

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6791084号
(P6791084)

(45) 発行日 令和2年11月25日 (2020. 11. 25)

(24) 登録日 令和2年11月9日 (2020. 11. 9)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 29/06 (2006. 01)	HO 1 L 29/78 6 5 2 P
HO 1 L 29/78 (2006. 01)	HO 1 L 29/78 6 5 3 A
HO 1 L 29/12 (2006. 01)	HO 1 L 29/78 6 5 2 T
HO 1 L 29/41 (2006. 01)	HO 1 L 29/78 6 5 2 S
HO 1 L 21/28 (2006. 01)	HO 1 L 29/06 3 0 1 M
請求項の数 6 (全 17 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2017-187744 (P2017-187744)	(73) 特許権者	000241463
(22) 出願日	平成29年9月28日 (2017. 9. 28)		豊田合成株式会社
(65) 公開番号	特開2019-62160 (P2019-62160A)		愛知県清須市春日長畑1番地
(43) 公開日	平成31年4月18日 (2019. 4. 18)	(74) 代理人	110000028
審査請求日	令和1年11月7日 (2019. 11. 7)		特許業務法人明成国際特許事務所
		(72) 発明者	伊奈 務
			愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
		(72) 発明者	上野 幸久
			愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
		(72) 発明者	岡 徹
			愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アクティブ領域と、前記アクティブ領域の外周を囲む非アクティブ領域と、を備える半導体装置であって、

第1導電型を有し、面方向に広がる第1の半導体層と、

前記第1の半導体層の上に形成され、前記第1導電型とは異なる第2導電型を有する第2の半導体層と、

前記第2の半導体層の上に形成され、前記第1導電型を有する第3の半導体層と、を備え、

前記第1の半導体層と、前記第2の半導体層と、前記第3の半導体層とは、ワイドバンドギャップ半導体により形成されており、

前記アクティブ領域は、

前記第3の半導体層と前記第2の半導体層とを貫通し、前記第1の半導体層まで到達したトレンチと、

前記トレンチの表面を覆う第1の絶縁膜と、

前記第1の絶縁膜に覆われた前記トレンチに形成された制御電極と、

前記第3の半導体層と接するコンタクト電極と、を備え、

前記非アクティブ領域は、

前記第3の半導体層と前記第2の半導体層とを貫通し、前記第1の半導体層まで到達しており、前記アクティブ領域を囲む外周トレンチと、

10

20

前記外周トレンチの表面を覆う第2の絶縁膜と、

前記第2の絶縁膜に覆われた前記外周トレンチに形成され、前記制御電極及び前記コンタクト電極と電氣的に絶縁された導電体と、

前記外周トレンチの外側に位置し、前記第2の半導体層と接し、前記コンタクト電極と電氣的に接続された外周電極と、を備える、半導体装置。

【請求項2】

請求項1に記載の半導体装置であって、

前記第2の絶縁膜の誘電率は、前記第1の絶縁膜の誘電率よりも大きい、半導体装置。

【請求項3】

請求項1または請求項2に記載の半導体装置であって、

前記面方向に直交する厚み方向から見たとき、

前記制御電極は、多角形を隙間無く並べた網目状の形状となっており、前記多角形の角のうち、最も前記導電体に近い角において、前記導電体に向かって突出する突出部を備える、半導体装置。

【請求項4】

請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の半導体装置であって、

前記面方向に直交する厚み方向から見たとき、

前記制御電極は、多角形を隙間無く並べた網目状の形状となっており、

前記導電体は、前記多角形を隙間無く並べた形状の外周に沿った形状となっており、

前記導電体は、前記導電体の前記多角形の角のうち、最も前記制御電極に近い角において、前記制御電極に向かって突出する突出部を備える、半導体装置。

【請求項5】

請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の半導体装置であって、

前記コンタクト電極を複数備え、

前記制御電極よりも外周側に配置され、前記導電体よりも内側に配置された複数の前記コンタクト電極において、隣接する前記コンタクト電極を電氣的に接続する接続部を備える、半導体装置。

【請求項6】

請求項1または請求項2に記載の半導体装置であって、

前記トレンチの最も外周側の端部は、前記外周トレンチまでの距離が一定となるように形成されている、半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、半導体装置において、電界集中を緩和するための様々な構成が知られている(例えば、特許文献1から3など)。

【0003】

特許文献1から3では、主電流が流れるアクティブ領域の外周領域である終端領域において、トレンチに絶縁膜を介して形成され、電位的にフローティング状態とした複数のゲート電極を備える構成が開示されている。特許文献2では、終端領域に形成された複数のゲート電極のうちの最外周のゲート電極が半導体層と接する構成が開示されている。また、特許文献3では、さらに、終端領域に形成されたゲート電極のさらに外周に、絶縁膜に覆われ、半導体層と接する端部電極を備える構成が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-032728号公報

10

20

30

40

50

【特許文献2】特開2012-238898号公報

【特許文献3】特開2007-123570号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献1から3のいずれの構成としても、アクティブ領域の最外周におけるトレンチの底面端部近傍に電界集中が生じるため、電界集中を緩和する効果が十分ではなかった。このため、電界集中を緩和する他の技術が望まれていた。なお、シリコン(Si)を用いた半導体装置では、絶縁膜よりも半導体層が先に絶縁破壊が起きるが、窒化ガリウム(GaN)などのワイドバンドギャップ半導体を用いた半導体装置では、半導体層の電界強度が高いため、絶縁膜の電界強度についても考慮する必要があった。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、以下の形態として実現することが可能である。

【0007】

(1) 本発明の一形態によれば、アクティブ領域と、前記アクティブ領域の外周を囲む非アクティブ領域と、を備える半導体装置が提供される。この半導体装置は、第1導電型を有し、面方向に広がる第1の半導体層と、前記第1の半導体層の上に形成され、前記第1導電型とは異なる第2導電型を有する第2の半導体層と、前記第2の半導体層の上に形成され、前記第1導電型を有する第3の半導体層と、を備え、前記第1の半導体層と、前記第2の半導体層と、前記第3の半導体層とは、ワイドバンドギャップ半導体により形成されており、前記アクティブ領域は、前記第3の半導体層と前記第2の半導体層とを貫通し、前記第1の半導体層まで到達したトレンチと、前記トレンチの表面を覆う第1の絶縁膜と、前記第1の絶縁膜に覆われた前記トレンチに形成された制御電極と、前記第3の半導体層と接するコンタクト電極と、を備え、前記非アクティブ領域は、前記第3の半導体層と前記第2の半導体層とを貫通し、前記第1の半導体層まで到達しており、前記アクティブ領域を囲む外周トレンチと、前記外周トレンチの表面を覆う第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜に覆われた前記外周トレンチに形成され、前記制御電極及び前記コンタクト電極と電氣的に絶縁された導電体と、前記外周トレンチの外側に位置し、前記第2の半導体層と接し、前記コンタクト電極と電氣的に接続された外周電極と、を備える。この形態の半導体装置によれば、導電体と外周電極とを備えるため、アクティブ領域の最外周に位置する外周トレンチの底面端部近傍における電界集中を緩和できる。

