

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6515842号
(P6515842)

(45) 発行日 令和1年5月22日 (2019.5.22)

(24) 登録日 平成31年4月26日 (2019.4.26)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 29/78 (2006.01)
 HO 1 L 21/28 (2006.01)
 HO 1 L 29/12 (2006.01)
 HO 1 L 21/336 (2006.01)

HO 1 L 29/78 6 5 2 M
 HO 1 L 21/28 3 0 1 B
 HO 1 L 29/78 6 5 2 T
 HO 1 L 29/78 6 5 2 K
 HO 1 L 29/78 6 5 3 A

請求項の数 9 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-46903 (P2016-46903)
 (22) 出願日 平成28年3月10日 (2016.3.10)
 (65) 公開番号 特開2017-163021 (P2017-163021A)
 (43) 公開日 平成29年9月14日 (2017.9.14)
 審査請求日 平成30年4月23日 (2018.4.23)

(73) 特許権者 000241463
 豊田合成株式会社
 愛知県清須市春日長畑1番地
 (74) 代理人 110000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 (72) 発明者 田中 成明
 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

審査官 柴垣 宙央

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】

半導体装置であって、
 ガリウムを含む窒化物半導体から形成された n 型半導体領域と、
 前記 n 型半導体領域と接し、前記窒化物半導体から形成された p 型半導体領域と、
 前記 n 型半導体領域とオーミック接触する第 1 電極と、
 前記 p 型半導体領域とオーミック接触する第 2 電極と、を備え、
 前記第 1 電極と、前記第 2 電極とは、同じ金属から主に形成されており、
 前記同じ金属は、パラジウム、ニッケル、白金からなる群より選ばれる少なくとも一つの
 金属であり、

前記 n 型半導体領域の p 型不純物濃度と、前記 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、実
 質的に同じであり、

前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、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 1 電極と前記第 2 電極とは同一の電極である、半導体装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の半導体装置であって、
 前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 1.0×10^{20}

$2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、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、
前記窒化物半導体は、アルミニウムとインジウムとの少なくとも一方を含む、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 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、半導体装置。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の半導体装置であって、
前記 p 型半導体領域に含まれる p 型不純物は、マグネシウムと亜鉛との少なくとも一方を含む、半導体装置。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の半導体装置であって、
前記 n 型半導体領域に含まれる n 型不純物は、ケイ素とゲルマニウムとの少なくとも一方を含む、半導体装置。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の半導体装置であって、
前記 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、前記第 2 電極と接触する面から離れるほど低くなる、半導体装置。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の半導体装置であって、
前記 n 型半導体領域と前記第 1 電極とが接触する面と、前記 p 型半導体領域と前記第 2 電極とが接する面とは、異なる平面上にある、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】

従来から、半導体材料として窒化ガリウム (GaN) を用い、p 型不純物を含む p 型半導体領域と n 型不純物を含む n 型半導体領域とを備える半導体装置が知られている (例えば、特許文献 1 など)。

【0003】

特許文献 1 において、n 型半導体領域と接するソース電極は、n 型半導体領域とオーミック特性を得るために、チタン (Ti) およびアルミニウム (Al) により形成されており、p 型半導体領域と接するボディ電極は、p 型半導体領域とオーミック特性を得るために、ニッケル (Ni) により形成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2009 - 177110 号公報

【特許文献 2】特開平 7 - 045867 号公報

【特許文献 3】特開平 9 - 064337 号公報

【特許文献 4】特開 2006 - 313773 号公報

【特許文献 5】特許第 4175157 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

20

30

40

50

特許文献 1 において、n 型半導体領域と接する電極と、p 型半導体領域と接する電極とは、異なる材料により形成されている。しかし、n 型半導体領域と接する電極と、p 型半導体領域と接する電極とを異なる材料により形成する場合、それぞれの電極を異なる工程において形成する必要がある、製造工程が煩雑になる。このため、n 型半導体領域と接する電極と、p 型半導体領域と接する電極とを同じ材料により形成する技術が望まれていた。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部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。

10

本発明の第 1 の形態は、半導体装置であって、
ガリウムを含む窒化物半導体から形成された n 型半導体領域と、
前記 n 型半導体領域と接し、前記窒化物半導体から形成された p 型半導体領域と、
前記 n 型半導体領域とオーミック接触する第 1 電極と、
前記 p 型半導体領域とオーミック接触する第 2 電極と、を備え、
前記第 1 電極と、前記第 2 電極とは、同じ金属から主に形成されており、
前記同じ金属は、パラジウム、ニッケル、白金からなる群より選ばれる少なくとも一つの金属であり、

前記 n 型半導体領域の p 型不純物濃度と、前記 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、実質的に同じであり、

20

前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、半導体装置である。

また、本発明は以下の形態として実現することも可能である。

【0007】

(1) 本発明の一形態によれば、半導体装置が提供される。この半導体装置は、ガリウムを含む窒化物半導体から形成された n 型半導体領域と、前記 n 型半導体領域と接し、前記窒化物半導体から形成された p 型半導体領域と、前記 n 型半導体領域とオーミック接触する第 1 電極と、前記 p 型半導体領域とオーミック接触する第 2 電極と、を備え、前記第 1 電極と、前記第 2 電極とは、同じ金属から主に形成されており、前記同じ金属は、パラジウム、ニッケル、白金からなる群より選ばれる少なくとも一つの金属であり、前記 n 型半導体領域の p 型不純物濃度と、前記 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、実質的に同じであり、前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。この形態の半導体装置によれば、第 1 の電極と第 2 の電極とが同じ金属から主に形成されているため、製造時の煩雑さを軽減できる。

