

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6624778号
(P6624778)

(45) 発行日 令和1年12月25日 (2019. 12. 25)

(24) 登録日 令和1年12月6日 (2019.12.6)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 29/78 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 5 2 H
HO 1 L 29/06 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 5 3 A
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 5 2 P
HO 1 L 29/41 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 5 2 K
	HO 1 L 29/78 6 5 8 F
請求項の数 24 外国語出願 (全 12 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2014-248620 (P2014-248620)	(73) 特許権者	501315784
(22) 出願日	平成26年12月9日 (2014. 12. 9)		パワー・インテグレーションズ・インコーポレーテッド
(65) 公開番号	特開2015-115611 (P2015-115611A)		アメリカ合衆国・9 5 1 3 8・カリフォルニア州・サン ホセ・ヘリヤー アベニュー・5 2 4 5
(43) 公開日	平成27年6月22日 (2015. 6. 22)	(74) 代理人	100100181
審査請求日	平成29年12月8日 (2017. 12. 8)		弁理士 阿部 正博
(31) 優先権主張番号	61/915, 772	(74) 復代理人	100125818
(32) 優先日	平成25年12月13日 (2013. 12. 13)		弁理士 立原 聡
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	ソリン ステファン ジョージェスク
(31) 優先権主張番号	14/520, 527		アメリカ合衆国 9 5 1 3 6 カリフォルニア州 サン ホセ、 パーク エセック ス プレイス 9 9
(32) 優先日	平成26年10月22日 (2014. 10. 22)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 円柱形領域をもつ縦型トランジスタ装置構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の導電型の半導体層と、

前記半導体層に配設された複数の円柱形誘電体領域であって、

前記円柱形誘電体領域が、前記半導体層の上面から下方に縦方向に延在し、前記円柱形誘電体領域のうちの隣接している前記円柱形誘電体領域が、前記半導体層の第 1 の幅をもつ狭い領域により共通の直径方向の軸に沿って横方向に分離され、

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、前記円柱形誘電体領域内の中心に配設された円柱形導電性フィールドプレート部材を有し、前記円柱形導電性フィールドプレート部材が、前記上面から下方に前記円柱形誘電体領域の底部付近まで前記縦方向に延在し、前記円柱形誘電体領域が、前記円柱形導電性フィールドプレート部材を前記狭い領域から横方向に分離する、

前記複数の円柱形誘電体領域と、

前記狭い領域の上面に配設された前記第 1 の導電型のソース領域と、

前記半導体層の下方に配設された前記第 1 の導電型のドレイン領域と、

第 2 の導電型の本体領域であって、

前記本体領域が、前記ソース領域を前記狭い領域の下部から分離し、

前記下部が、ドリフト領域を含む、

前記本体領域と、

を備えた縦型パワートランジスタ装置であって、

前記縦型パワートランジスタ装置のセルが、三つ組の隣接している前記円柱形誘電体領域を三角形構成で備え、誘電体により充填された溝が、前記三つ組の前記隣接している円柱形誘電体領域の間に形成された、

前記縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 2】

前記円柱形誘電体領域の横幅が、前記円柱形導電性フィールドプレート部材を前記狭い領域から分離し、前記横幅が、前記円柱形導電性フィールドプレート部材の厚さに沿ったすべての位置で実質的に同じである、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 3】

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、さらに、前記円柱形誘電体領域内において前記狭い領域と前記円柱形導電性フィールドプレート部材との間に配設されたゲート部材を含む、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

10

【請求項 4】

前記半導体層の前記上面に配設されたプレーナ構造のゲート部材と、
前記半導体層から前記ゲート部材を分離する誘電体層と、
をさらに備える、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 5】

前記円柱形導電性フィールドプレート部材のそれぞれが、多結晶シリコンを含む、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 6】

20

基板をさらに備え、前記半導体層が、前記基板に配設されたエピタキシャル層を含む、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 7】

前記基板が、前記第 1 の導電型である、請求項 6 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 8】

前記基板が、第 2 の導電型である、請求項 6 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 9】

前記第 1 の導電型が、n 型を含む、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 10】

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、前記ドレイン領域内へと下方に延在する、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

30

【請求項 11】

前記ドリフト領域のドーピング濃度が、前記本体領域付近から下方に前記ドリフト領域の底部付近まで変化している、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 12】

前記ドリフト領域が、ドーピング分布に濃度勾配のあるエピタキシャル層を有する、請求項 1 の縦型パワートランジスタ装置。

【請求項 13】

前記ドーピング濃度が、前記ドリフト領域の前記底部付近で最も高い、請求項 11 の縦型パワートランジスタ装置。

40

【請求項 14】

基板と、

前記基板に配設された三角形配置で並ぶ円柱形誘電体領域の配列であって、

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、半導体層の上面から下方に縦方向に延在し、前記円柱形誘電体領域のうちの隣接している前記円柱形誘電体領域が、前記基板の第 1 の幅をもつ狭い領域により、共通の直径方向の軸に沿って横方向に分離されており、

