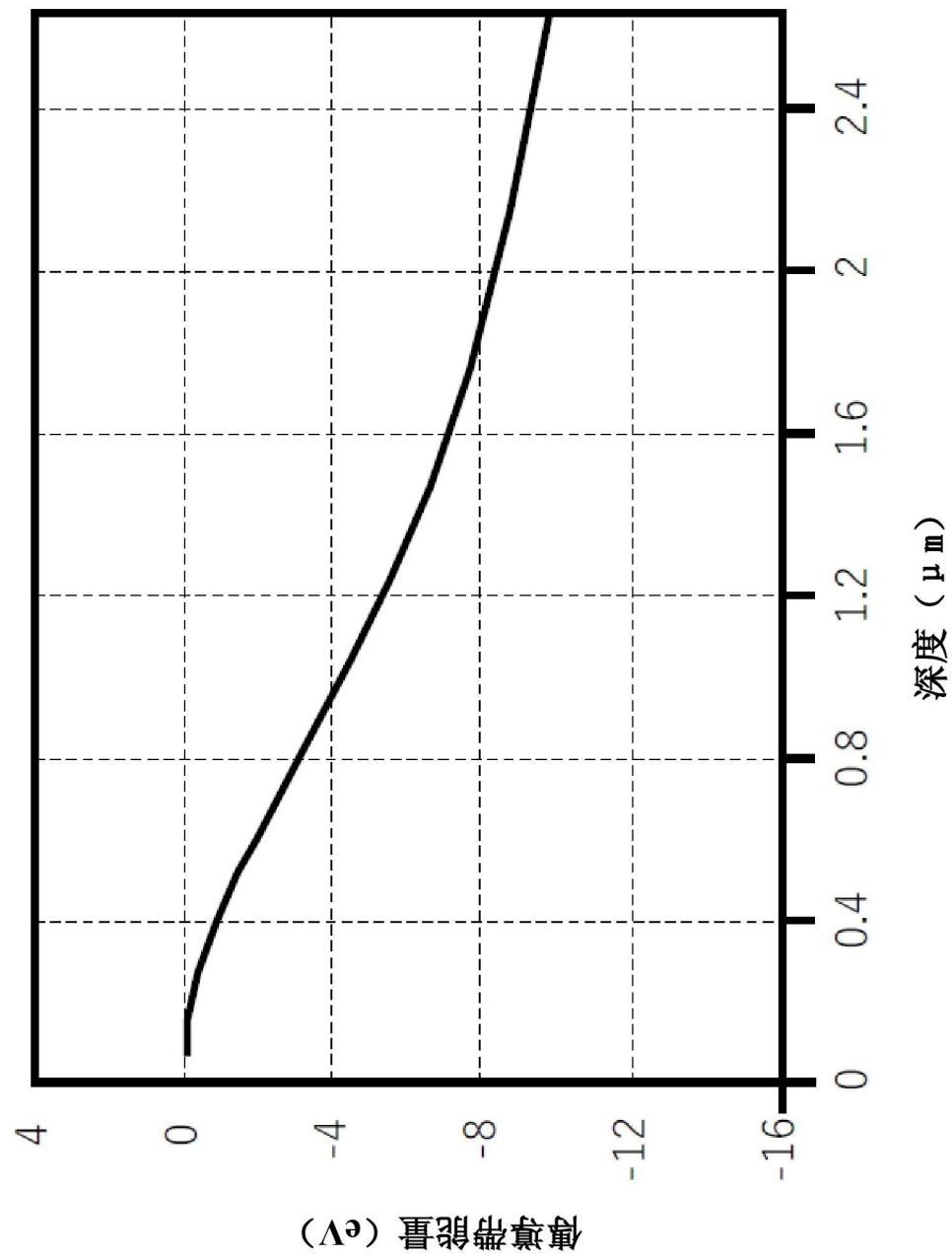
【發明圖式】



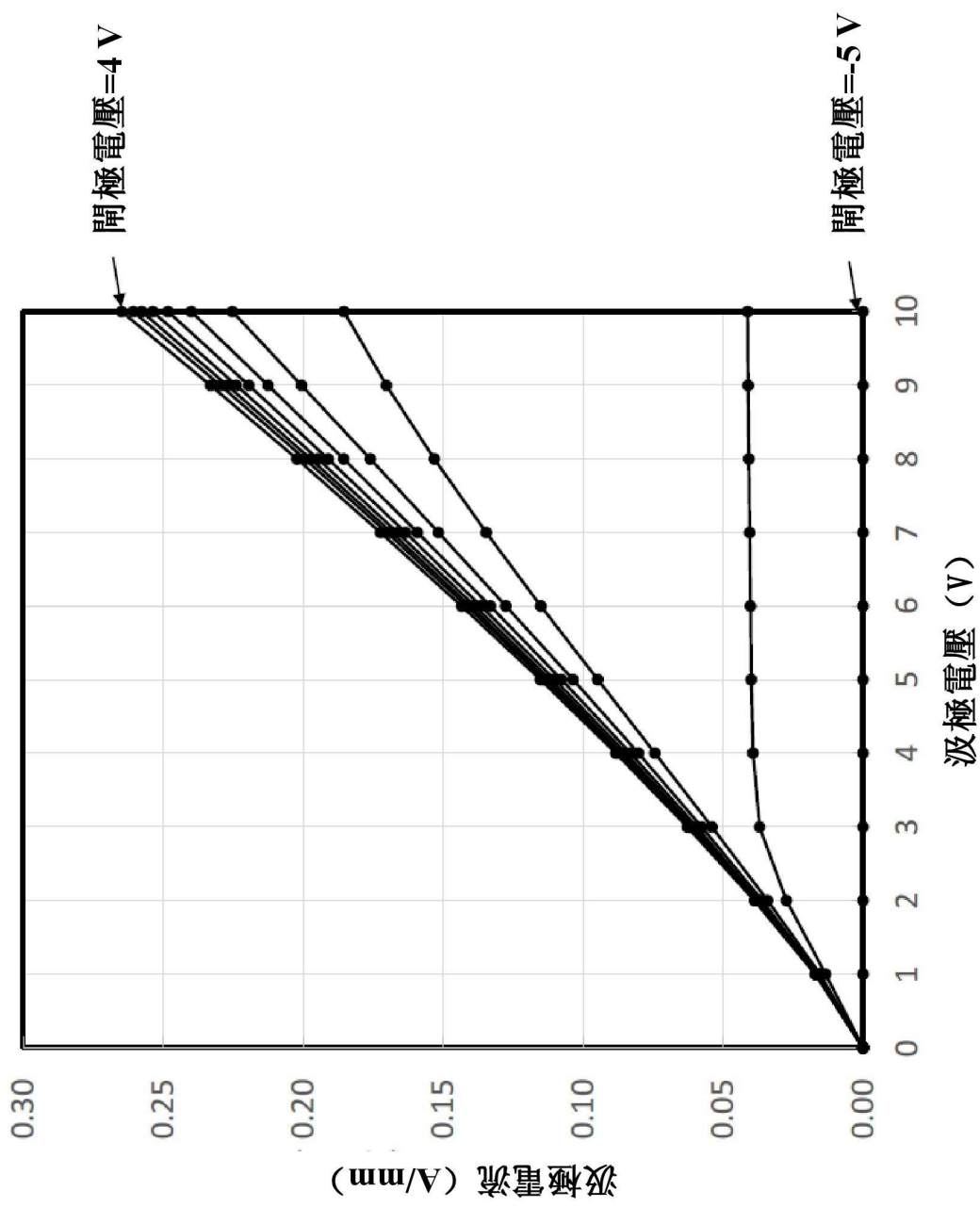
【圖1】

結構類別	符號	名稱	尺寸類別	尺寸 (μm)	材料	摻質濃度 (cm ⁻³)	備註
層結構	101	漂移層	厚度	2	n型GaN層	1x10 ¹⁵	
	102	阻擋層		0.4	p型GaN層	1x10 ¹⁷	
	104	第一氮化物半導體層		0.2	GaN層	1x10 ¹⁵	尺寸為p型GaN層上的部分
	105	第二氮化物半導體層		0.01	AlGaN層	0	AlN混晶比=0.3
	106	第一絕緣膜		0.01	氧化矽	-	
	107	第二絕緣膜		0.01	氮化矽	-	
	108	第三絕緣膜		0.01	氧化矽	-	
	118	a		2	-	-	
佈局	119	b	開口部 (103) 寬度	1	-	-	
			通道區域寬度				
	120	c	閘極源極間距離	1	-	-	