30

【0008】

(2) 上述の半導体装置において、前記第 1 電極と前記第 2 電極とは同一の電極であってもよい。この形態の半導体装置によれば、半導体装置の微細化が可能となる。

【0009】

(3) 上述の半導体装置において、前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 $1.0 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。この形態の半導体装置によれば、n 型半導体領域の表面の荒れを抑制できる。

40

【0010】

(4) 上述の半導体装置において、前記窒化物半導体は、アルミニウムとインジウムとの少なくとも一方を含んでもよい。この形態の半導体装置においても、第 1 の電極と第 2 の電極とを同じ金属から形成させることの妨げにならない。

【0011】

(5) 上述の半導体装置において、前記 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよい。この形態の半導体装置によれば、良好なオーミック接触を得ることができる。

【0012】

50

(6) 上述の半導体装置において、前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 $5.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよい。この形態の半導体装置によれば、より良好なオーミック接触を得ることができる。

【0013】

(7) 上述の半導体装置において、前記 n 型半導体領域において、n 型不純物濃度と p 型不純物濃度の差は、 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であってもよい。この形態の半導体装置によれば、さらに良好なオーミック接触を得ることができる。

【0014】

(8) 上述の半導体装置において、前記 p 型半導体領域に含まれる p 型不純物は、マグネシウムと亜鉛との少なくとも一方を含んでもよい。この形態の半導体装置においても、第 1 の電極と第 2 の電極とを同じ金属から形成させることの妨げにならない。

10

【0015】

(9) 上述の半導体装置において、前記 n 型半導体領域に含まれる n 型不純物は、ケイ素とゲルマニウムとの少なくとも一方を含んでもよい。この形態の半導体装置においても、第 1 の電極と第 2 の電極とを同じ金属から形成させることの妨げにならない。

【0016】

(10) 上述の半導体装置において、前記 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、前記第 2 電極と接触する面から離れるほど低くなってもよい。この形態の半導体装置によれば、p 型半導体領域と第 2 電極との接触抵抗を軽減できる。

【0017】

20

(11) 上述の半導体装置において、前記 n 型半導体領域と前記第 1 電極とが接触する面と、前記 p 型半導体領域と前記第 2 電極とが接する面とは、異なる平面上であってもよい。この形態の半導体装置によれば、第 1 の電極と第 2 の電極とが同じ金属から主に形成されているため、製造時の煩雑さを軽減できる。

【0018】

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】

【0019】

30

本願発明の半導体装置によれば、第 1 の電極と第 2 の電極とが同じ金属から主に形成されているため、製造時の煩雑さを軽減できる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【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】第 1 実施形態における半導体装置の製造方法を示す工程図。

【図 3】結晶成長後の基板の状態を模式的に示す断面図。

【図 4】膜が形成された状態を模式的に示す断面図。

【図 5】マスクが形成された状態を模式的に示す断面図。

【図 6】イオン注入が p 型半導体領域に行われた状態を模式的に示す断面図。

40

【図 7】キャップ膜が形成された状態を模式的に示す断面図。

【図 8】第 1 評価試験に用いた半導体素子の構成を模式的に示す断面図。

【図 9】上方 (+Z 軸方向側) から半導体素子の構成を模式的に示す図。

【図 10】第 1 評価試験の結果を示す図。

【図 11】第 2 評価試験の結果を示す図。

【図 12】第 3 評価試験の結果を示す図。

【図 13】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 14】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 15】変形例を示す模式図。

【図 16】変形例を示す模式図。

50

【発明を実施するための形態】

【0021】

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。半導体装置100は、窒化ガリウム（GaN）を用いて形成されたGaN系の半導体装置である。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。

【0022】

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。

【0023】

半導体装置100は、基板110と、半導体層112と、p型半導体領域114と、n型半導体領域116と、を備える。p型半導体領域114は、半導体層114とも呼び、n型半導体領域116は、半導体層116とも呼ぶ。半導体装置100は、さらに、絶縁膜130と、第1電極141と、第2電極144と、ゲート電極142と、ドレイン電極143とを備え、また、トレンチ122、128を有する。

【0024】

半導体装置100の基板110は、X軸およびY軸に沿って広がる板状を成す半導体である。本実施形態では、基板110は、ガリウム（Ga）を含む窒化物半導体から主に形成されている。本実施形態では、基板110は、主に、窒化ガリウム（GaN）から形成されている。本明細書の説明において、「Xから主に形成されている」とは、モル分率においてXを90%以上含有することを意味する。本実施形態では、基板110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。