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、前記円柱形誘電体領域の中心に配設された円柱形導電性フィールドプレート部材を有し、前記円柱形導電性フィールドプレート部材が、前記上面から下方に前記円柱形誘電体領域の底部付近まで縦方向に延在し、前記円柱形誘電体領域が、前記円柱形導電性フィールドプレート部材を前記狭い領域から横方向に分離

50

する、前記円柱形誘電体領域の配列と、
前記狭い領域の上面に配設されたソースと、
前記基板の底部に配設されたドレインと、
前記ソースを前記狭い領域の下部から分離する本体領域であって、
前記下部が、ドリフト領域を有する、
前記本体領域と、
を備えた高電圧トランジスタであって、
前記高電圧トランジスタのセルが、三つ組の隣接している前記円柱形誘電体領域を三角形構成で備え、誘電体により充填された溝が、前記三つ組の前記隣接している円柱形誘電体領域の間に形成された、
前記高電圧トランジスタ。

10

【請求項 15】

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、さらに、前記円柱形誘電体領域内において前記狭い領域と前記円柱形導電性フィールドプレート部材との間に配設されたゲート部材を含む、請求項 14 の高電圧トランジスタ。

【請求項 16】

前記半導体層の前記上面に配設されたプレーナ構造のゲート部材と、
前記半導体層から前記ゲート部材を分離する誘電体層と、
をさらに備える、請求項 14 の高電圧トランジスタ。

【請求項 17】

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、酸化物を含む、請求項 14 の高電圧トランジスタ。

20

【請求項 18】

前記第 1 の幅が、約 1 マイクロメートルから 2 マイクロメートル幅の範囲である、請求項 14 の高電圧トランジスタ。

【請求項 19】

前記狭い領域のドーピング濃度が、約 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ から約 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の範囲である、請求項 14 の高電圧トランジスタ。

【請求項 20】

前記円柱形誘電体領域のそれぞれが、前記ドレイン内へと下方に延在する、請求項 14 の高電圧トランジスタ。

30

【請求項 21】

第 1 の導電型の半導体基板に、前記半導体基板の狭い領域により横方向に分離された第 1 および第 2 の円柱形溝を形成することであって、前記第 1 および第 2 の円柱形溝のそれぞれが、前記半導体基板の上面から下方に縦方向に延在する、前記第 1 および第 2 の円柱形溝を形成することと、

前記第 1 および第 2 の円柱形溝のそれぞれの少なくとも一部に誘電体材料を充填することと、

前記第 1 および第 2 の円柱形溝の前記誘電体材料に、それぞれ導電性材料の第 1 および第 2 の円柱形フィールドプレートを形成することであって、前記第 1 および第 2 の円柱形フィールドプレートのそれぞれが、前記第 1 および第 2 の円柱形溝のそれぞれの中心に位置し、前記第 1 および第 2 の円柱形フィールドプレートのそれぞれが、前記半導体基板の前記上面付近から下方に前記第 1 および第 2 の円柱形溝のそれぞれの底部付近まで縦方向に延在する、前記第 1 および第 2 の円柱形フィールドプレートを形成することと、

40

前記狭い領域の上部にソース領域および本体領域を形成することであって、前記ソース領域が、前記第 1 の導電型であり、前記本体領域が、前記第 1 の導電型とは逆の第 2 の導電型であり、前記本体領域が、前記ソース領域を前記狭い領域の下部から分離し、前記狭い領域の前記下部が、ドリフト領域を有する、前記ソース領域および前記本体領域を形成することと、

前記本体領域に隣接した前記誘電体材料に埋設されたゲートを形成することであって、

50

前記ゲートが、前記本体領域および前記第 1 および第 2 の円柱形フィールドプレートから絶縁されている、前記ゲートを形成することと、
を含む、方法。

【請求項 2 2】

前記狭い領域の底部に前記第 1 の導電型のドレイン領域を形成することであって、前記ドレイン領域が前記ドリフト領域に接続される、前記ドレイン領域を形成することと、
前記ソース領域に接続されたソース電極を形成することと、
前記半導体基板に接続されたドレイン電極を形成することと、
をさらに含む、請求項 2 1 の方法。

【請求項 2 3】

前記誘電体材料が酸化物を含む、請求項 2 1 の方法。

【請求項 2 4】

前記第 1 の導電型が n 型である、請求項 2 1 の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の参照)

本出願は、「円柱形領域をもつ縦型トランジスタ装置構造」を発明の名称とする 2013 年 12 月 13 日出願の米国仮特許出願第 61/915,772 号に基づく優先権および利益を主張し、同出願の全体を参照により本明細書に援用する。