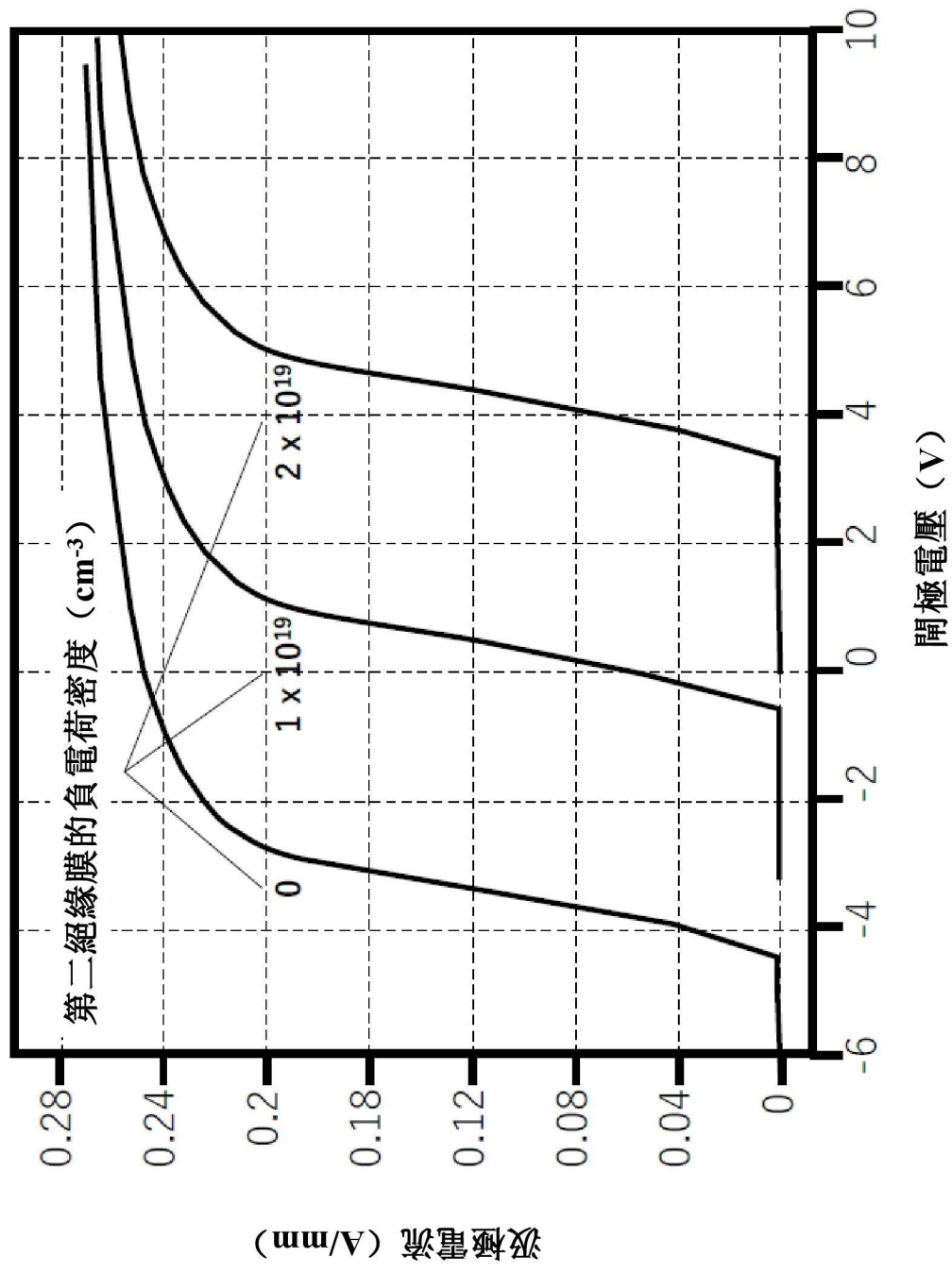
【圖2】



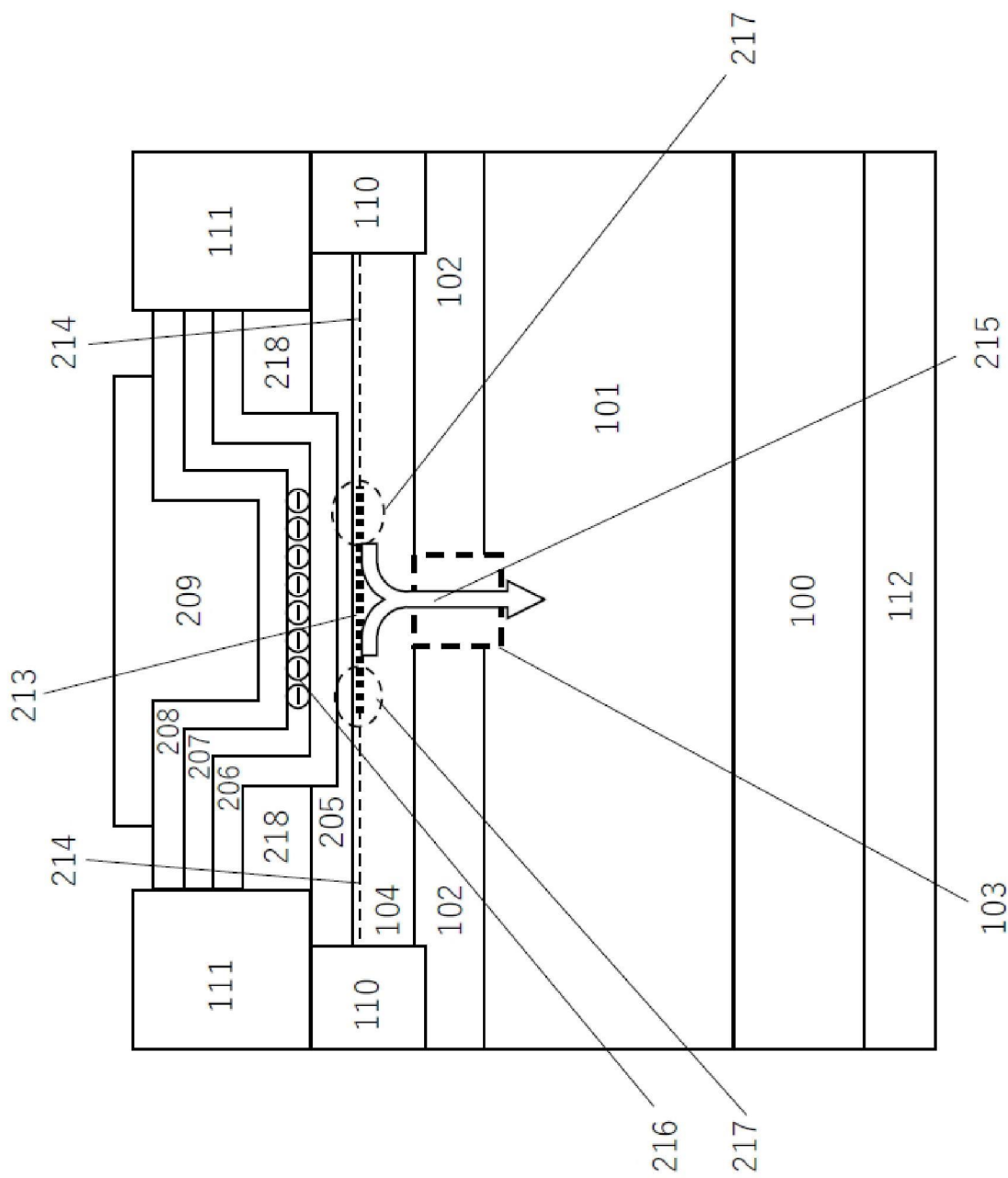
【圖3】