【0025】

半導体装置100の半導体層112は、基板110の+Z軸方向側に位置し、X軸およびY軸に沿って広がる第1の半導体層である。本実施形態では、半導体層112は、窒化ガリウム（GaN）から主に形成されている。本実施形態では、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、半導体層112に含まれるケイ素（Si）濃度の平均値は、約 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。本実施形態では、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。本実施形態では、半導体層112の厚さ（Z軸方向の長さ）は、約 $10 \mu\text{m}$ （マイクロメートル）である。

【0026】

半導体装置100のp型半導体領域114は、半導体層112の+Z軸方向側に位置し、X軸およびY軸に沿って広がる第2の半導体層である。p型半導体領域114は、ガリウム（Ga）を含む窒化物半導体により形成されている。本実施形態において、p型半導体領域114は、窒化ガリウム（GaN）から主に形成されている。

【0027】

本実施形態では、p型半導体領域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型半導体の領域である。本実施形態では、p型半導体領域114に含まれるマグネシウム（Mg）濃度の平均値は、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。本実施形態では、p型半導体領域114は、MOCVDによって半導体層112の上に形成された層

10

20

30

40

50

である。本実施形態では、p型半導体領域114の厚さ（Z軸方向の長さ）は、約1.2 μm である。

【0028】

半導体装置100のn型半導体領域116は、p型半導体領域114の+Z軸方向側の一部に位置し、X軸およびY軸に沿って広がる第3の半導体層である。n型半導体領域116は、ガリウム（Ga）を含む窒化物半導体により形成されている。本実施形態において、p型半導体領域114は、窒化ガリウム（GaN）から主に形成されている。本実施形態では、n型半導体領域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。

【0029】

本実施形態では、n型半導体領域116は、p型半導体領域114の+Z軸方向側の一部に対してケイ素（Si）のイオン注入が行われたことにより形成された領域である。このため、p型半導体領域114のp型不純物濃度と、n型半導体領域116のp型不純物濃度は、実質的に同じである。また、p型半導体領域114とn型半導体領域116とは接している。なお、「実質的に同じ濃度」とは、濃度の差が ± 10 倍以内であることを示す。本実施形態では、n型半導体領域116に含まれるケイ素（Si）濃度の平均値は、 $2.1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。このため、本実施形態において、n型半導体領域116のp型不純物濃度と実質的に同じ濃度とは、 $2.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2.1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度を指す。

【0030】

n型半導体領域116において、n型不純物濃度とp型不純物濃度との差は、 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。本実施形態では、n型不純物濃度とp型不純物濃度との差は、 $2.1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0031】

半導体装置100のトレンチ122は、半導体層112、114、116に形成され、半導体層112、114、116の厚さ方向（-Z軸方向）に落ち込んだ溝部である。トレンチ122は、n型半導体領域116の+Z軸方向側からp型半導体領域114及びn型半導体領域116を貫通し、半導体層112に至る。本実施形態では、トレンチ122は、半導体層112、114、116に対するドライエッチングによって形成される。

【0032】

半導体装置100のトレンチ128は、p型半導体領域112、114に形成され、半導体層112、114の厚さ方向（-Z軸方向）に落ち込んだ溝部である。トレンチ128は、p型半導体領域114の+Z軸方向側からp型半導体領域114を貫通し、半導体層112に至る。トレンチ128は、基板110上に形成された他の素子から半導体装置100を分離するために用いる。本実施形態では、トレンチ128は、n型半導体領域116より-X軸方向側に位置する。本実施形態では、トレンチ128は、p型半導体領域112、114に対するドライエッチングによって形成される。

【0033】

半導体装置100の絶縁膜130は、電気絶縁性を有する膜である。絶縁膜130は、トレンチ122の内側から外側にわたって形成されている。本実施形態では、絶縁膜130は、トレンチ122の内側に加え、p型半導体領域114およびn型半導体領域116における+Z軸方向側の面、並びに、トレンチ128の内側にわたって形成されている。本実施形態では、絶縁膜130は、二酸化ケイ素（ SiO_2 ）から主に形成されている。本実施形態では、絶縁膜130は、原子層堆積法（ALD：Atomic Layer Deposition）によって形成された膜である。

【0034】

絶縁膜130は、コンタクトホール121と、コンタクトホール124とを有する。コンタクトホール121は、絶縁膜130を貫通してn型半導体領域116に至る貫通孔である。コンタクトホール124は、絶縁膜130を貫通してp型半導体領域114に至る貫通孔である。本実施形態では、コンタクトホール121、124は、絶縁膜130に対

10

20

30

40

50

するウェットエッチングによって形成される。

【0035】

半導体装置100の第1電極141は、コンタクトホール121に形成された電極である。第1電極141は、n型半導体領域116とオーミック接触する。ここで、オーミック接触とは、ショットキー接触ではなく、コンタクト抵抗が比較的低い接触を意味する。本実施形態では、第1電極141は、パラジウム(Pd)から主に形成されている。

【0036】

半導体装置100の第2電極144は、コンタクトホール124に形成された電極である。第2電極144は、p型半導体領域114とオーミック接触する。本実施形態では、第2電極144は、第1電極141の材料と同じ金属であるパラジウム(Pd)から主に形成されている。

10

【0037】

半導体装置100のゲート電極142は、絶縁膜130を介してトレンチ122に形成された電極である。本実施形態では、ゲート電極142は、アルミニウム(Al)から主に形成されている。ゲート電極142に電圧が印加された場合、p型半導体領域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、第1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。