【0002】

本開示は、シリコン基板に製造される半導体装置に関する。より具体的には、本発明は、高電圧に耐えることが可能な縦型電界効果トランジスタ装置構造に関する。

【背景技術】

【0003】

高電圧電界効果トランジスタ (HVFET; high-voltage, field-effect transistor) は、パワートランジスタとも呼ばれ、半導体分野でよく知られている。ほとんどの場合、HVFET は、装置が「オフ」状態のときに印加される高電圧に耐える拡張ドレイン領域をもつ縦型トランジスタ装置構造を備える。この種の HVFET は、一般に、オフライン電源、モータ制御などのための交流/直流変換器などの電力変換用途で使用される。これらのパワートランジスタ装置は、高電圧でスイッチング可能であり、さらに、「オフ」状態で高い阻止電圧を達成可能であり、同時に、「オン」状態での、ドレインとソースとの間の電流に対する抵抗 (オン抵抗率 ($R_{ds, on}$) と呼ばれることが多い) を最小化できる。

【0004】

以下の図を参照しながら、本発明の非限定のおよび非網羅的な実施形態について説明する。説明中、異なる指定がされていない限り、様々な図を通して、同様の参照番号は同様の部分を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図 1】図 1 は、例示的な円柱形領域をもつ縦型トランジスタ装置構造の断面斜視図である。

【図 2】図 2 は、図 1 に示す縦型トランジスタ装置構造の例示的な配置の上面図である。

【図 3 A】図 3 A は、図 2 に示す縦型トランジスタ装置構造の配置の、切断線 A - A' に沿って切断された一実施形態の例示的な断面側面図である。

【図 3 B】図 3 B は、図 2 に示す縦型トランジスタ装置構造の配置の、切断線 A - A' に沿って切断された別の実施形態の例示的な断面側面図である。

【図 4】図 4 は、図 3 A の実施形態の断面側面図、および、装置の様々な領域における電界 (E-field) 分布を示すグラフである。

【図 5】図 5 A ~ 5 B は、例示的な縦型トランジスタ装置についての、異なるドーピング

10

20

30

40

50

条件および電圧条件での、距離の関数としての等電位線を示すシミュレーション結果である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

図面のいくつかの図にわたり、対応する参照符号は、対応する構成要素を示す。当業者は、図中の要素が簡潔かつ明確であるように描かれていること、ならびに、必ずしも一定の縮尺で描かれているわけではないことを理解するだろう。例えば、図中のいくつかの要素の寸法は、本発明の様々な実施形態がより理解しやすくなるように、他の要素に比べて誇張されている場合がある。また、市販に適した実施形態で有用または必要である、一般的であるがよく理解されている要素は、本発明に係るこれらの様々な実施形態の図が見づらくなならないように、描かれていないことが多い。

10

【0007】

以下の説明では、本発明を十分に理解できるように、具体的な詳細事項を数多く記載している。しかし、当業者であれば、本発明を実施するために、具体的な詳細事項を用いる必要がないことが明らかだろう。他の例では、よく知られたシステム、装置または方法は、本発明の理解を妨げないように、詳細には説明されていない。

【0008】

本明細書中の「一実施形態 (one embodiment)」、「一実施形態 (an embodiment)」、「一実施例 (one example)」または「一実施例 (an example)」に対する参照は、実施形態または実施例に関連して説明されている特定の特徵、構造または特性が、本発明の少なくとも1つの実施形態に含まれることを意味する。従って、本明細書中の様々な場所に記載された「一実施形態における (in one embodiment)」、「一実施形態における (in an embodiment)」、「一実施例 (one example)」または「一実施例 (an example)」という句は、必ずしもすべてが同じ実施形態または実施例を参照しているわけではない。さらに、特定の特徵、構造または特性が、1以上の実施形態または実施例において、任意の適切な組み合わせ、および/または、部分的組み合わせで一体化されていてもよい。特定の特徵、構造または特性が、集積回路、電子回路、結合論理回路、または、説明されている機能を提供する他の適切な構成要素に含まれていてもよい。加えて、本明細書と共に提供される図面が当業者への説明を目的としていること、および、図面が必ずしも一定の縮尺で描かれているわけではないことが理解される。

20

30

【0009】

本開示の目的において、「グランド」または「地電位」は基準電圧または基準電位を指し、この基準電圧または基準電位に対して回路または集積回路 (IC; integrated circuit) の他のすべての電圧または電位が、定義または測定される。

【0010】

円柱形領域をもつ縦型パワートランジスタ装置構造が説明されている。縦型パワートランジスタ装置構造は、オン状態の抵抗率が低く、さらにオフ状態で高電圧に耐える。他の実施形態において、PNダイオード、高電圧ショットキーダイオード、接合型電界効果トランジスタ (JFET; junction field-effect transistor)、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT; insulated-gate bipolar transistor) および同等のものを含む様々な異なる装置を実装するため、同じ装置構造および配置が使用されてもよい。

40

【0011】

高電圧縦型パワートランジスタは、中心の半導体柱またはメサの周囲の電界を作り変えることにより絶縁破壊電圧を高めるのに役立つフィールドプレートを使用してもよい。本出願で説明されている縦型パワートランジスタ装置内の様々な領域の円柱形構造により、大きさを小さくできると共に、定格電圧を高くすることができ、さらにシリコンの体積を効果的に利用できる。