20

30

【0008】

(2) 上述の半導体装置において、前記第2の絶縁膜の誘電率は、前記第1の絶縁膜の誘電率よりも大きくてもよい。この形態の半導体装置によれば、最外周に位置するトレンチの外周側の底面付近における電界集中を、より効果的に緩和できる。

【0009】

(3) 上述の半導体装置において、前記面方向に直交する厚み方向から見たとき、前記制御電極は、多角形を隙間無く並べた網目状の形状となっており、前記多角形の角のうち、最も前記導電体に近い角において、前記導電体に向かって突出する突出部を備えてもよい。この形態の半導体装置によれば、より大きな電流を流すことができる。

40

【0010】

(4) 上述の半導体装置において、前記面方向に直交する厚み方向から見たとき、前記制御電極は、多角形を隙間無く並べた網目状の形状となっており、前記導電体は、前記多角形を隙間無く並べた形状の外周に沿った形状となっており、前記導電体は、前記導電体の前記多角形の角のうち、最も前記制御電極に近い角において、前記制御電極に向かって突出する突出部を備えてもよい。この形態の半導体装置においても制御電極の最も導電体に近い角におけるトレンチ底面付近の電界集中をより効率的に緩和できる。

【0011】

50

(5) 上述の半導体装置において、前記コンタクト電極を複数備え、前記制御電極よりも外周側に配置され、前記導電体よりも内側に配置された複数の前記コンタクト電極において、隣接する前記コンタクト電極を電氣的に接続する接続部を備えてもよい。この形態の半導体装置によれば、より大きな電流を流すことができる。

【0012】

(6) 上述の半導体装置において、前記トレンチの最も外周側の端部は、前記外周トレンチまでの距離が一定となるように形成されていてもよい。この形態の半導体装置によれば、トレンチの最も外周側の端部底面付近における電界集中を、より効果的に緩和できる。

【0013】

本発明は、半導体装置以外の種々の形態で実現することも可能である。例えば、半導体装置の製造方法や、上述の製造方法を用いて半導体装置を製造する装置などの形態で実現することができる。

【発明の効果】

【0014】

本願発明の半導体装置によれば、導電体と外周電極とを備えるため、外周トレンチの底面端部近傍における電界集中を緩和できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1実施形態における半導体装置の構成を模式的に示す断面図。

【図2】厚み方向（Z軸方向）から見た図。

【図3】トレンチ底面端部における電界強度比を示す図。

【図4】第1の絶縁膜と第2の絶縁膜との誘電率の関係を示す図。

【図5】電界強度分布のシミュレーション結果を示す図。

【図6】電界強度分布のシミュレーション結果を示す図。

【図7】電界強度分布のシミュレーション結果を示す図。

【図8】第2実施形態における半導体装置の構成を模式的に示す断面図。

【図9】第3実施形態における半導体装置の構成を模式的に示す断面図。

【図10】第4実施形態における半導体装置の構成を模式的に示す断面図。

【図11】第5実施形態における半導体装置の構成を模式的に示す断面図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

A．第1実施形態

A-1．半導体装置の構成

図1は、第1実施形態における半導体装置100の構成を模式的に示す断面図である。本実施形態では、半導体装置100は、縦型トレンチMOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）である。本実施形態では、半導体装置100は、電力制御に用いられ、パワーデバイスとも呼ばれる。

【0017】

図1には、相互に直交するXYZ軸が図示されている。図1のXYZ軸のうち、X軸は、図1の紙面左から紙面右に向かう軸である。+X軸方向は、紙面右に向かう方向であり、-X軸方向は、紙面左に向かう方向である。図1のXYZ軸のうち、Y軸は、図1の紙面手前から紙面奥に向かう軸である。+Y軸方向は、紙面奥に向かう方向であり、-Y軸方向は、紙面手前に向かう方向である。図1のXYZ軸のうち、Z軸は、図1の紙面下から紙面上に向かう軸である。+Z軸方向は、紙面上に向かう方向であり、-Z軸方向は、紙面下に向かう方向である。

【0018】

半導体装置100は、基板110と、第1の半導体層112と、第2の半導体層114と、第3の半導体層116と、を備える。また、半導体装置100は、さらに、第1の絶縁膜130と、第2の絶縁膜132と、第3の絶縁膜150と、ソース電極141と、ボディ電極144と、ゲート電極142と、ドレイン電極143と、導電体146と、外周

10

20

30

40

50

電極 148 と、配線電極 160 と、を備える。ここで、「ゲート電極 142」が、「課題を解決するための手段」における「制御電極」に相当し、「ソース電極 141」と「ボディ電極 144」とが、「課題を解決するための手段」における「コンタクト電極」に相当する。

【0019】

本実施形態では、基板 110、第 1 の半導体層 112、第 2 の半導体層 114、及び第 3 の半導体層 116 は、ワイドバンドギャップ半導体により形成されている。ワイドバンドギャップ半導体としては、例えば、窒化ガリウム (GaN)、ダイヤモンド (C)、炭化ケイ素 (SiC)、酸化ガリウム (GaO) が挙げられる。本実施形態では、基板 110、第 1 の半導体層 112、第 2 の半導体層 114、及び第 3 の半導体層 116 は、窒化ガリウム (GaN) により形成されている。

10

【0020】

基板 110、第 1 の半導体層 112、及び第 3 の半導体層 116 は、n 型および p 型のうち的一方である第 1 導電型を有し、第 2 の半導体層 114 は、n 型および p 型のうち第 1 導電型とは異なる第 2 導電型を有する。本実施形態では、基板 110、第 1 の半導体層 112、及び第 3 の半導体層 116 は、n 型の特性を有し、第 2 の半導体層 114 は、p 型の特性を有する。なお、基板 110、第 1 の半導体層 112、及び第 3 の半導体層 116 は、p 型の特性を有し、第 2 の半導体層 114 は、n 型の特性を有してもよい。