【0038】

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とオーミック接触する。本実施形態では、ドレイン電極143は、チタン(Ti)から形成されている層にアルミニウム(Al)から形成されている層を積層した後にアニール処理(熱処理)した電極である。

20

【0039】

A-2. 半導体装置の製造方法

図2は、第1実施形態における半導体装置100の製造方法を示す工程図である。まず、製造者は、基板110を用意する。本実施形態では、基板110は、窒化ガリウム(GaN)から主に形成されており、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。

【0040】

製造者は、基板110の上に半導体層112, 114をこの順に、結晶成長によって形成する(工程P110)。本実施形態では、製造者は、MOCVDを用いて半導体層112, 114を形成する。

30

【0041】

図3は、結晶成長後の基板110の状態を模式的に示す断面図である。本実施形態では、半導体層112は、窒化ガリウム(GaN)から主に形成され、ケイ素(Si)を第1のドナー元素として含有するn型半導体である。また、本実施形態では、p型半導体領域114は、窒化ガリウム(GaN)から主に形成され、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。図3に示すとおり、基板110の上に半導体層112が形成され、半導体層112の上にp型半導体領域114が形成されている。なお、p型半導体領域114におけるp型不純物濃度は、結晶成長の条件を調整することにより、所望の濃度に調整することができる。

40

【0042】

結晶成長(工程P110(図2参照))の後、製造者は、p型半導体領域114中のマグネシウム(Mg)を活性化させるための熱処理を行う(工程P115)。

【0043】

熱処理(工程P115)の後、製造者は、p型半導体領域114の上からドナー元素をイオン注入する(工程P120)。本実施形態では、製造者は、第2のドナー元素としてケイ素(Si)をp型半導体領域114の中にイオン注入する。具体的には、まず、製造者は、p型半導体領域114の上に膜を形成する。

【0044】

50

図4は、膜210が形成された状態を模式的に示す断面図である。膜210は、イオン注入にて注入される不純物のp型半導体領域114における分布を調整するために用いる。つまり、膜210は、p型半導体領域114に注入されるドナー元素をp型半導体領域114の表面近傍に集めるために用いる。また、膜210は、イオン注入に伴うp型半導体領域114における表面の損傷を防止する機能も有する。本実施形態において、膜210として、膜厚が30nmである二酸化ケイ素(SiO_2)の膜を用いる。本実施形態では、製造者は、プラズマCVD(化学気相成長:Chemical Vapor Deposition)によって膜210を形成する。次に、製造者は、膜210上の一部にマスク220を形成する。

【0045】

図5は、マスク220が形成された状態を模式的に示す断面図である。マスク220は、p型半導体領域114のドナー元素を注入しない領域の上に形成される。本実施形態では、製造者は、フォトリソスト(Photoresist)によってマスク220を形成する。本実施形態では、マスク220の膜厚は、約2 μm である。

【0046】

次に、製造者は、p型半導体領域114の上からドナー元素をイオン注入する(工程P120)。本実施形態では、製造者は、p型半導体領域114に対してドナー元素であるケイ素(Si)をイオン注入する。本実施形態において、イオン注入の回数は、2回であり、イオン注入の態様を以下に示す。

<イオン注入の態様>

・1回目

加速電圧:50keV

ドーズ量: $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

・2回目

加速電圧:100keV

ドーズ量: $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

【0047】

図6は、イオン注入がp型半導体領域114に行われた状態を模式的に示す断面図である。イオン注入により、膜210のうちマスク220に覆われていない部分の下において、p型半導体領域114にドナー元素が注入された領域としてイオン注入領域116Aが形成される。

【0048】

イオン注入領域116Aにおけるn型不純物濃度は、膜210の材質や膜厚、イオン注入の加速電圧やドーズ量を調整することにより所望の濃度に調整することができる。なお、イオン注入領域116Aは、注入されたn型不純物がドナー元素として機能するように活性化されていないため、n型の導電性を有していない。このため、イオン注入領域116Aは、抵抗が高い領域である。

【0049】

次に、製造者は、p型半導体領域114にドナー元素を注入した後、p型半導体領域114の表面から膜210及びマスク220を除去する。本実施形態では、製造者は、ウェットエッチングによってマスク220及び膜210を除去する。以上により、イオン注入(工程P120(図2参照))が完了する。

【0050】

イオン注入(工程P120)を行った後、製造者は、n型半導体領域116におけるドナー元素を活性化させるために活性化アニール(工程P130)を行う。活性化アニールにおいて、製造者は、p型半導体領域114を加熱することによって、n型の導電性を有するn型半導体領域116をp型半導体領域114の上に形成する。まず、製造者は、p型半導体領域114及びイオン注入領域116Aの上にキャップ膜240を形成する。

【0051】

図7は、キャップ膜240が形成された状態を模式的に示す断面図である。キャップ膜240は、加熱に伴うp型半導体領域114及びイオン注入領域116Aにおける表面の

10

20

30

40

50

損傷を防止する機能を有する。本実施形態では、製造者は、プラズマCVDによってキャップ膜240を形成する。また、本実施形態では、キャップ膜240は、窒化ケイ素(SiN)から主に形成されており、膜厚は、約50nmである。