【0012】

50

図 1 は、円柱形領域をもつ縦型トランジスタ装置 1 0 0 の例示的な断面斜視図である。図 1 の縦型トランジスタ装置構造は、一実施形態において N 型エピタキシャル層を含む半導体層 1 0 5 (例えば、シリコン) 中に配設された複数の円柱形誘電体領域 1 3 0 (例えば、酸化物) を含む。一実施形態において多結晶シリコンを含む円柱形導電性フィールドプレート部材 1 5 0 が、各領域 1 3 0 (例えば、酸化物の誘電体領域) 内の中心に配設され、さらに半導体層 1 0 5 から十分に絶縁されている。円柱形誘電体領域 1 3 0 は、互いにずれた位置にある隣接した列からなる配置で並んでいるので、同じ長さの破線 1 5 5 A、1 5 5 B および 1 5 5 C で描かれているように、任意の 2 つの隣接した円柱形誘電体領域 1 3 0 間の横方向距離は、領域 1 3 0 の誘電体材料と層 1 0 5 の半導体材料との間の側壁界面に沿ったすべての位置で等しいことに注意されたい。

10

【0013】

図 1 に示すように、円柱形誘電体領域 1 3 0 は、半導体層 1 0 5 の上面から下方に基板 (図示せず) に向けて、縦方向に延在している。円柱形誘電体領域 1 3 0 のうちの隣接しているものは、半導体層 1 0 5 の狭い領域により、共通の直径方向の軸に沿って横方向に分離されている。隣接した各組の誘電体領域 1 3 0 を分離するこの狭い領域は、縦方向に下方に延在する酸化物とシリコンとの界面に沿ったすべての位置で横幅が一定である。一実施形態では、この狭い領域は、エピタキシャル工程によって形成される縦型パワー電界効果トランジスタの拡張ドレインまたはドリフト領域を含む。ドリフト領域、誘電体層 1 3 0、およびフィールドプレート部材 1 5 0 は、集散的に、オン状態での電流の方向に直交する横方向に延在する並列積層構造を構成している。

20

【0014】

図 1 に示す装置構造 1 0 0 内では、最も近い任意の 3 つの横方向に隣接した誘電体領域 1 3 0 が三つ組の円柱形誘電体領域を構成していること、すなわち、最も近い任意の 3 つの円柱形誘電体領域 1 3 0 の配置が三角形パターンの並びであることに注意されたい。図 1 は、この三角形配置構成を、3 つの最も近いフィールドプレート部材 1 5 0 の中心からつながる、正三角形を形成する同じ長さの破線 1 5 5 A、1 5 5 B および 1 5 5 C を使用して示している。

【0015】

一実施形態では、円柱形誘電体領域 1 3 0 のそれぞれは、半導体層 1 0 5 内へ深溝を第 1 エッチングすることによって形成されてもよい。次に、溝は、誘電体材料 (例えば、二酸化ケイ素) で充填される。円柱形フィールドプレート部材 1 5 0 は、同様のマスキング、エッチング、および充填ステップにより形成されてもよい。図 1 の例では、MOSFET 装置のソース電極は、半導体層 1 0 5 の上面に配設されていてもよく、さらに、ドレイン電極は、半導体層 1 0 5 の底面に配設されていてもよい。

30

【0016】

図 2 は、図 1 に示す縦型トランジスタ装置構造の、例示的な配置 2 0 0 の上面図である。この図では、円柱形誘電体領域 2 3 0 の配列が、半導体層 (例えば、シリコン) の上面 (ソース) 2 2 0 付近において、位置のずれた列で構成されている。円柱形フィールドプレート部材 2 5 0 は、円柱形誘電体領域 2 3 0 のそれぞれの中心に配設されている。配置 2 0 0 がさらに示すように、円柱形誘電体領域 2 3 0 のそれぞれが、さらに、半導体材料と円柱形導電性フィールドプレート部材 2 5 0 との間の、円柱形誘電体領域 2 3 0 中の溝内に配設されている横方向に延在した環状ゲート部材 2 4 0 を含む。薄いゲート酸化物は、ゲート部材 2 4 0 を半導体層の上面 2 2 0 から分離する。

40

【0017】

当業者は、異なる実施形態において、ゲート部材 2 4 0 が上面 2 2 0 の部分にプレーナ構造で形成されてもよく、誘電体 (例えば、二酸化ケイ素) の薄い層でゲート部材 2 4 0 のそれぞれを半導体層から分離してもよいことを理解する。

【0018】

図 2 に示すように、隣接した 3 つの円柱形誘電体領域 2 3 0 のそれぞれの間に、比較的大きなシリコン領域 (破線 2 1 0 で示す) が形成される。内側に位置する円柱形誘電体領