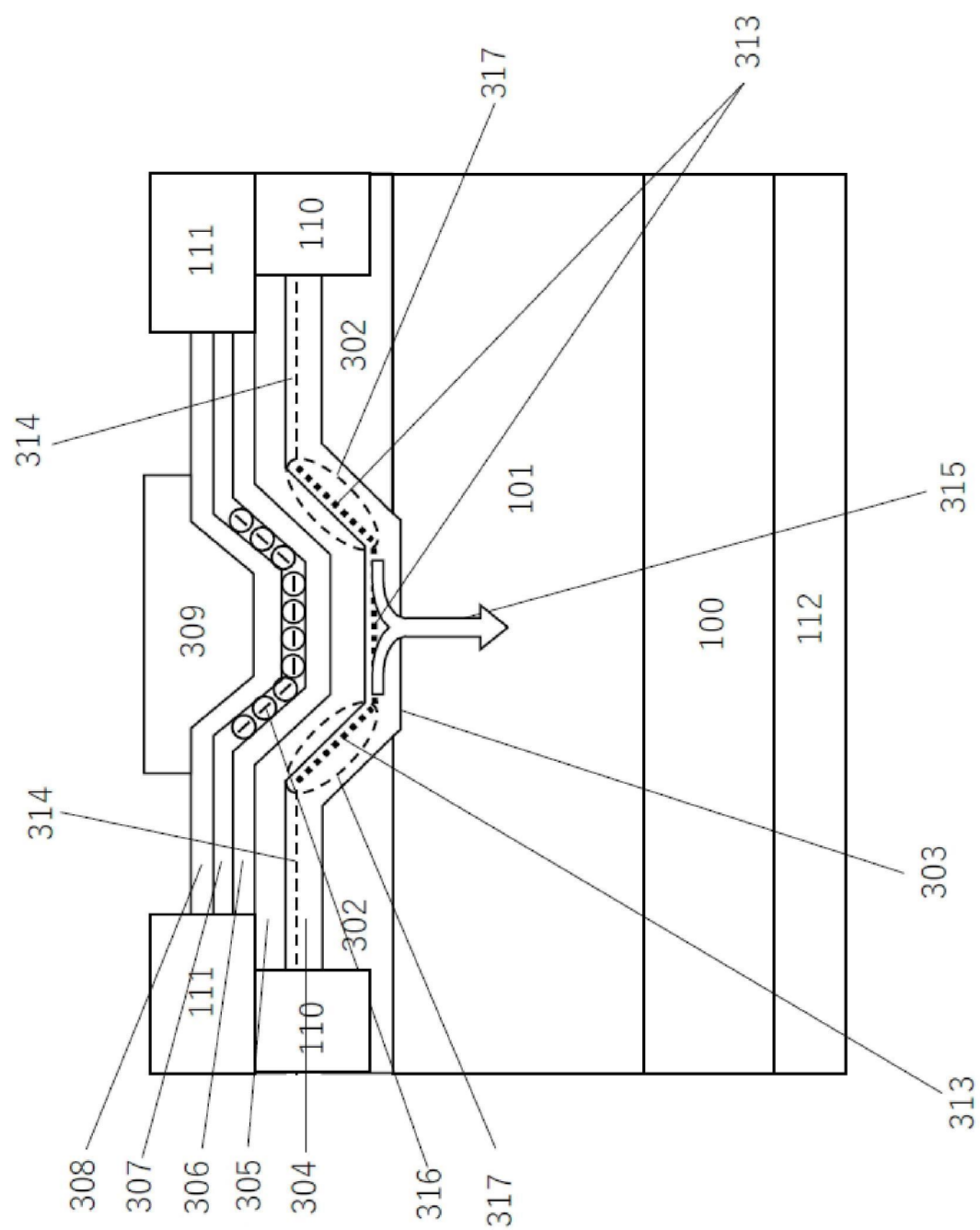
【圖4】



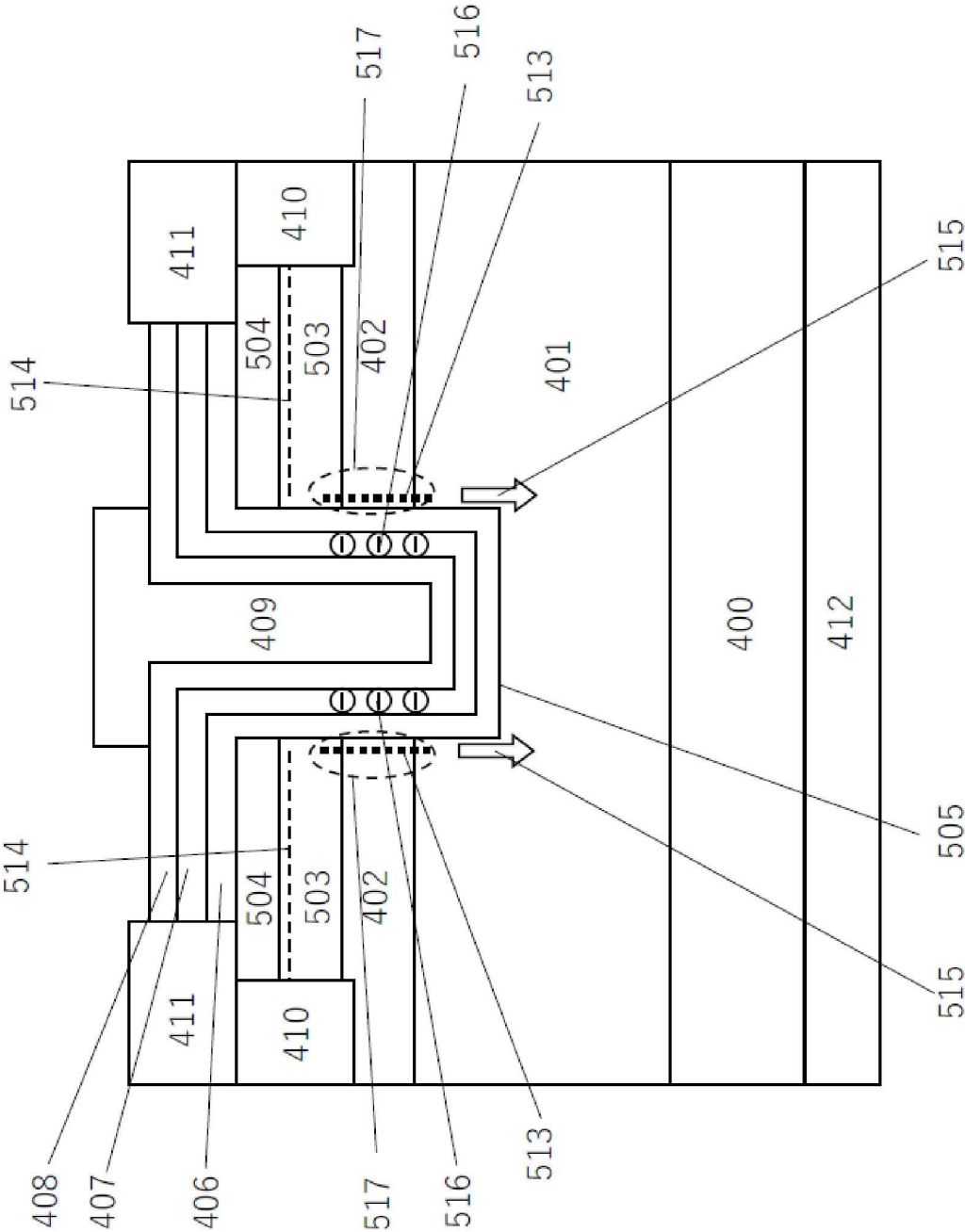
【圖5】