【0052】

次に、製造者は、p型半導体領域114及びイオン注入領域116Aを加熱する。p型半導体領域114及びイオン注入領域116Aを加熱する温度は、800以上1250以下であることが好ましい。本実施形態では、製造者は、次の条件で熱処理を行う。

<熱処理の条件>

雰囲気ガス：窒素

加熱温度：1150

加熱時間：4分

10

【0053】

熱処理により、イオン注入領域116Aがn型半導体領域116となる。熱処理の後、製造者は、p型半導体領域114及びイオン注入領域116A(n型半導体領域116)の上からキャップ膜240を除去する。本実施形態では、製造者は、ウェットエッチングによってキャップ膜240を除去する。以上により、活性化アニール(工程P130(図2参照))が完了する。

【0054】

活性化アニール(工程P130)を行った後、製造者は、ドライエッチングによってトレンチ122, 128を形成する(工程P140)。本実施形態では、製造者は、塩素系ガスを用いたドライエッチングによってトレンチ122, 128を形成する。

20

【0055】

トレンチ122, 128を形成した後(工程P140)、製造者は、絶縁膜130を形成する(工程P150)。本実施形態では、製造者は、p型半導体領域114及びn型半導体領域116の+Z軸方向側に露出した表面に対して、ALDによって絶縁膜130を成膜する。

【0056】

その後、製造者は、第1電極141と、第2電極144と、ゲート電極142と、ドレイン電極143とを形成する(工程P160)。具体的には、製造者は、絶縁膜130にコンタクトホール121, 124(図1参照)をウェットエッチングによって形成する。その後、製造者は、同一の工程において、コンタクトホール121に第1電極141を形成し、コンタクトホール124に第2電極144を形成する。第1電極141および第2電極144を形成した後、製造者は、トレンチ122の上に絶縁膜130を介してゲート電極142を形成する。ゲート電極142を形成した後、製造者は、基板110の上にドレイン電極143を形成する。これらの工程を経て、半導体装置100が完成する。

30

【0057】

A-3. 効果

第1実施形態によれば、第1電極141と第2電極144とが同じ金属から主に形成されているため、第1電極141と第2電極144とを同じ工程により形成することができる。このため、製造時の煩雑さを軽減できる。

40

【0058】

また、第1電極141と第2電極144とを異なる工程により形成する場合、フォトリソによる複数回のマスク形成が必要となる。しかし、第1電極141と第2電極144とを同じ工程により形成することができるため、マスク形成を行う回数を軽減できる。この結果として、マスク形成の回数に起因する設計誤差についても少なくすることができ、半導体装置の微細化が可能となる。

【0059】

なお、第1電極141と第2電極144とを同じ金属から主に形成させることを可能とするためには、n型半導体領域116とオーミック接触が得られ、かつp型半導体領域114ともオーミック接触が得られる条件であることが必要となる。本実施形態の半導体装

50

置 1 0 0 がこの条件を満たすことを裏付ける評価試験を以下に示す。

【 0 0 6 0 】

A - 4 . 第 1 評価試験

図 8 は、第 1 評価試験に用いた半導体素子 3 0 0 の構成を模式的に示す断面図である。図 8 には、図 1 と同様に、X Y Z 軸が図示されている。半導体素子 3 0 0 は、基板 3 1 0 と、バッファ層 3 1 1 と、半導体層 3 1 2 と、p 型半導体領域 3 2 0 と、n 型半導体領域 3 3 0 と、電極 3 4 1 , 3 4 4 とを備える。半導体素子 3 0 0 は、伝送線路モデル (Transfer Length Model: T L M) に基づく方法により接触抵抗を測定するために用いる素子である。

【 0 0 6 1 】

半導体素子 3 0 0 の基板 3 1 0 は、サファイアから主に形成されている。半導体素子 3 0 0 のバッファ層 3 1 1 は、基板 3 1 0 の上に M O C V D によって形成された層である。

【 0 0 6 2 】

半導体素子 3 0 0 の半導体層 3 1 2 は、バッファ層 3 1 1 の上に M O C V D によって形成された層である。半導体層 3 1 2 は、窒化ガリウム (G a N) から主に形成されている真性半導体 (i 型半導体) である。

【 0 0 6 3 】

半導体素子 3 0 0 の p 型半導体領域 3 2 0 は、半導体層 3 1 2 の上に M O C V D によって形成された領域である。p 型半導体領域 3 2 0 は、窒化ガリウム (G a N) から主に形成され、マグネシウム (M g) をアクセプタ元素として含有する p 型半導体である。半導体素子 3 0 0 は、p 型半導体領域 3 2 0 中のマグネシウム (M g) を活性化させるための熱処理が予め行われている。

【 0 0 6 4 】

半導体素子 3 0 0 の n 型半導体領域 3 3 0 は、p 型半導体領域 3 2 0 に対するイオン注入によって形成された領域である。このため、n 型半導体領域 3 3 0 における p 型不純物濃度は、p 型半導体領域 3 2 0 における p 型不純物濃度と同じである。n 型半導体領域 3 3 0 は、窒化ガリウム (G a N) から主に形成されている領域である。なお、p 型半導体領域 3 2 0 の構造は、半導体装置 1 0 0 の p 型半導体領域 1 1 4 と対応する、n 型半導体領域 3 3 0 の構造は、半導体装置 1 0 0 の n 型半導体領域 1 1 6 と対応する。