50

域 2 3 0 のそれぞれが、他の 6 つの円柱形誘電体領域 2 3 0 と、円柱形誘電体領域 2 3 0 のそれぞれの周囲で異なる横方向に配設された 6 つの狭い導電チャネルと、により囲まれている。特定の実施形態では、破線 2 1 0 で示されるシリコン領域は、溝が掘られ、誘電体材料（例えば、酸化物、窒化物など）で充填されていてもよい。これらの追加的な誘電体で充填された溝は、上面 2 2 0 から、厚みのある半導体層材料（例えば、シリコン）の途中の深さまで、縦方向に下方に延在する円柱形であってもよい

【 0 0 1 9 】

図 3 A は、図 2 に示す一実施形態の縦型トランジスタ装置構造の配置の、単一列の円柱誘電体領域 3 3 0 の切断線 A - A ' に沿って切断された例示的な断面側面図である。この例では、ゲート部材 3 4 0 は、それぞれ、誘電体材料（酸化物）の上面から、横方向に隣接する P 型本体領域 3 6 0 の底部のすぐ下の深さまで、縦方向に下方に延在する溝ゲート部材として示される。本体領域 3 6 0 のそれぞれが、N + ソース領域（上面）3 2 0 の下方に配設されている。従って、本体領域 3 6 0 は、ソース領域 3 2 0 を、シリコン柱 3 0 5 の拡張ドレインまたはドリフト領域から縦方向に分離する。示される実施形態では、ゲート部材 3 4 0 をフィールドプレート部材 3 5 0 から分離する比較的厚い内側の誘電体領域 3 3 0 A と、ゲート部材 3 4 0（例えば、多結晶シリコン）のそれぞれをソース領域 3 2 0、P 型本体領域 3 6 0、および柱 3 0 5 を含む半導体材料から十分に絶縁する比較的薄い層（例えば、酸化物）3 3 0 B と、を備える誘電体領域 3 3 0 が示されている。

【 0 0 2 0 】

図 3 A では、導電性フィールドプレート部材 3 5 0 が、円柱形誘電体領域 3 3 0 の中心に配設されている。環状ゲート部材 3 4 0 は、半導体材料（領域 3 2 0、3 6 0 および 3 0 5）と円柱形フィールドプレート部材 3 5 0 との間の誘電体領域 3 3 0 に配設される。示されるように、シリコン柱 3 0 5 は、それぞれの誘電体領域 3 3 0 の下方で横方向に延在しているシリコン材料により接続されている。N + ドープドレイン領域 3 7 0 は、シリコン柱 3 0 5 の底部の下方に配設されている。特定の実施形態では、シリコン柱のドーピング濃度は、濃度勾配エピタキシャル工程によって形成され、その結果、ドリフト領域のドーピング濃度は、縦方向深さに沿って、本体領域 3 6 0 のすぐ下から下方に N + ドープドレイン領域 3 7 0 付近まで高くなっていく。

【 0 0 2 1 】

図 3 A に示す縦型パワートランジスタの通常のオン状態の動作中、制御信号がゲート部材 3 4 0 に印加される。それに応答して、P 型本体領域 3 6 0 の側面に沿って、縦型導電チャネル領域が形成され、その結果、電流がソース領域 3 2 0 から下方に、P 型本体領域 3 6 0 の側面に沿って形成される導電チャネルを通して流れ、シリコン柱 3 0 5 の N 型ドリフト領域を通して N + ドレイン領域 3 7 0 に流れる。ドレイン領域 3 7 0 の底部に、ドレイン電極（図示せず）が形成されてもよい。

【 0 0 2 2 】

縦型トランジスタの技術状態において、それぞれのドレイン領域 3 7 0 とソース領域 3 2 0 との間に、典型的には、高電圧（例えば、1 0 0 V ~ 1 2 0 0 V）が印加される。（ソース領域 3 2 0 およびフィールドプレート部材 3 5 0 は、典型的には、接地される。）電圧が上昇するにつれて、狭いドリフト領域 3 0 5 の両側のフィールドプレート領域 3 5 0 の存在により、N 型ドリフト領域の自由キャリアが空乏状態となる。

【 0 0 2 3 】

図 3 B は、図 2 に示す縦型トランジスタ装置構造の配置の、切断線 A - A ' に沿って切断された別の実施形態の例示的な断面側面図である。図 3 B では円柱形誘電体領域 3 3 0 のそれぞれが、下方のドレイン領域 3 7 0 内まで下方に延在しているということ以外は、図 3 B の実施形態は図 3 A に示す実施形態と実質的に同じである。

【 0 0 2 4 】

さらに別の実施形態では、ドレイン領域 3 7 0 は、P 型基板の上部に配設されていてもよい。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

半導体分野の当業者は、本明細書に記載される縦型トランジスタ装置構造が、従来の縦型トランジスタ構造よりも装置性能を高めることを理解するだろう。装置の絶縁破壊中、絶縁破壊電圧は、主に誘電体（酸化物）層が耐える電圧として測定される、というのがその理由である。ここに開示される縦型トランジスタ装置構造の円柱形のシリコン - 酸化物 - ポリフィールドプレートによって、酸化物に沿って、より大きな電界が達成される。これは、主に、横方向すべての電界および円柱形誘電体領域に沿った電界が、対称的かつ均一な分布であることに起因している。従って、本明細書に記載されるトランジスタ装置構造は、より小さな寸法で、より少ない体積の誘電体（酸化物）材料を使用して、より高い絶縁破壊電圧を達成する。