【0021】

半導体装置 100 の基板 110 及び第 1 の半導体層 112 は、X 軸及び Y 軸に沿って面方向に広がる板状の半導体層である。本実施形態では、基板 110 及び第 1 の半導体層 112 は、ケイ素 (Si) をドナー元素として含有する n 型半導体である。本実施形態では、基板 110 は、第 1 の半導体層 112 よりも高濃度のドナー元素を含有する。本実施形態では、第 1 の半導体層 112 は、有機金属気相成長法 (MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition) によって基板 110 の上に形成された層である。

20

【0022】

半導体装置 100 の第 2 の半導体層 114 は、第 1 の半導体層 112 の上 (+Z 軸方向側) に位置し、X 軸および Y 軸に沿って広がる半導体層である。本実施形態では、第 2 の半導体層 114 は、マグネシウム (Mg) をアクセプタ元素として含有する p 型半導体である。

30

【0023】

半導体装置 100 の第 3 の半導体層 116 は、第 2 の半導体層 114 の上 (+Z 軸方向側) に位置し、X 軸および Y 軸に沿って広がる半導体層である。本実施形態では、第 3 の半導体層 116 は、ケイ素 (Si) をドナー元素として含有する n 型半導体である。

【0024】

半導体装置 100 のコンタクト電極としてのボディ電極 144 は、第 3 の半導体層 116 を貫通するコンタクトホール 124 に形成された電極である。ボディ電極 144 は、第 2 の半導体層 114 と接する。本実施形態では、ボディ電極 144 は、第 2 の半導体層 114 とオーミック接触する。

【0025】

本実施形態では、ボディ電極 144 は、パラジウム (Pd) から形成されている。なお、ボディ電極 144 を構成する材料は、これに限定されない。ボディ電極 144 は、例えば、(i) ニッケル (Ni) などのパラジウム以外の材料から形成されていてもよく、(ii) 第 2 の半導体層 114 と接する層から順に、チタン (Ti) から形成されている層と、アルミニウム (Al) から形成されている層と、を備えていてもよい。ボディ電極 144 は、単層であってもよく、2 層以上であってもよい。

40

【0026】

半導体装置 100 のコンタクト電極としてのソース電極 141 は、第 3 の半導体層 116 の上 (+Z 軸方向側) に形成された電極である。ソース電極 141 は、第 3 の半導体層 116 と接する。本実施形態では、ソース電極 141 は、第 3 の半導体層 116 とオーミ

50

ック接触する。

【0027】

本実施形態では、ソース電極141は、第3の半導体層116と接する層から順に、チタン(Ti)から形成されている層と、アルミニウム(Al)から形成されている層と、を備える。なお、ソース電極141を構成する材料は、これに限定されない。ソース電極141は、例えば、第3の半導体層116と接する層から順に、チタン(Ti)から形成されている層と、アルミニウム(Al)から形成されている層と、ニッケル(Ni)から形成されている層と、金(Au)から形成されている層と、を備えていてもよい。また、ソース電極141は、単層であってもよいし、2層以上であってもよい。ソース電極141は、ボディ電極144と接触していてもよく、第3の半導体層116及び第2の半導体層114と接し、ソース電極141とボディ電極144としての2つの機能を有する一つの電極であってもよい。

10

【0028】

半導体装置100のトレンチ122は、第2の半導体層114と第3の半導体層116とを貫通し、第1の半導体層112まで到達している溝部である。本実施形態では、トレンチ122は、第1の半導体層112、第2の半導体層114、第3の半導体層116に対するドライエッチングによって形成される。

【0029】

半導体装置100の第1の絶縁膜130は、トレンチ122の表面を覆い、電気絶縁性を有する膜である。本実施形態では、第1の絶縁膜130は、トレンチ122の内側に加え、第3の半導体層116における+Z軸方向側の面の一部にわたって形成されている。

20

【0030】

本実施形態では、第1の絶縁膜130は、二酸化ケイ素(SiO_2)から形成されている。第1の絶縁膜130を構成する材料は、電気絶縁性を有する材料であればよく、二酸化ケイ素(SiO_2)の他、窒化ケイ素(SiN_x)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化アルミニウム(AlN)、酸化ジルコニウム(ZrO_2)、酸化ハフニウム(HfO_2)、酸窒化ケイ素(SiON)、酸窒化アルミニウム(AlON)、酸窒化ジルコニウム(ZrON)、酸窒化ハフニウム(HfON)などの少なくとも1つであってもよい。また、第1の絶縁膜130は、単層であってもよいし、2層以上であってもよい。

【0031】

半導体装置100の制御電極としてのゲート電極142は、第1の絶縁膜130に覆われたトレンチ122に形成された電極である。ゲート電極142に電圧が印加された場合、第2の半導体層114に反転層が形成され、この反転層がチャネルとして機能することによって、ソース電極141とドレイン電極143との間に導通経路が形成される。

30

【0032】

本実施形態では、ゲート電極142は、アルミニウム(Al)から形成されている。なお、ゲート電極142を構成する材料として、他の材料を用いてもよい。例えば、ゲート電極142は、チタン(Ti)から形成されていてよく、ポリシリコンや、金属窒化物により形成されていてよい。ゲート電極142は、単層であってもよいし、2層以上であってもよい。なお、図1には図示されていないが、例えば、図2に図示されているように、ゲート電極142同士は、互いに電氣的に接続されている。

40

【0033】

半導体装置100は、アクティブ領域と、アクティブ領域の外周を囲む非アクティブ領域とを備える。アクティブ領域とは、半導体装置100を駆動する際に主として電流が流れる領域をいう。外周トレンチ129と外周トレンチ129に隣接するトレンチ122との間に設けられたボディ電極144を境界にして、内周側がアクティブ領域であり、外周側が非アクティブ領域である。半導体装置100は、アクティブ領域において、トレンチ122と、第1の絶縁膜130と、ゲート電極142と、ソース電極141とを備え、非アクティブ領域において、外周トレンチ129と、第2の絶縁膜132と、導電体146と、外周電極148とを備える。