【 0 0 6 5 】

電極 3 4 1 は、n 型半導体領域 3 3 0 と接する電極であり、電極 3 4 4 は、p 型半導体領域 3 2 0 と接する電極である。なお、電極 3 4 1 は、半導体装置 1 0 0 の第 1 電極 1 4 1 と対応する。電極 3 4 4 は、半導体装置 1 0 0 の第 2 電極 1 4 4 と対応する。

【 0 0 6 6 】

図 9 は、上方 (+ Z 軸方向側) から半導体素子 3 0 0 の構成を模式的に示す図である。電極 3 4 1 の X 軸方向の幅は、電極 3 4 4 の X 軸方向の幅と同じであり、2 0 0 μ m である。また、電極 3 4 1 は、それぞれ 4 個ずつ Y 軸方向に並んで配されており、Y 軸方向におけるそれぞれの電極 3 4 4 の間隔は、+ Y 軸方向側から順に、5 μ m、1 0 μ m、1 5 μ m である。電極 3 4 4 の配置についても同様である。この評価試験では、互いに隣接する電極 3 4 1 同士に電流を流し、また、互いに隣接する電極 3 4 4 同士に電流を流すことにより、接触抵抗を測定する。

【 0 0 6 7 】

図 1 0 は、第 1 評価試験の結果を示す図である。図 1 0 において、各項目は以下の内容を意味する。「電極」の項目は、電極 3 4 1 および電極 3 4 4 の材料及び厚さを示す。「p 型不純物 M g 濃度 (N a) [c m ⁻³]」は、n 型半導体領域 3 3 0 における p 型不純物であるマグネシウム (M g) の濃度 [c m ⁻³] を示す。「n 型不純物 S i 濃度 (N d) [c m ⁻³]」は、n 型半導体領域 3 3 0 における n 型不純物であるケイ素 (S i) の濃度 [c m ⁻³] を示す。「N d - N a [c m ⁻³]」は、n 型不純物 S i 濃度 (N d) [c m ⁻³] から p 型不純物 M g 濃度 (N a) [c m ⁻³] を差し引いた濃度 [c m ⁻³] を示す。濃度は、いずれも二次イオン質量分析法 (S I M S : Secondary Ion Mass Spe

10

20

30

40

50

ctrometry) により測定した値を示す。なお、各濃度は、電極と接する面における濃度を測定することが好ましいが、二次イオン質量分析法により分析する際、最表面では正確な分析が困難であるため、最表面から深さが 25 nm の地点における濃度を示す。

【0068】

「接触抵抗 [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]」は、伝送線路モデル (Transfer Length Model: TLM) に基づく方法により接触抵抗を測定した値 [$\Omega \cdot \text{cm}^2$] を示す。この項目における「-」とは、抵抗が高すぎるために接触抵抗が評価できなかったことを示す。また、「評価結果」は、接触抵抗を以下のように評価した結果である。

- ・ A: 接触抵抗が、 $2.0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下の場合
- ・ B: 接触抵抗が、 $2.0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ より大きく、 $2.0 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下の場合
- ・ C: 接触抵抗が、 $2.0 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^2$ より大きく接触抵抗が評価できなかった場合

【0069】

一般に、n 型 GaN に対してパラジウム (Pd) やニッケル (Ni) を用いた電極を形成する場合、オーミック特性が得られないことが知られている (例えば、「A. C. Schmitz, et al. Journal of Electric Materials, Vol. 27, No.4, p.255-260 (1998)」参照)。しかし、図 10 に示す実施例 1 から 7 の結果から、「Nd - Na [cm^{-3}]」が $1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上である場合、接触抵抗が低く、n 型半導体領域 330 に対してパラジウム (Pd) やニッケル (Ni) を用いた電極を形成した場合においても、オーミック特性が得られることが分かる。なお、「Nd - Na [cm^{-3}]」がより小さい $6.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ である場合、比較例 1 及び 2 に示すように、n 型半導体領域 330 に対してパラジウム (Pd) やニッケル (Ni) を用いた電極を形成した場合においても、オーミック特性が得られないことが分かる。

【0070】

より低い接触抵抗を得る観点から、「Nd - Na [cm^{-3}]」は、 $1.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上であることが好ましく、 $3.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上であることがより好ましく、 $5.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上であることがさらに好ましく、 $1.0 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上であることがよりいっそう好ましい。一方、イオン注入による半導体の表面の荒れを抑制する観点から、「Nd - Na [cm^{-3}]」は、 $1.0 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $4.0 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましい。また、「p 型不純物 Mg 濃度 (Na) [cm^{-3}]」は、 $1.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。