【 0 0 2 6 】

10

図 4 は、図 3 A の実施形態の断面側面図と、装置の様々な領域における電界（ $E - field$ ）分布を示すグラフ（装置構造の下）である。図 4 では、誘電体領域 4 3 0 における横方向の電界強度が線 4 3 5 A で示されている。線 4 3 5 A は、フィールドプレートからシリコン柱 4 0 5 A の境界に向かう半径方向に沿ったフィールドプレートからの半径方向距離に対して反比例の傾向をみせる電界（ $E - field$ ）の変化 / 減少を示している $[E \sim 1 / (2 \times x)]$ 。この反比例の傾向は、円柱形誘電体領域 4 3 0 の横方向の境界に向かう外側への電気力線の広がりから起因する。図 4 では、この変動が曲線 4 3 5 A で示され、直線 4 3 5 B で示す従来の / 長方形構造の酸化物領域の横方向電界と比較されている。

【 0 0 2 7 】

20

シリコン柱 4 0 5 A 内の横方向の電界強度（電界軸 4 2 5 上）の変動が、直線 4 1 5 で示されている。柱 4 0 5 A と誘電体領域 4 3 0 との間の界面における電界強度は、値に飛び 4 1 8 があることに注意されたい。シリコン柱 4 0 5 A の狭い領域の幅は参照番号 4 0 2 で表記され、シリコン柱 4 1 5 とフィールドプレート部材（多結晶シリコン）4 5 0 との間の距離は参照番号 4 0 3 で表記される。一実施形態では、円柱形誘電体領域 4 3 0 は、約 1 . 5 ミクロンの横方向距離 4 0 2 だけ分離され、横方向酸化物厚さ 4 0 3 は、約 5 . 5 ミクロンである。

【 0 0 2 8 】

半導体分野の当業者は、ここに開示される新しい縦型装置構造が同じ絶縁破壊電圧でより大きな電界に耐えること、言い方を変えれば、より薄い横方向酸化物厚さ 4 5 0 で同じ電界を達成できることをさらに理解するだろう。これは、縦型トランジスタ装置構造が、より小さな酸化物領域でより良好な装置性能を達成し得ることを意味する。従来技術の縦型トランジスタ装置の配置に比べて酸化物領域がより小さいということは、シリコン領域がより大きいということであり、従って、 $R_{ds, on}$ がより小さいということである。さらに、同じ高い絶縁破壊電圧を実現するのに必要な酸化物がより薄いことに起因して、本明細書に記載される縦型装置構造を製造するのに必要な処理は、従来の縦型パワートランジスタ装置に比べて著しく削減および簡略化される。

30

【 0 0 2 9 】

図 5 A ~ 5 B は、円柱形構造をもち、半導体柱内に濃度勾配をつけてドーピングした例示的な縦型トランジスタ装置について、等電位線を、距離の関数として示すシミュレーション結果であり、ドリフト領域では、不純物のドーピング濃度が、本体領域のすぐ下から下方に、底部のドレイン領域（N + 基板）に向けて、縦方向深さに沿って徐々に変化（増大）している。図 5 A および図 5 B の二次元グラフは、それぞれ、多数キャリアに関して断面を十分に空乏状態にするピンチオフ電圧の場合の、特定の縦方向深さおよび特定のドーピング濃度における、特定の横方向断面での等電位線を示す。電気力線は、作成したシミュレーション結果に示されていないが、横方向電界は、示される等電位線から計算されてもよく、縦方向電界は、それぞれの断面のピンチオフ電圧および縦方向位置から計算されてもよい。シミュレーション結果は、円柱形誘電体領域が約 1 . 5 ミクロンの横方向距離 4 0 2 だけ分離され、横方向酸化物厚さ 4 0 3 が約 5 . 5 ミクロンである配置（図 4 参照）について示されていることに注意されたい。図 5 A の例示的なシミュレーション結果

40

50

では、ドーピング濃度が約 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ であり、ピンチオフ電圧が 70 V であるシリコン柱 / ドリフト領域 405 が示されている。図 5 B は、ドーピング濃度が約 $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ であり、ピンチオフ電圧が 120 V である例示的なシミュレーション結果を示す。一実施形態では、ドリフト領域のドーピング濃度は本体領域付近から下方に N + ドレイン領域付近まで、縦方向深さの関数として変化する。特定の実施形態では、ドーピング濃度は、ドリフト領域の上部付近の約 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ からドリフト領域の底部付近の約 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ まで変化し、ピンチオフ電圧は、70 V から 810 V まで変化する。