50

【0034】

半導体装置100の外周トレンチ129は、アクティブ領域を囲み、ゲート電極142及びソース電極141の外周側に位置する溝部である。外周トレンチ129は、第3の半導体層116と第2の半導体層114とを貫通し、第1の半導体層112まで到達している溝部である。本実施形態では、外周トレンチ129は、トレンチ122と同じ深さである。このようにすることにより、トレンチ122を形成するエッチング工程において、外周トレンチ129を同時に作成することができる。なお、外周トレンチ129の深さは、トレンチ122の深さと異なってもよい。

【0035】

本実施形態において、隣接するトレンチ122間の距離aは、外周トレンチ129と外周トレンチ129に隣接するトレンチ122との距離bと等しい。ここで、隣接するトレンチ122間の距離aは、複数のボディ電極144の中心軸を通る面において、隣接するトレンチ122の中心軸間の距離を言う。同様に、外周トレンチ129と外周トレンチ129に隣接するトレンチ122との距離bは、複数のボディ電極144の中心軸を通る面において、隣接するトレンチ122の中心軸から外周トレンチ129の中心軸までの距離を言う。ここで、図1に示す断面は、複数のボディ電極144の中心軸を通る面である。

【0036】

半導体装置100の第2の絶縁膜132は、外周トレンチ129の表面を覆い、電気絶縁性を有する膜である。本実施形態では、第2の絶縁膜132は、外周トレンチ129の内側に加え、第3の半導体層116における+Z軸方向側の面の一部にわたって形成されている。

【0037】

本実施形態では、第2の絶縁膜132は、酸化アルミニウム(Al_2O_3)から形成されている。このため、本実施形態では、第2の絶縁膜132の誘電率は、第1の絶縁膜130の誘電率よりも大きい。このようにすることにより、最外周に位置するトレンチ122の外周側の底面付近における電界集中を、より効果的に緩和できる。第1の絶縁膜130よりも誘電率の大きい材料として、例えば、窒化アルミニウム(AlN)、酸化ジルコニウム(ZrO_2)、酸化ハフニウム(HfO_2)、酸窒化ケイ素($SiON$)、酸窒化アルミニウム($AlON$)、酸窒化ジルコニウム($ZrON$)、酸窒化ハフニウム($HfON$)などを用いてもよい。なお、第2の絶縁膜132の材料として、第1の絶縁膜130と同じ材料を用いてもよい。このようにすることにより、第2の絶縁膜132を第1の絶縁膜130の作成時と同時に形成することができる。

【0038】

半導体装置100の導電体146は、第2の絶縁膜132に覆われた外周トレンチ129に形成された層である。導電体146は、ゲート電極142及びソース電極141と電氣的に絶縁されている。つまり、導電体146は、電氣的に浮遊状態となっている。本実施形態では、導電体146は、アルミニウム(Al)から形成されている。なお、導電体146を構成する材料として、他の材料を用いてもよい。例えば、導電体146は、チタン(Ti)等の他の金属から形成されていてもよく、ポリシリコンや、金属窒化物等の他の導電材料により形成されていてもよい。

【0039】

半導体装置100の外周電極148は、第3の半導体層116を貫通するコンタクトホール126に形成された電極である。外周電極148は、外周トレンチ129の外側に位置し、かつ、第2の半導体層114と接する。本実施形態では、外周電極148は、外周トレンチ129の外周を囲む。外周電極148は、ソース電極141と配線電極160を介して電氣的に接続されている。本実施形態では、外周電極148は、パラジウム(Pd)から形成されている。なお、外周電極148を構成する材料は、これに限定されない。外周電極148は、例えば、(i)ニッケル(Ni)等の他の金属から形成されていてもよく、(ii)第2の半導体層114と接する層から順に、チタン(Ti)から形成されている層と、アルミニウム(Al)から形成されている層と、を備えていてもよい。外周

10

20

30

40

50

電極 148 は、単層から構成されていてもよく、複数の層から構成されていてもよい。また、外周電極 148 は、第 2 の半導体層 114 とオーミック接触する。

【0040】

半導体装置 100 のトレンチ 128 は、半導体層 114、116 の厚さ方向（-Z 軸方向）を深さ方向とする溝部である。トレンチ 128 は、第 3 の半導体層 116 と第 2 の半導体層 114 とを貫通し、第 1 の半導体層 112 まで到達している溝部である。本実施形態では、トレンチ 128 は、トレンチ 122 や外周トレンチ 129 よりも深い。トレンチ 128 は、半導体装置 100 を他の素子から分離するために用いる。本実施形態では、トレンチ 128 は、外周電極 148 よりもさらに外周側に位置する。

【0041】

半導体装置 100 の第 3 の絶縁膜 150 は、半導体層 112、114、116 の表面（+Z 軸方向側の面）を覆うように形成されている。第 3 の絶縁膜 150 は、ソース電極 141、ボディ電極 144、及びゲート電極 142 の一部が露出するように開口部が形成されている。本実施形態では、第 3 の絶縁膜 150 は、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）から形成されている。第 3 の絶縁膜 150 の材質は、電気絶縁性を有する材質であればよく、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）の他、二酸化ケイ素（ SiO_2 ）、窒化ケイ素（ SiN_x ）、窒化アルミニウム（ AlN ）、酸化ジルコニウム（ ZrO_2 ）、酸化ハフニウム（ HfO_2 ）、酸窒化ケイ素（ $SiON$ ）、酸窒化アルミニウム（ $AlON$ ）、酸窒化ジルコニウム（ $ZrON$ ）、酸窒化ハフニウム（ $HfON$ ）などの少なくとも 1 つであってもよい。第 3 の絶縁膜 150 は、単層から構成されていてもよく、複数の層から構成されていてもよい。

【0042】

配線電極 160 は、第 3 の絶縁膜 150 の上（+Z 軸方向側）に形成された電極である。配線電極 160 により、ソース電極 141、ボディ電極 144、外周電極 148 が電氣的に接続されている。配線電極 160 は、第 3 の絶縁膜 150 に覆われたトレンチ 128 の側壁及び底面においても形成されている。

【0043】

半導体装置 100 のドレイン電極 143 は、基板 110 の -Z 軸方向側の面に形成された電極である。ドレイン電極 143 は、基板 110 と接する。本実施形態では、ドレイン電極 143 は、基板 110 とオーミック接触する。

【0044】

本実施形態では、ドレイン電極 143 は、基板 110 と接する層から順に、チタン（Ti）から形成されている層と、アルミニウム（Al）から形成されている層と、を備える。なお、ドレイン電極 143 を構成する材料として、他の材料を用いてもよい。例えば、ドレイン電極 143 は、基板 110 と接する層から順に、チタン（Ti）から形成されている層と、アルミニウム（Al）から形成されている層と、ニッケル（Ni）から形成されている層と、金（Au）から形成されている層と、を備えていてもよい。ドレイン電極 143 は、単層から構成されていてもよく、複数の層から構成されていてもよい。