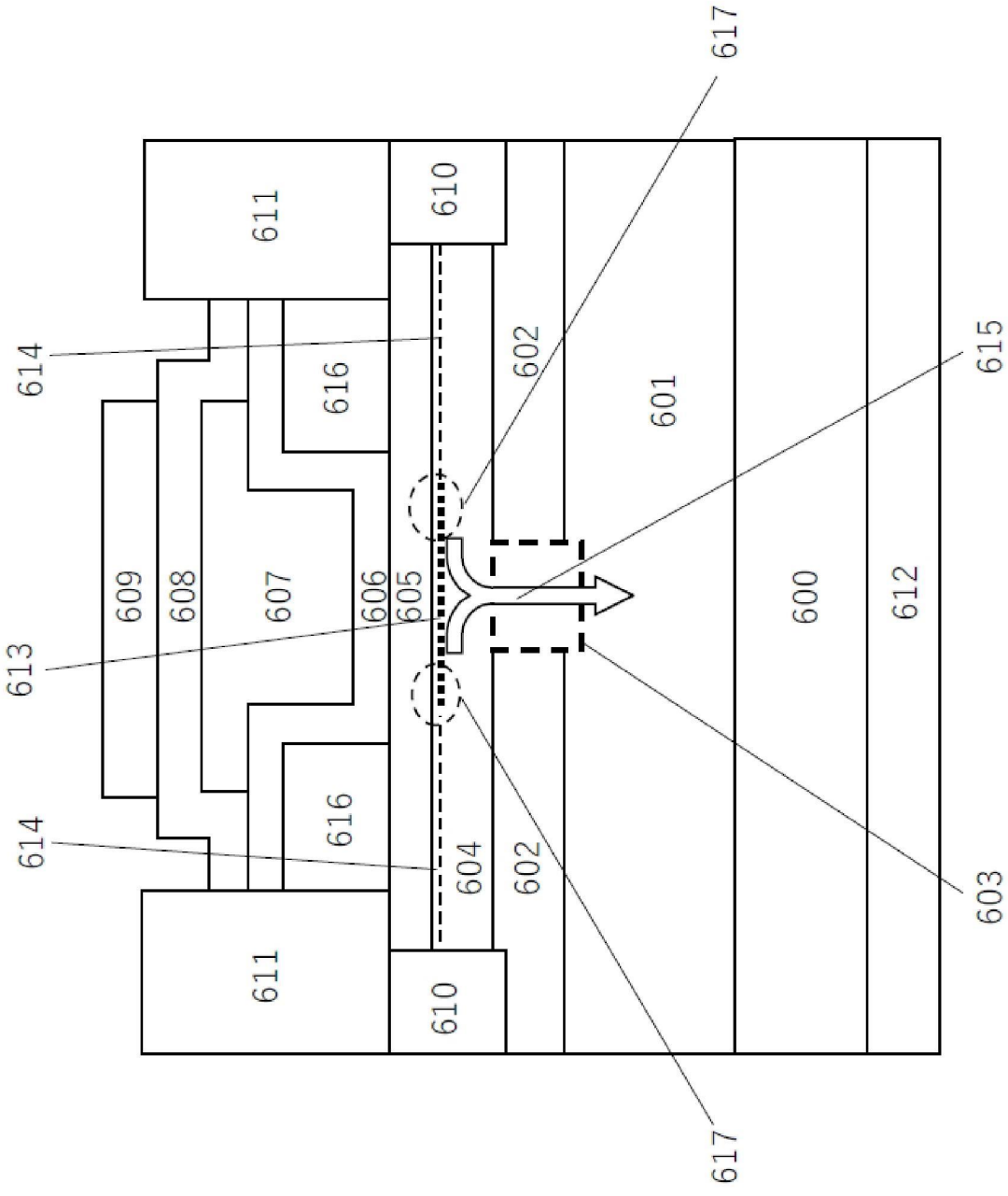
【圖6】



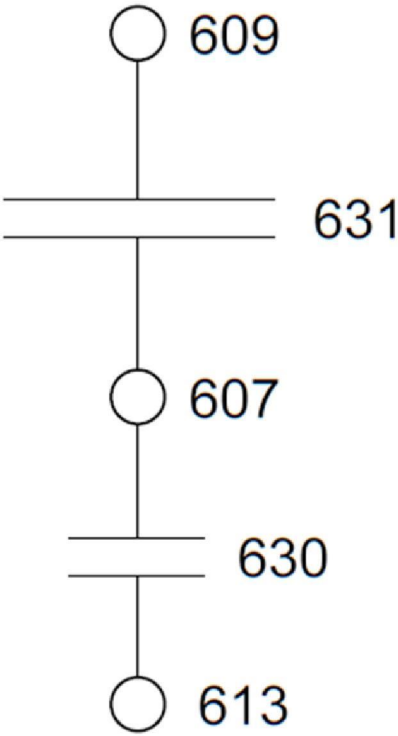
【7回】