【0030】

図 5 A および図 5 B の二次元グラフは、それぞれ、濃度勾配のあるドーピングがなされた縦型装置の等電位線であって、シリコン柱 / ドリフト領域 405 の特定の縦方向深さでの、特定の横方向断面における、特定のドーピング濃度での、および、多数キャリアに関して断面を十分に空乏状態にするピンチオフ電圧での、等電位線を示す。図 5 A では、フィールドプレート部材 450 は、三つ組配置で、誘電体領域 430 の中心に配設されている。円形パターン線 580 は、それぞれの円柱フィールドプレート部材 450 の周囲の等電位線、および、それぞれの円柱誘電体領域 430 の内側の等電位線を示す。誘電体領域 430 では、より高密度の等電位線 580 が、シリコン領域付近に見られる。等電位線 575 は、それぞれの誘電体領域 430 を分離するシリコン柱 / ドリフト領域 405 内にある。

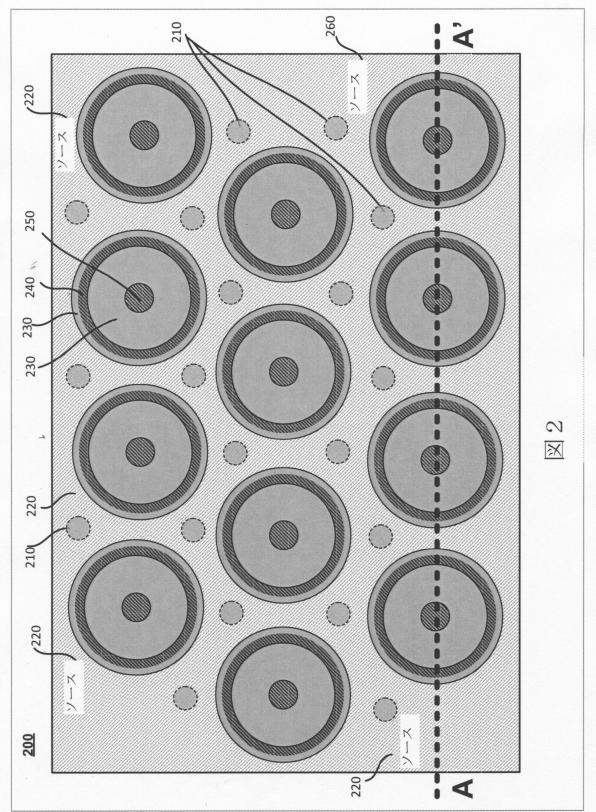
【0031】

図 5 B は、ピンチオフ電圧レベルが 120 V であってドーピング濃度が $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ である縦方向深さでの、濃度勾配のあるドーピングがなされた縦型装置の、異なる横方向断面における同様のシミュレーション結果を示す。3つの円柱形フィールドプレート部材 450 は、対称的な三角形構成をなす。円形の等電位線 580 は、それぞれの円柱形フィールドプレート部材 450 の周囲の誘電体領域 430 内の等電位線を示す。図 5 A のシミュレーション結果と比較すると、図 5 B の等電位線 580 は、誘電体領域 430 内でより高密度となっている。等電位線 575 は、シリコン柱 / ドリフト領域 405 内に存在し、隣接した3つの円柱形フィールドプレートおよび誘電体領域の電界の対称性効果に起因して形成される。等電位線 575 は、隣接した3つの円柱形フィールドプレート部材 450 および誘電体領域 430 の図 5 A の中心軸 505、および図 5 B の中心軸 555 に

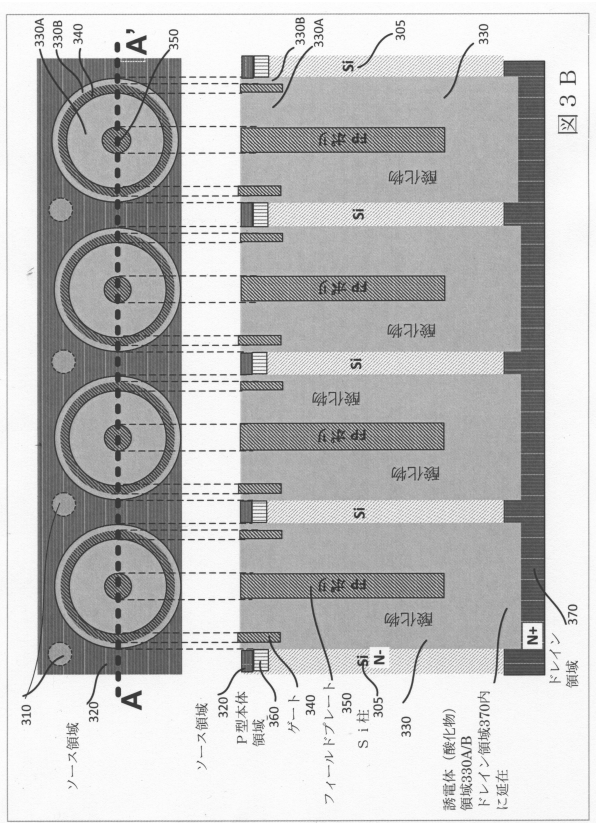
【0032】

例示的な実施形態についての上記の説明、および要約で説明されている事項は、網羅的であることも、開示されている形態または構造そのものに限定することも意図していない。本明細書に記載される主題の特定の実施形態および実施例は、例示を目的としており、本発明のより広い趣旨および範囲から逸脱することなく様々な同等な変更が可能である。実際に、特定の例示的な厚さ、材料の種類、濃度、電圧などは、説明のために提示されること、および、本発明の教示に基づき他の実施形態および実施例において他の値を使用してもよいことが理解される。