【0071】

A - 5. 第 2 評価試験

試験者は、第 1 評価試験の実施例 2 と実施例 7 のサンプルを用いて、接触抵抗と熱処理の有無及び熱処理温度との関係性を評価した。

【0072】

図 11 は、第 2 評価試験の結果を示す図である。図 11 において、「熱処理温度 []」は、熱処理の温度を示し、他の項目は図 10 と同じ内容を意味する。「熱処理温度 []」の項目において「なし」とは、熱処理を行っていないことを示す。熱処理条件は、窒素雰囲気下にて 5 分とした。なお、図 10 における実施例 2 と図 11 における実施例 8 は同じ結果を示し、図 10 における実施例 7 と図 11 における実施例 13 は同じ結果を示す。

【0073】

図 11 に示す結果から、熱処理の有無や熱処理温度の差により、接触抵抗は大きく変動しないことが分かる。つまり、「Nd - Na [cm^{-3}]」が $1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上である場合、熱安定性の高い半導体装置が得られることが分かる。また、電極を形成後に、熱処理を行ってもよく、行わなくてもよいことが図 11 に示す結果から分かる。

【0074】

10

20

30

40

50

A - 6 . 第 3 評価試験

試験者は、第 1 評価試験の電極として用いたパラジウム (P d) やニッケル (N i) の代わりに、電極としてその他の金属を用いた場合に、 p 型半導体領域 3 2 0 に対するオーミック特性が得られるかどうかの評価を行った。

【 0 0 7 5 】

図 1 2 は、第 3 評価試験の結果を示す図である。この試験では、試験者は、 I V 特性からオーミック特性が得られるかどうかを評価した。パラジウム (P d) 及びニッケル (N i) の代わりの電極として、半導体と接触する側から順にチタン (T i) 層 (厚み : 3 0 n m) と、アルミニウム (A l) 層 (厚み : 3 0 0 n m) とを積層した電極 (「 比較電極 」 とも呼ぶ) を用いた。

10

【 0 0 7 6 】

図 1 2 において、紙面左側から順に、 (i) 電極としてパラジウム (P d) を用いた場合の結果と、 (i i) 電極としてニッケル (N i) を用いた結果と、 (i i i) 比較電極を用いた結果を示す。図 1 2 において、縦軸は電流 [m A] を示し、横軸は電圧 [V] を示す。

【 0 0 7 7 】

図 1 2 に示す結果から、電極としてパラジウム (P d) やニッケル (N i) を用いた場合において、電極と半導体との間にオーミック特性が得られることが分かった。一方、比較電極を用いた場合において、 ± 5 V 以上の電圧を印加するまで電流が流れず、比較電極と半導体との間にオーミック特性が得られないことが分かった。換言すると、パラジウム (P d) やニッケル (N i) では、 p 型 G a N に対してオーミック特性が得られたが、比較電極では、 p 型 G a N に対してオーミック特性が得られないことが分かった。

20

【 0 0 7 8 】

B . 第 2 実施形態

図 1 3 は、第 2 実施形態における半導体装置 1 0 0 A の構成を模式的に示す断面図である。半導体装置 1 0 0 A は、第 1 実施形態における半導体装置 1 0 0 と比較して、第 1 電極 1 4 1 及び第 2 電極 1 4 4 が同一の電極 1 4 1 A で形成されている点が異なるが、それ以外は同じである。つまり、半導体装置 1 0 0 A は、第 1 実施形態における第 1 電極 1 4 1 及び第 2 電極 1 4 4 の機能を有し、第 1 実施形態における第 1 電極 1 4 1 及び第 2 電極 1 4 4 が連続してつながっている電極 1 4 1 A を備える。このような形態とすることにより、半導体装置 1 0 0 A の微細化が可能となる。第 1 実施形態では、第 1 電極 1 4 1 と第 2 電極 1 4 4 とを接触させないために、フォトリソストによるパターンニングの限界寸法を考慮する必要があるが、第 2 実施形態では、第 1 実施形態に比べて、そのようなことを考慮しなくてよい。

30

【 0 0 7 9 】

C . 第 3 実施形態

図 1 4 は、第 3 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。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、 p 型半導体領域 1 1 4 と第 2 電極 1 4 4 との間に、 p 型半導体領域 1 1 8 を備える点が異なるが、それ以外は同じである。本実施形態において、 p 型半導体領域 1 1 8 は、 p 型不純物であるマグネシウム (M g) 濃度が p 型半導体領域 1 1 4 よりも高い層である。本実施形態において、 p 型半導体領域の p 型不純物濃度は、第 2 電極 1 4 4 と接触する面から離れるほど低くなる。このような形態とすることにより、 p 型半導体領域 1 1 8 と第 2 電極 1 4 4 との接触抵抗を低くすることができる。なお、第 3 実施形態の半導体装置 1 0 0 B において、第 1 電極 1 4 1 と第 2 電極 1 4 4 とは異なる電極として形成されているが、第 1 電極 1 4 1 と第 2 電極 1 4 4 とは同一の電極により形成されていてもよい。

40

【 0 0 8 0 】

D . 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

50

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。

【0081】

上述の実施形態において、第2電極144とp型半導体領域114とが接する面と、第1電極141とn型半導体領域116とが接する面とは同一平面上である。しかし、本発明はこれに限られない。第2電極144とp型半導体領域114とが接する面と、第1電極141とn型半導体領域116とが接する面とは同一平面上でなく、異なる平面上であ