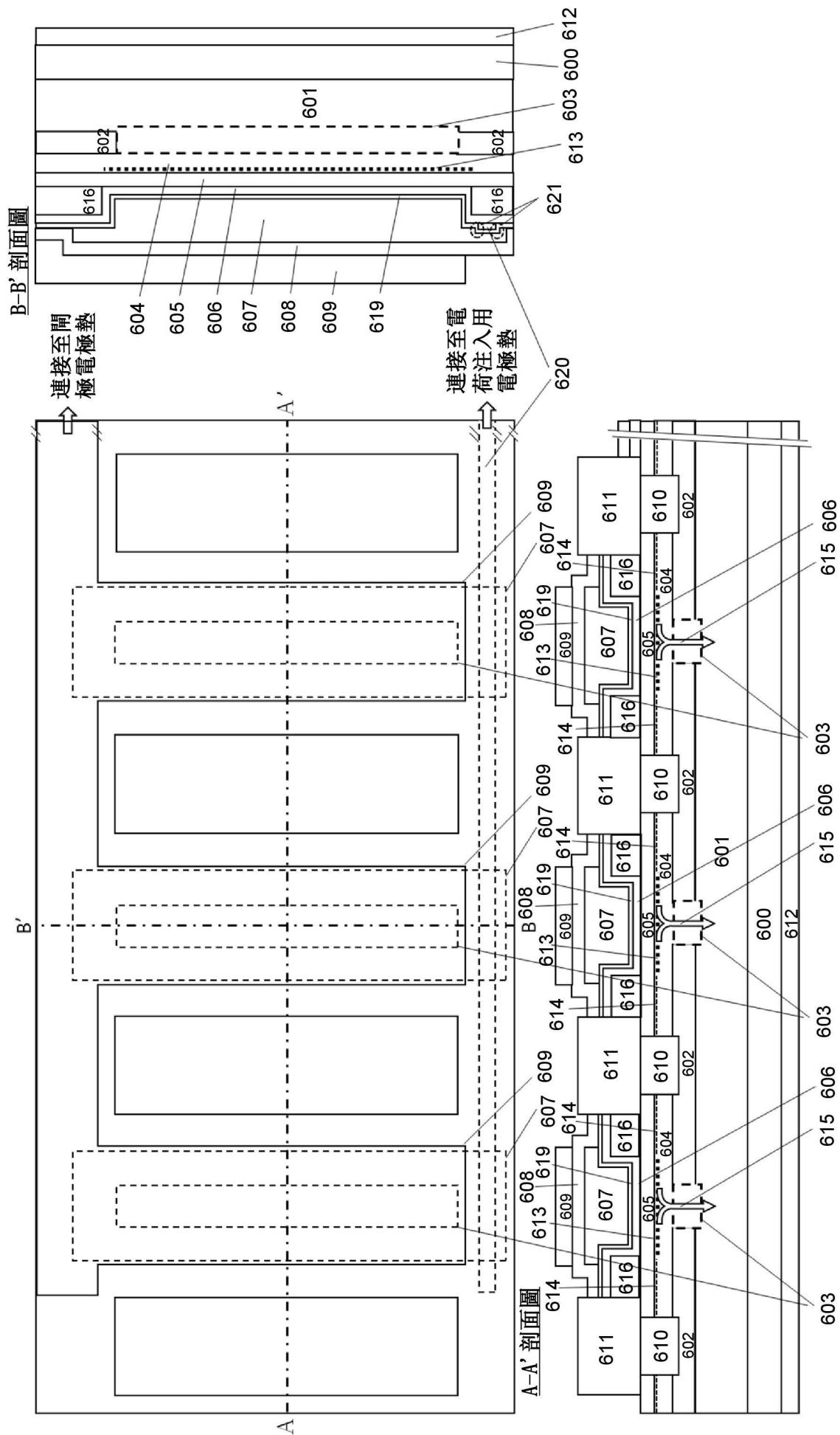
【圖9】



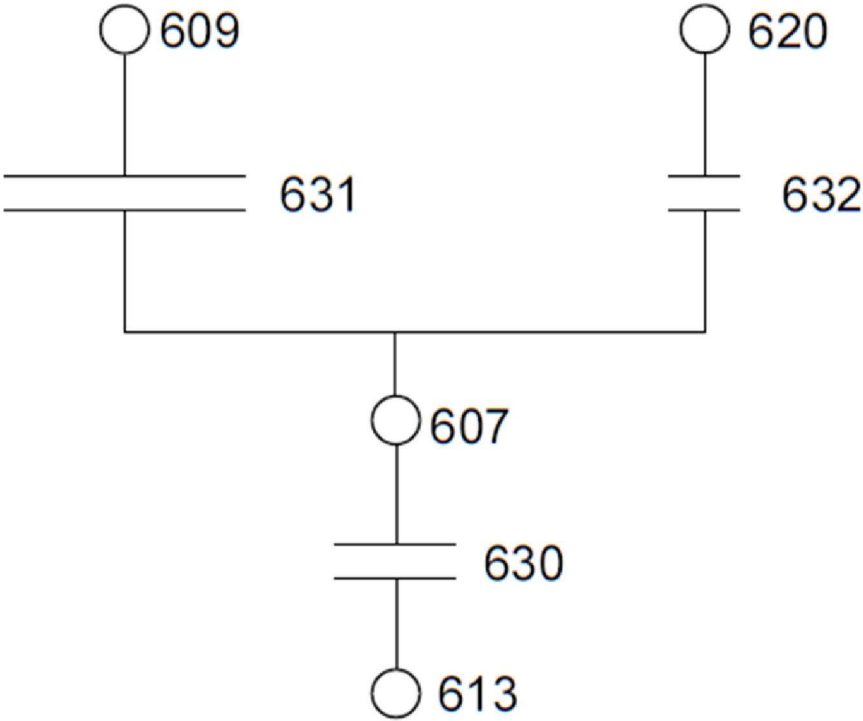
【圖10】