【0045】

図 2 は、図 1 を +Z 軸方向から見た模式図である。つまり、図 2 は、面方向（X 軸方向および Y 軸方向）に直交する厚み方向（Z 軸方向）から見た平面図である。図 2 では、理解を容易にする観点から、第 1 の絶縁膜 130、第 2 の絶縁膜 132、第 3 の絶縁膜 150 及び配線電極 160 の記載が省略されている。図 2 における I-I 断面が図 1 に相当する。

【0046】

図 2 に示されるように、本実施形態では、ボディ電極 144 は、六角形状となっている。ソース電極 141 は、第 3 の半導体層 116 を介してボディ電極 144 を囲んでおり、ソース電極 141 の内周および外周は、いずれも六角形状となっている。本実施形態では、半導体装置 100 は、複数のボディ電極 144 と複数のソース電極 141 とを備える。ソース電極 141 として、ゲート電極 142 よりも外周側に配置され、かつ、導電体 14

10

20

30

40

50

6 よりも内周側に配置されているソース電極 1 4 1 についても存在する。

【 0 0 4 7 】

本実施形態では、ゲート電極 1 4 2 は、第 3 の半導体層 1 1 6 を介してソース電極 1 4 1 を囲んでいる。ゲート電極 1 4 2 は、半導体装置 1 0 0 の表面 (+ Z 軸方向側の面) 上でつながっており、六角形を隙間無く並べた網目状の形状となっている。

【 0 0 4 8 】

外周トレンチ 1 2 9 は、ゲート電極 1 4 2 及びソース電極 1 4 1 の外周側を途切れることなく連続的に囲んでもいるが、部分的に非連続となってもよい。本実施形態では、外周トレンチ 1 2 9 は、ゲート電極 1 4 2 及びソース電極 1 4 1 の外周側を一重に囲んでいるが、多重に囲んでいてもよい。なお、本実施形態のように一重とすることにより、非

10

【 0 0 4 9 】

A - 2 . 効果

以上説明したように、本実施形態の半導体装置 1 0 0 によれば、導電体 1 4 6 に加えて外周電極 1 4 8 を備えるため、アクティブ領域の最外周に位置する外周トレンチ 1 2 9 の底面端部近傍の電界集中を緩和できる。以下、半導体装置 1 0 0 により得られる効果について説明する。

【 0 0 5 0 】

図 3 は、最も電界集中が起こりやすいトレンチ底面端部における電界強度比を示す図である。ここで、電界強度が高いほど、電界集中が起こりやすく、一般に、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部は、それ以外のトレンチ 1 2 2 の底面端部と比較して、電界集中が起こりやすい。

20

【 0 0 5 1 】

図 3 の縦軸として、最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度を 1 とした場合の電界強度比を示す。図 3 では、(i) 最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比と、(i i) 最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比と、(i i i) 外周トレンチ 1 2 9 の底面端部における電界強度比と、を示す。

【 0 0 5 2 】

図 3 において、(i) 外周トレンチ 1 2 9 を備えない場合と、(i i) 第 2 の絶縁膜 1 3 2 に覆われた外周トレンチ 1 2 9 に導電体 1 4 6 を備えるが、導電体 1 4 6 が他の電極と接続されている場合と、(i i i) 第 2 の絶縁膜 1 3 2 に覆われた外周トレンチ 1 2 9 に導電体 1 4 6 を備え、導電体 1 4 6 は他の電極と接続されていない場合と、(i v) 外周トレンチ 1 2 9 の内部に絶縁膜のみが設けられている場合と、を示す。

30

【 0 0 5 3 】

図 3 の結果から、以下のことが分かる。外周トレンチ 1 2 9 の内部に絶縁膜のみが設けられている場合、及び、外周トレンチ 1 2 9 を備えない場合、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比が大きくなるため、好ましくない。また、外周トレンチ 1 2 9 に導電体 1 4 6 を備えるが、他の電極と接続されている場合、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部における電界強度比が高くなるため、好ましくない。

40

【 0 0 5 4 】

一方、第 2 の絶縁膜 1 3 2 に覆われた外周トレンチ 1 2 9 に導電体 1 4 6 を備え、導電体 1 4 6 は他の電極と接続されていない場合、最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比と、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比とが同等である。また、この場合、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部における電界強度比は、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比よりも低い。このため、この場合が図 3 の条件の中で一番好ましいことが分かる。

【 0 0 5 5 】

図 4 は、トレンチ 1 2 2 の表面を覆う第 1 の絶縁膜 1 3 0 と、外周トレンチ 1 2 9 の表面を覆う第 2 の絶縁膜 1 3 2 との誘電率の関係を示す図である。図 4 の縦軸として、図 3

50

と同様に、最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度を 1 とした場合の電界強度比を示す。図 4 での電界強度とは、絶縁膜中における最大電界強度を示す。また、図 4 においても、図 3 と同様に、(i) 最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比と、(i i) 最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比と、(i i i) 外周トレンチ 1 2 9 の底面端部における電界強度比と、を示す。

【 0 0 5 6 】

図 4 において、(i) 第 2 の絶縁膜 1 3 2 の誘電率が、第 1 の絶縁膜 1 3 0 の誘電率よりも大きい場合と、(i i) 第 2 の絶縁膜 1 3 2 の誘電率が、第 1 の絶縁膜 1 3 0 の誘電率と同じ場合と、(i i i) 第 2 の絶縁膜 1 3 2 の誘電率が、第 1 の絶縁膜 1 3 0 の誘電率よりも小さい場合と、を示す。

10

【 0 0 5 7 】

図 4 の結果から、以下のことが分かる。第 2 の絶縁膜 1 3 2 の誘電率が、第 1 の絶縁膜 1 3 0 の誘電率よりも小さい場合、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比は、最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比よりも大きい。さらに、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部における電界強度比は、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比よりも大きい。このため、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部及び外周トレンチ 1 2 9 の底面端部において、電界集中が発生しているため好ましくない。