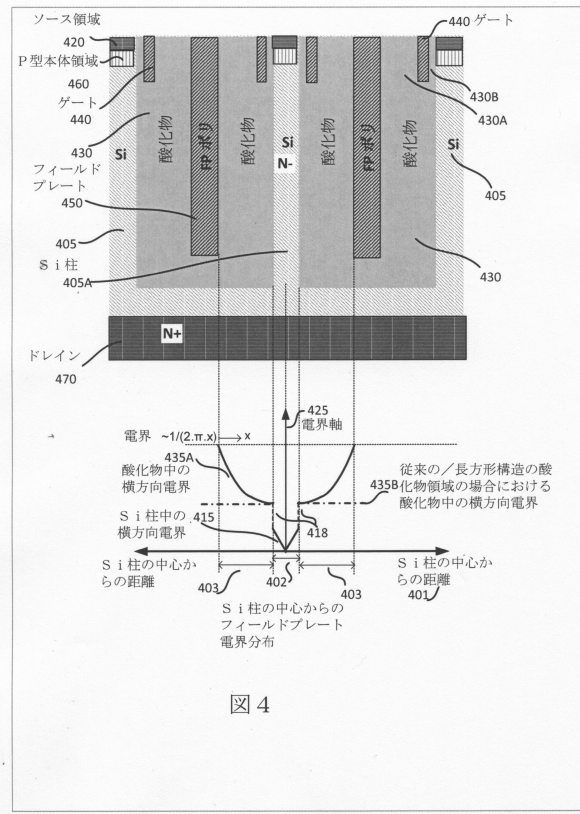
【 図 2 】



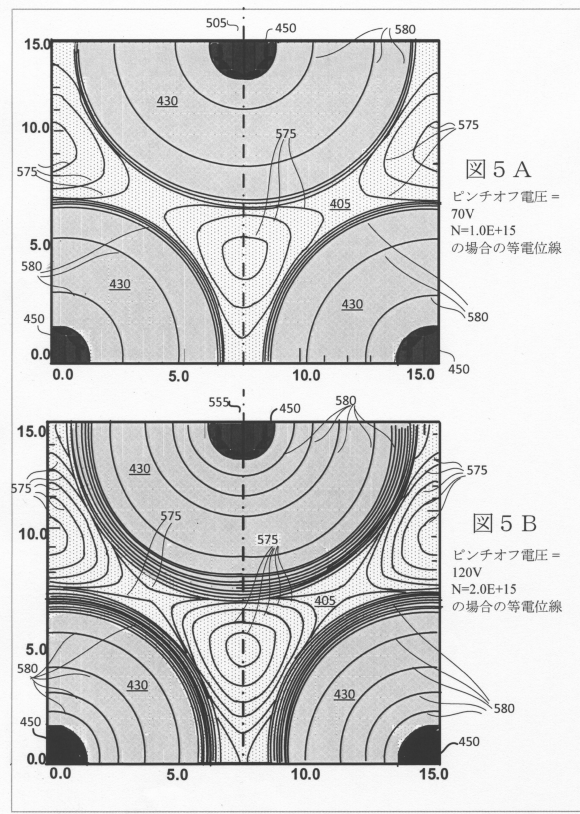
【 図 3 B 】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 L	29/78	6 5 2 M
H 0 1 L	29/44	Y
H 0 1 L	29/06	3 0 1 V
H 0 1 L	29/06	3 0 1 F

(72)発明者 ウェイン ブライアン グラバウスキ

アメリカ合衆国 9 4 0 2 4 カリフォルニア州 ロス アルトス、 ミラヴァール アヴェニュー
ー 1 3 9 0

(72)発明者 カマル ラージ ヴァラダジャン

アメリカ合衆国 9 5 0 5 4 カリフォルニア州 サンタ クララ、 ユニット 3 3 3、 リッ
ク ミル ブールヴァード 3 9 0 1

(72)発明者 リン ズー

アメリカ合衆国 9 5 0 0 8 カリフォルニア州 キャンベル、 ノース サン トマス アキノ
ロード 1 6 3

(72)発明者 クオ チャン ロバート ヤン

アメリカ合衆国 9 5 0 0 8 カリフォルニア州 キャンベル、 バクノル ロード 1 8 5 9

審査官 杉山 芳弘

(56)参考文献 米国特許出願公開第2013/0137230(US, A1)

特開2002-083963(JP, A)

特表2010-516058(JP, A)

特開2013-080984(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 2 9 / 7 8

H 0 1 L 2 9 / 7 3 9

H 0 1 L 2 1 / 3 3 6