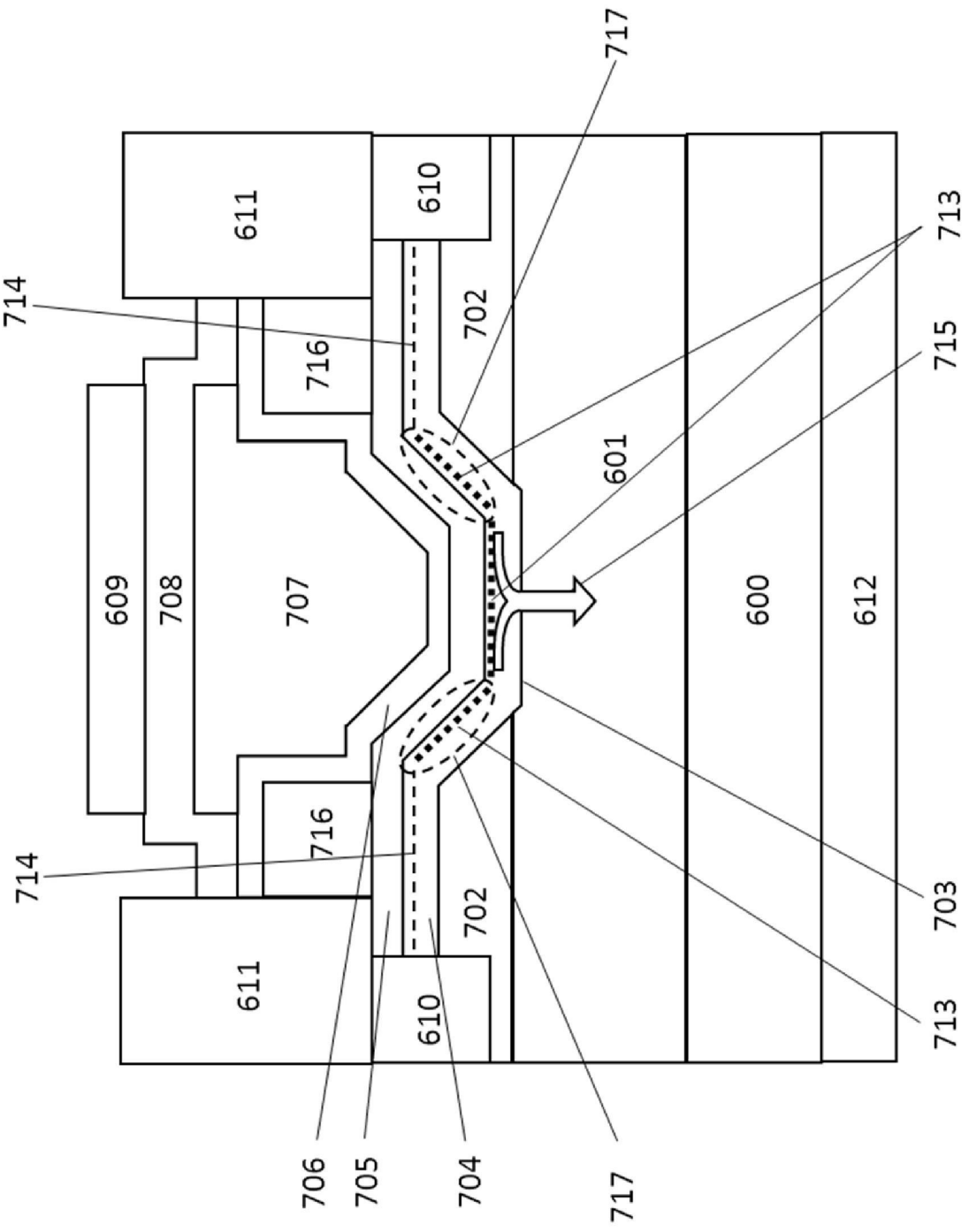
【圖11】



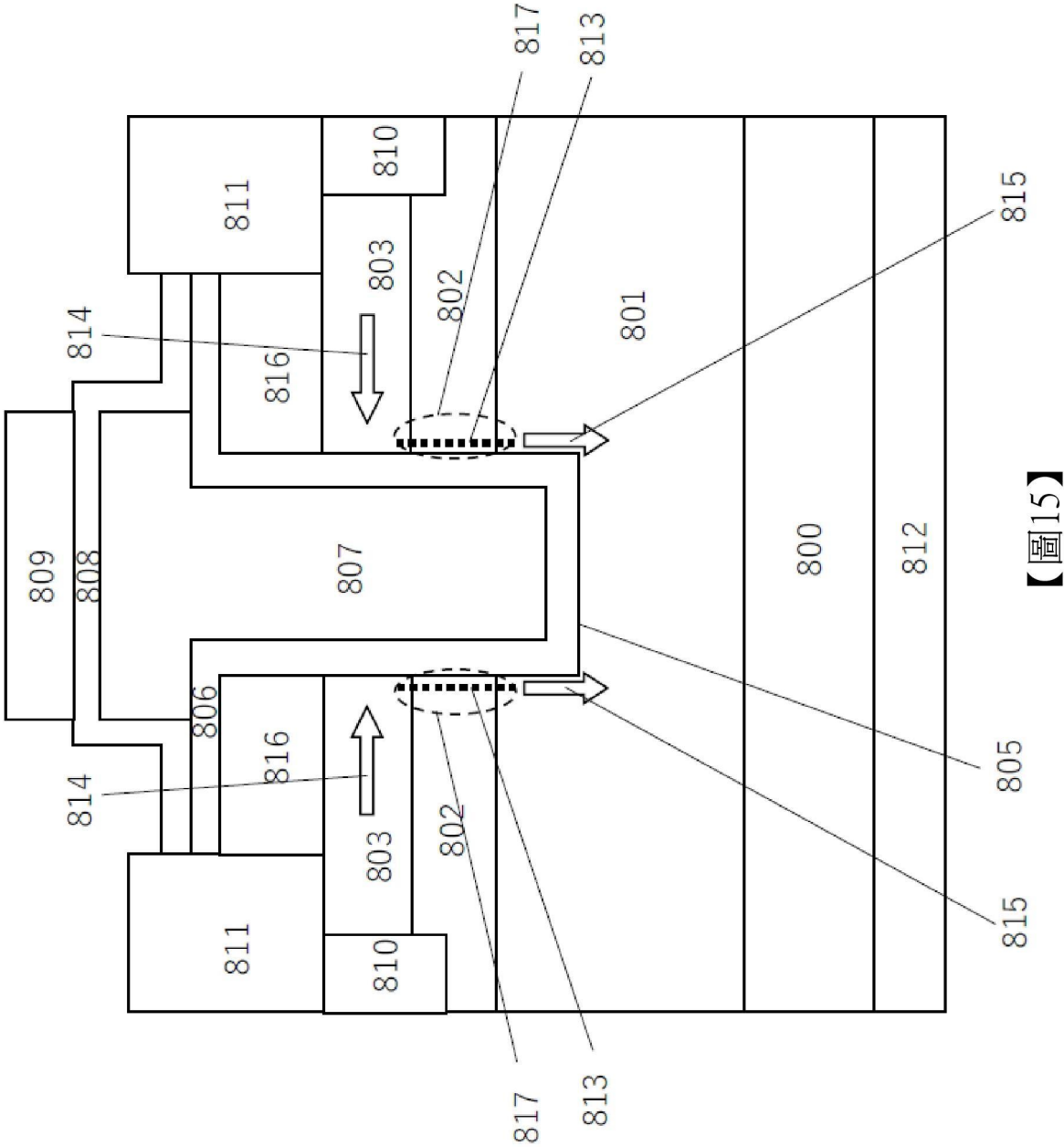
【圖12】



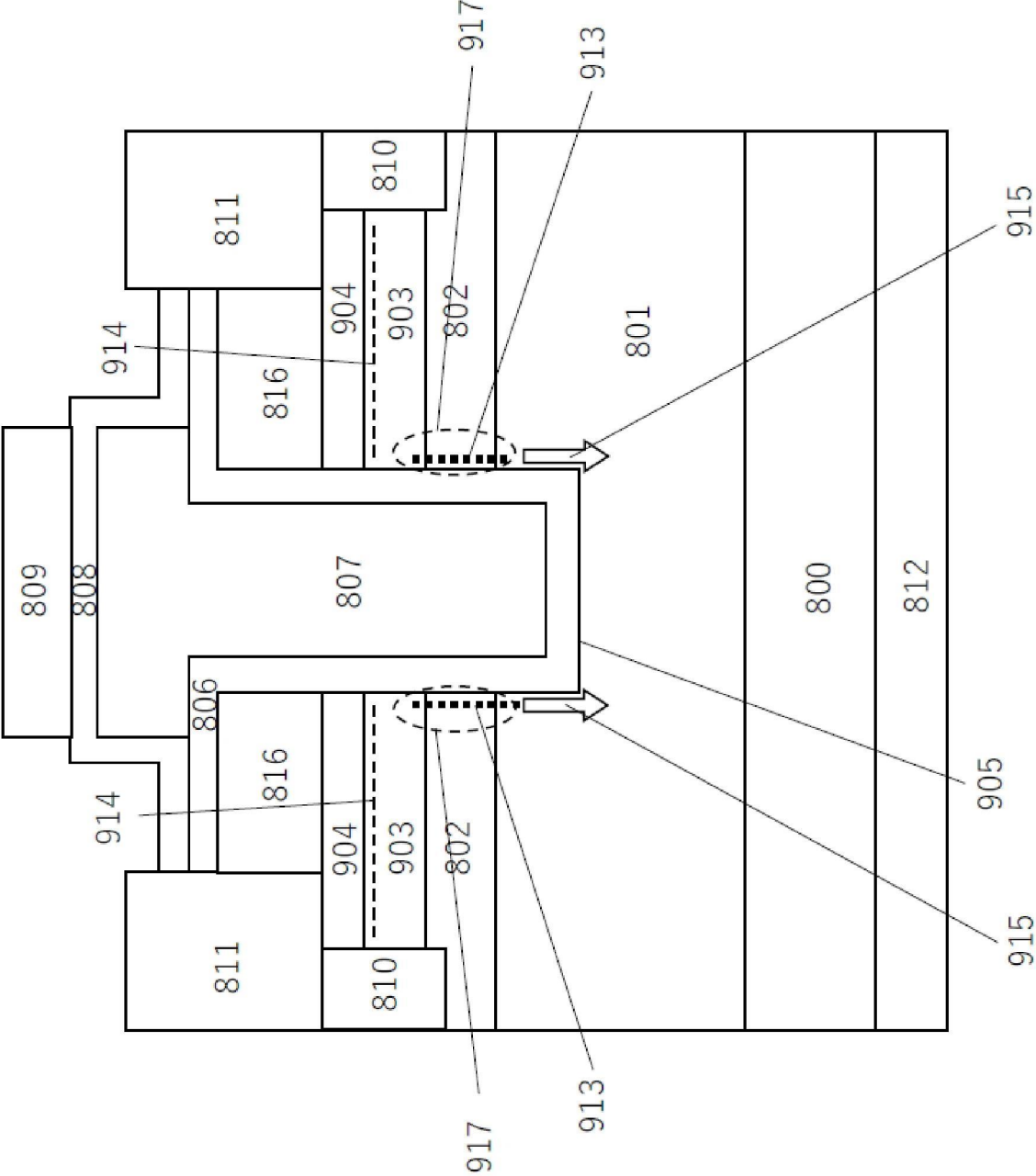