【 0 0 5 8 】

一方、本実施形態の構成である場合、つまり、第 2 の絶縁膜 1 3 2 の誘電率が、第 1 の絶縁膜 1 3 0 の誘電率よりも大きい場合、最外周ではないトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比よりも、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比のほうが小さい。さらに、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部における電界強度比は、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部における電界強度比よりも小さい。このため、最外周のトレンチ 1 2 2 の底面端部及び外周トレンチ 1 2 9 の底面端部において、電界集中が緩和されていることが分かる。

20

【 0 0 5 9 】

図 5 から図 7 は、電界強度分布のシミュレーション結果を示す図である。図 5 は、本実施形態と同様に、導電体 1 4 6 と外周電極 1 4 8 を備える構造のシミュレーション結果を示す。図 6 は、本実施形態から外周電極 1 4 8 を除外した構造のシミュレーション結果を示す。図 7 は、本実施形態から外周電極 1 4 8 を除外し、導電体 1 4 6 を二重に備える構造のシミュレーション結果を示す。図 5 から図 7 において、第 1 の半導体層 1 1 2 内の太線は、図 5 から図 7 のいずれも同電位の等電位線を示す。

30

【 0 0 6 0 】

図 6 の場合、つまり、本実施形態から外周電極 1 4 8 を除外した構造の場合、電位が X 軸方向に広がらず、図 6 の領域 T 1 に示すように、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部の近傍において電界が集中していることが分かる。同様に、図 7 の場合、つまり、及び本実施形態から外周電極 1 4 8 を除外し、導電体 1 4 6 を二重に備える構造の場合においても、図 7 の領域 T 2 に示すように、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部の近傍において電界が集中していることが分かる。一方、本実施形態のシミュレーション結果を示す図 5 では、電位が X 軸方向に広がっているため、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部の近傍への電界集中が緩和していることが分かる。つまり、本実施形態の半導体装置 1 0 0 によれば、導電体 1 4 6 に加えて外周電極 1 4 8 を備えるため、外周トレンチ 1 2 9 の底面端部近傍の電界集中を緩和できる。

40

【 0 0 6 1 】

B . 第 2 実施形態

図 8 は、第 2 実施形態における半導体装置 1 0 0 b の構成を模式的に示す断面図である。図 8 及びそれ以降の図では、理解を容易にする観点から、第 1 の絶縁膜 1 3 0、第 2 の絶縁膜 1 3 2、第 3 の絶縁膜 1 5 0 及び配線電極 1 6 0 の記載が省略されている。半導体装置 1 0 0 b は、第 1 実施形態における半導体装置 1 0 0 と比較して、最外周のトレンチ

50

１２２とゲート電極１４２の形状が異なる。

【００６２】

第２実施形態では、厚み方向（Ｚ軸方向）から見たとき、ゲート電極１４２は、ゲート電極１４２の角のうち、最も導電体１４６に近い角において、導電体１４６に向かって突出する突出部１４２ｂを備える。第２実施形態の半導体装置１００ｂによれば、突出部１４２ｂを備えるため、１チップあたりのゲート幅を増やすことができるため、大きな電流を流すことができる。

【００６３】

C．第３実施形態

図９は、第３実施形態における半導体装置１００ｃの構成を模式的に示す断面図である。半導体装置１００ｃは、第１実施形態における半導体装置１００と比較して、導電体１４６の形状が異なる。

10

【００６４】

第３実施形態では、厚み方向（Ｚ軸方向）から見たとき、導電体１４６は、導電体１４６の角のうち、最もゲート電極１４２に近い角において、ゲート電極１４２に向かって突出する突出部１４６ｃを備える。第３実施形態の半導体装置１００ｃによれば、突出部１４６ｃを備えるため、ゲート電極１４２の最も導電体１４６に近い角におけるトレンチ１２２底面付近の電界集中をより効果的に緩和できる。

【００６５】

D．第４実施形態

図１０は、第４実施形態における半導体装置１００ｄの構成を模式的に示す断面図である。半導体装置１００ｄは、第１実施形態における半導体装置１００と比較して、最も外周側のソース電極１４１の形状が異なる。

20

【００６６】

第４実施形態では、最も外周側に配置された複数のソース電極１４１において、隣接するソース電極１４１を電氣的に接続する接続部１４１ｄを備える。第４実施形態の半導体装置１００ｄによれば、接続部１４１ｄを備えるため、接続部１４１ｄにおいても電流が流れるため、大きな電流を流すことができる。

【００６７】

E．第５実施形態

図１１は、第５実施形態における半導体装置１００ｅの構成を模式的に示す断面図である。半導体装置１００ｅは、第１実施形態における半導体装置１００と比較して、トレンチ１２２の外周の形状と、最も外周側のソース電極１４１ｅ及び最も外周側のボディ電極１４４ｅの形状とが異なる。

30

【００６８】

第５実施形態では、厚み方向（Ｚ軸方向）から見たとき、トレンチ１２２の最も外周側の端部は、外周トレンチ１２９までの距離が一定となるように形成されている。このため、本実施形態では、トレンチ１２２の最も外周側の端部と、外周トレンチ１２９とが平行となっている。

【００６９】

また、トレンチ１２２の最も外周側の端部と、最も外周側のソース電極１４１ｅとの距離が一定となるように形成されている。同様に、トレンチ１２２の最も外周側の端部と、最も外周側のボディ電極１４４ｅとの距離が一定となるように形成されている。本実施形態では、トレンチ１２２の最も外周側の端部と、最も外周側のソース電極１４１ｅと、最も外周側のボディ電極１４４ｅと、が平行となっている。

40

【００７０】

第５実施形態の半導体装置１００ｅによれば、トレンチ１２２の最も外周側の端部は、外周トレンチ１２９までの距離が一定となるように形成されているため、トレンチ１２２の最も外周側の端部底面付近における電界集中を、より効果的に緩和できる。

【００７１】

50

F．他の実施形態

本発明は、上述の実施形態や実施例に限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の構成で実現することができる。例えば、発明の概要の欄に記載した各形態中の技術的特徴に対応する実施形態、実施例、変形例中の技術的特徴は、上述の課題の一部または全部を解決するために、あるいは、上述の効果の一部または全部を達成するために、適宜、差し替えや、組み合わせを行うことが可能である。また、その技術的特徴が本明細書中に必須なものとして説明されていなければ、適宜、削除することが可能である。

【 0 0 7 2 】

本発明が適用される半導体装置は、上述の実施形態で説明した縦型トレンチ MOS FET に限られず、例えば、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (I G B T) などのトレンチゲート構造を備える装置に適用できる。