【圖13】



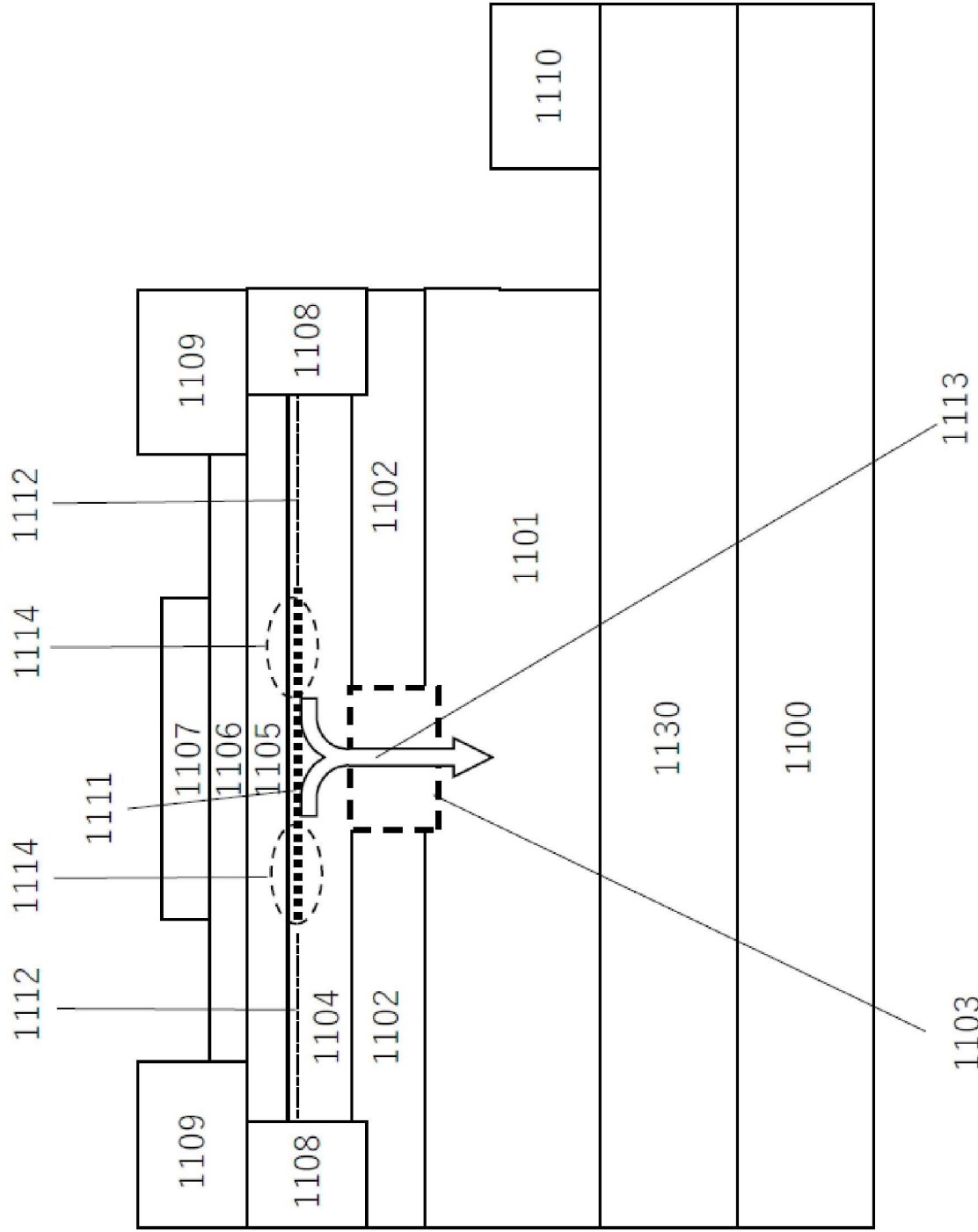
【圖14】



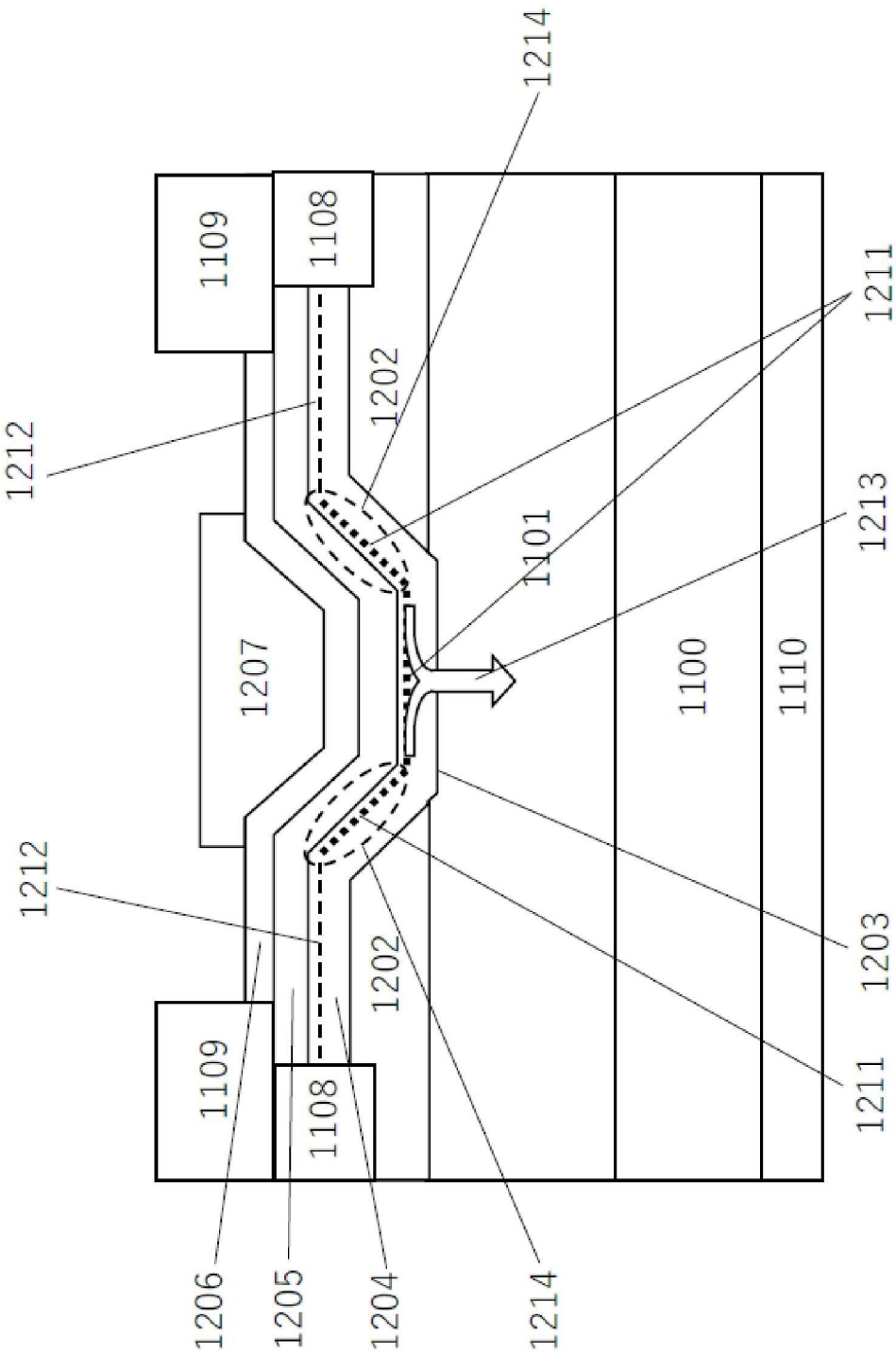
【圖15】



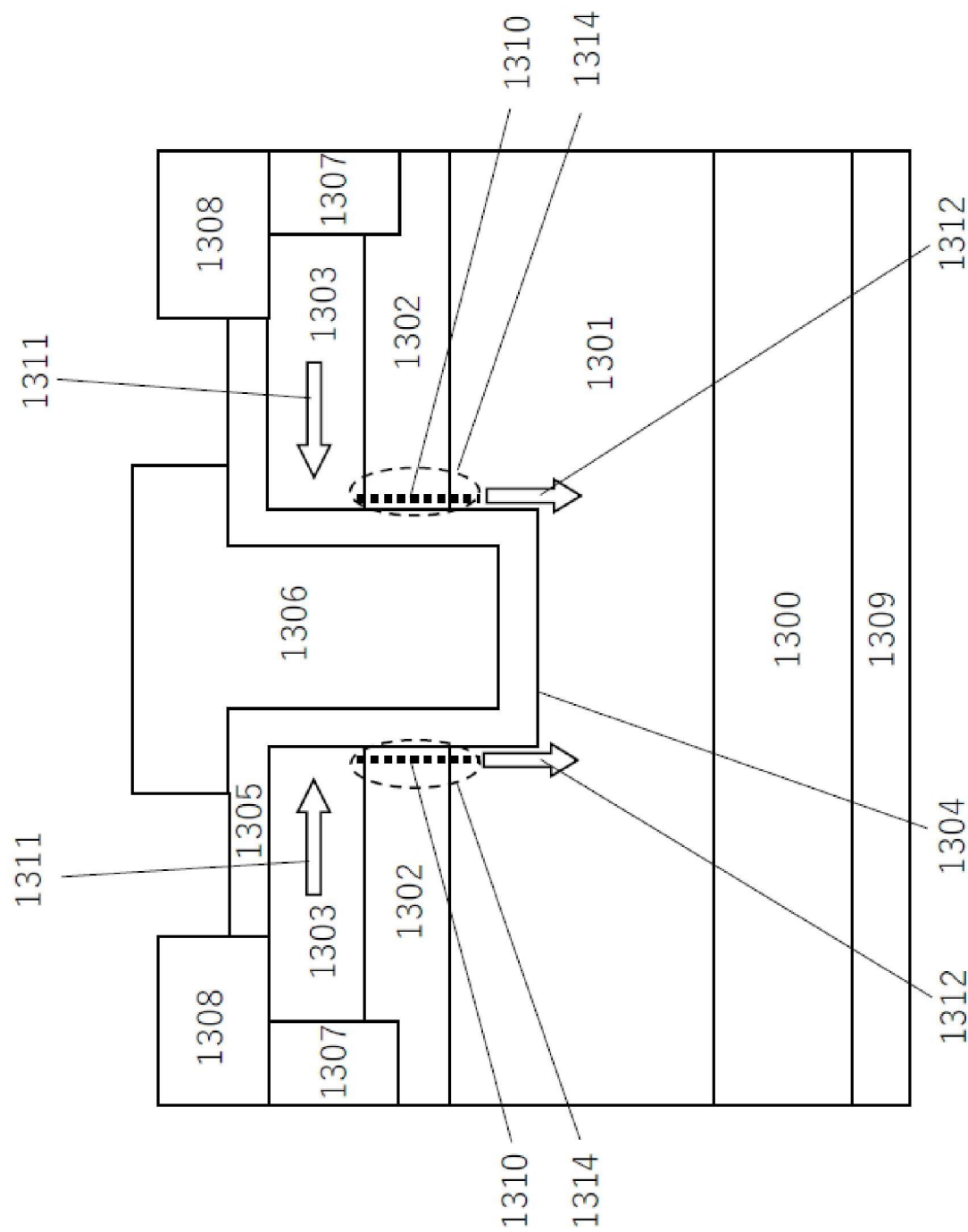
【圖16】



【圖17(b)】



【圖18】



【圖19】