【 0 0 7 3 】

上述の実施形態において、第 2 の半導体層 1 1 4 に含まれるアクセプタ元素は、マグネシウム (M g) であるが、例えば、亜鉛 (Z n) を用いてもよい。

【 0 0 7 4 】

上述の実施形態において、基板 1 1 0、第 1 の半導体層 1 1 2、及び第 3 の半導体層 1 1 6 に含まれるドナー元素は、ケイ素 (S i) であるが、例えば、ゲルマニウム (G e) を用いてもよい。

【 0 0 7 5 】

上述の実施形態において、厚み方向からみたとき、ゲート電極 1 4 2 は、六角形を隙間無く並べた網目状の形状となっており、導電体 1 4 6 は、六角形を隙間無く並べた形状の外周に沿った形状となっている。しかし、六角形に限らず、例えば、三角形や四角形などの多角形でもよく、最密配列であることが好ましい。

【 0 0 7 6 】

第 2 実施形態から第 4 実施形態の各特徴は、任意に組み合わせてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 7 】

- 1 0 0 ... 半導体装置
- 1 0 0 b ... 半導体装置
- 1 0 0 c ... 半導体装置
- 1 0 0 d ... 半導体装置
- 1 0 0 e ... 半導体装置
- 1 1 0 ... 基板
- 1 1 2 ... 第 1 の半導体層
- 1 1 4 ... 第 2 の半導体層
- 1 1 6 ... 第 3 の半導体層
- 1 2 2 ... トレンチ
- 1 2 4 ... コンタクトホール
- 1 2 6 ... コンタクトホール
- 1 2 8 ... トレンチ
- 1 2 9 ... 外周トレンチ
- 1 3 0 ... 第 1 の絶縁膜
- 1 3 2 ... 第 2 の絶縁膜
- 1 4 1 ... ソース電極
- 1 4 1 d ... 接続部
- 1 4 1 e ... ソース電極
- 1 4 2 ... ゲート電極
- 1 4 2 b ... 突出部
- 1 4 3 ... ドレイン電極

10

20

30

40

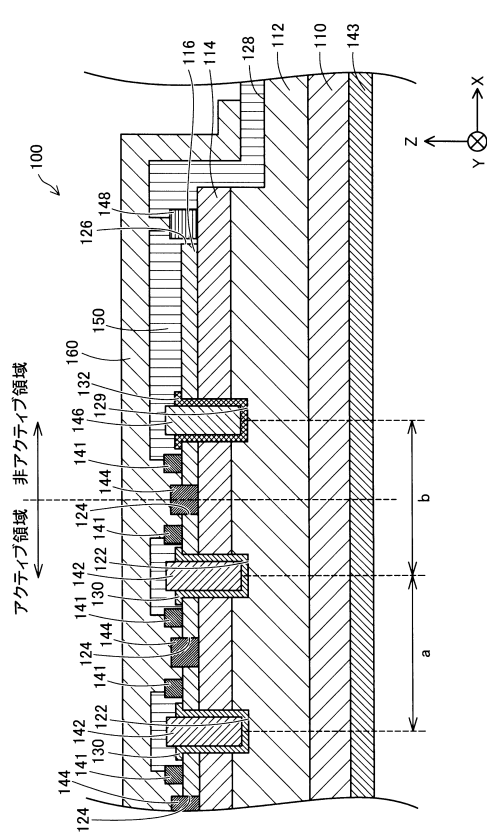
50

1 4 4 ... ボディ電極
1 4 4 e ... ボディ電極
1 4 6 ... 導電体
1 4 6 c ... 突出部
1 4 8 ... 外周電極
1 5 0 ... 第3の絶縁膜
1 6 0 ... 配線電極
T 1 ... 領域
T 2 ... 領域
a ... 距離
b ... 距離

10

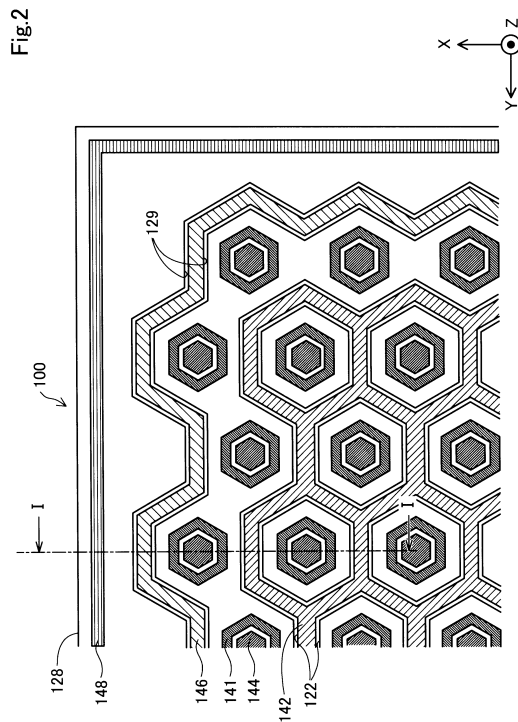
【 図 1 】

Fig. 1



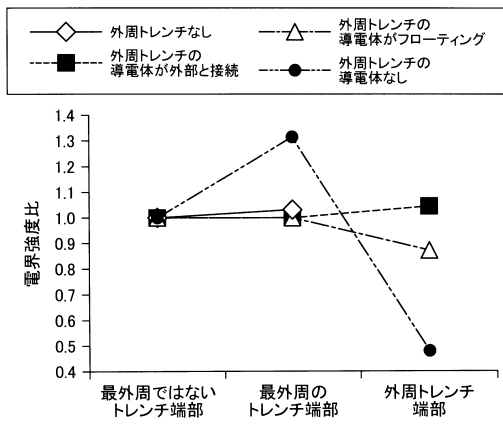
【圖 2】

Fig. 2



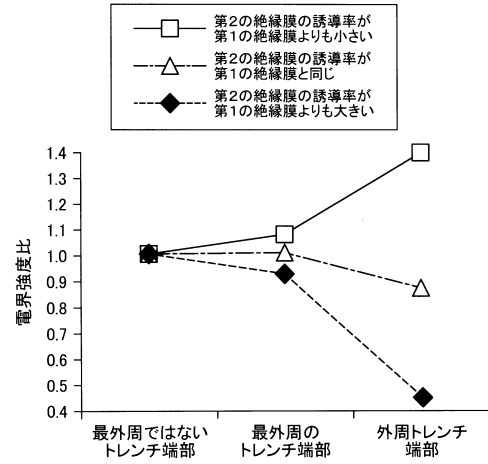
【図 3】

Fig.3



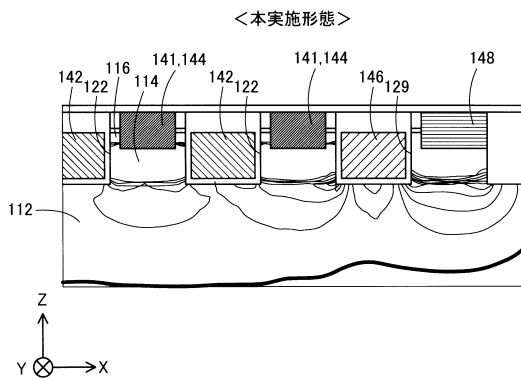
【図 4】

Fig.4



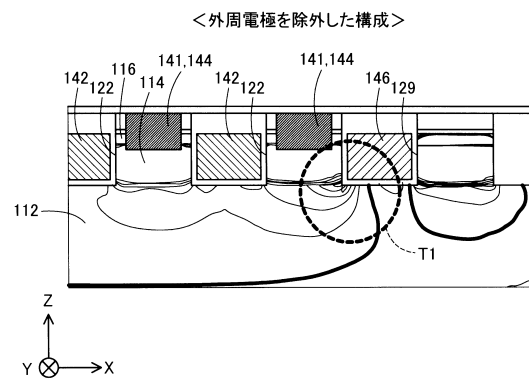
【図 5】

Fig.5



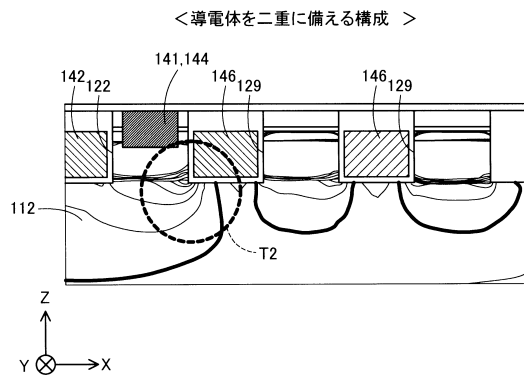
【図 6】

Fig.6



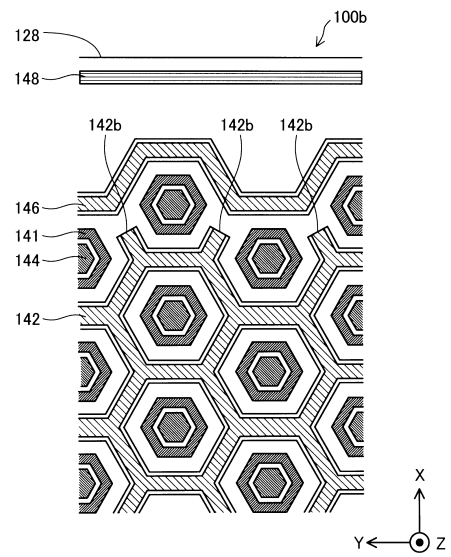
【図 7】

Fig.7



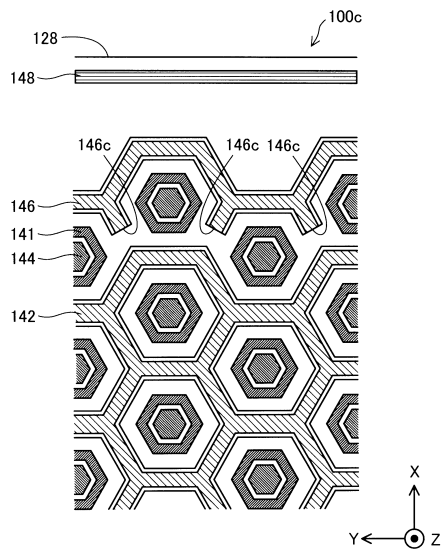
【図 8】

Fig.8



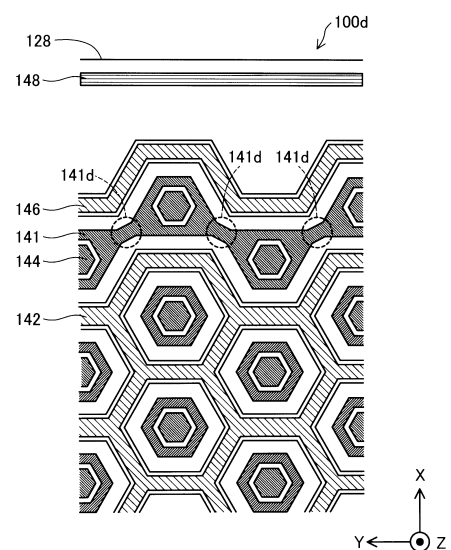
【図 9】

Fig.9



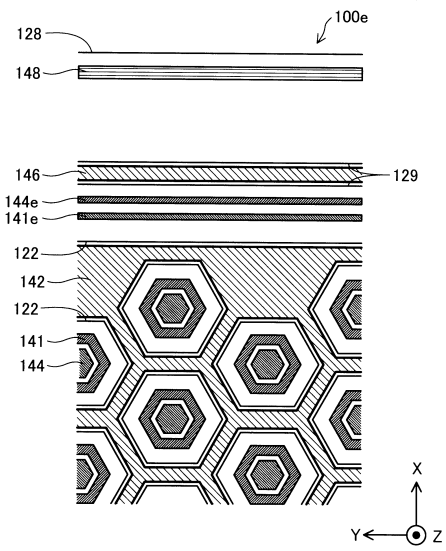
【図 10】

Fig.10



【図 11】

Fig.11



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		
	H 0 1 L	29/06	3 0 1 F
	H 0 1 L	29/06	3 0 1 V
	H 0 1 L	29/44	Y
	H 0 1 L	21/28	3 0 1 B
	H 0 1 L	29/44	L
	H 0 1 L	29/78	6 5 2 M
	H 0 1 L	29/78	6 5 2 F

審査官 恩田 和彦

- (56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 0 6 5 2 3 8 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 3 8 8 9 8 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 8 9 3 6 9 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 1 0 8 8 4 4 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 1 1 2 5 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 9 / 0 6
H 0 1 L 2 1 / 2 8
H 0 1 L 2 9 / 1 2
H 0 1 L 2 9 / 4 1
H 0 1 L 2 9 / 7 8