10

【0082】

図15及び図16は、変形例を示す模式図であり、第2電極144とp型半導体領域114とが接する面と、第1電極141とn型半導体領域116とが接する面とは同一平面上でない態様を示す模式図である。図15において、第2電極144とp型半導体領域114Cとが接する面が、第1電極141とn型半導体領域116とが接する面よりも下方（-Z軸方向側）に位置する。図16において、第1電極141とn型半導体領域116とが接する面が、第2電極144とp型半導体領域114Dとが接する面よりも下方（-Z軸方向側）に位置する。なお、図16において、n型半導体領域116の下方には、基板110が配されているが、Z軸方向におけるn型半導体領域116と基板110との間に、p型半導体領域114Dが配されていてもよい。

20

【0083】

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MOSFETに限られず、例えば、pn接合ダイオードや、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）などであってもよい。

【0084】

上述の実施形態において、第1電極141と第2電極144とは、パラジウム（Pd）から主に形成されている。しかし、本発明はこれに限らない。パラジウム（Pd）の変わりに、ニッケル（Ni）や白金（Pt）を用いてもよい。これらの元素は、いずれも第10族元素であり、物理化学的な特性が似ている。また、パラジウム（Pd）の仕事関数は5.12eVであり、ニッケル（Ni）の仕事関数は5.15eVであり、白金（Pt）の仕事関数は5.65eVである。つまり、これらの元素の仕事関数はいずれも5.1eV以上であり、この点においてもこれらの元素の特性が似ている。

30

【0085】

上述の実施形態において、基板の材質は、窒化ガリウム（GaN）に限らず、窒化アルミニウムガリウム（AlGaN）でもよく、窒化インジウムガリウム（InGaN）でもよく、窒化アルミニウムガリウムインジウム（AlGaInN）でもよい。また、アルミニウムやガリウムやインジウムの配合比は特に限定されない。

【0086】

上述の実施形態において、p型半導体領域114に含まれるアクセプタ元素は、マグネシウム（Mg）であるが、例えば、亜鉛（Zn）を用いてもよい。

40

【0087】

上述の実施形態において、n型半導体領域116に含まれるドナー元素は、ケイ素（Si）であるが、例えば、ゲルマニウム（Ge）を用いてもよい。

【0088】

上述の実施形態において、イオン注入の回数は、1回であってもよいし、2回であってもよいし、3回以上であってもよい。イオン注入の条件（例えば、加速電圧およびドーズ量など）は、適宜調整できる。膜210の膜厚は、イオン注入の条件に応じて、適宜変更してよい。また、膜210の材質は、二酸化ケイ素（SiO₂）に限らず、窒化ケイ素（SiN）、酸窒化ケイ素（SiON）、酸化アルミニウム（Al₂O₃）であってもよい

50

。

【 0 0 8 9 】

上述の実施形態において、絶縁膜の材質は、電気絶縁性を有する材質であればよく、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。絶縁膜は、単層であってもよいし、2層以上であってもよい。絶縁膜を形成する手法は、ALDに限らず、ECRスパッタであってもよいし、ECR-CVDであってもよい。

【 符号の説明 】

10

【 0 0 9 0 】

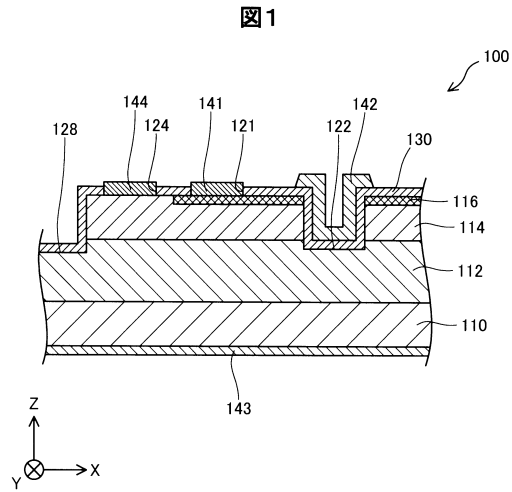
1 0 0 ... 半導体装置
 1 0 0 A ... 半導体装置
 1 0 0 B ... 半導体装置
 1 1 0 ... 基板
 1 1 2 ... 半導体層
 1 1 4 ... p型半導体領域 (半導体層)
 1 1 4 C ... p型半導体領域
 1 1 4 D ... p型半導体領域
 1 1 6 ... n型半導体領域 (半導体層)
 1 1 6 A ... イオン注入領域
 1 1 8 ... p型半導体領域
 1 2 1 ... コンタクトホール
 1 2 2 ... トレンチ
 1 2 4 ... コンタクトホール
 1 2 8 ... トレンチ
 1 3 0 ... 絶縁膜
 1 4 1 ... 第1電極
 1 4 1 A ... 電極
 1 4 2 ... ゲート電極
 1 4 3 ... ドレイン電極
 1 4 4 ... 第2電極
 2 1 0 ... 膜
 2 2 0 ... マスク
 2 4 0 ... キャップ膜
 3 0 0 ... 半導体素子
 3 1 0 ... 基板
 3 1 1 ... バッファ層
 3 1 2 ... 半導体層
 3 2 0 ... p型半導体領域
 3 3 0 ... n型半導体領域
 3 4 1 ... 電極
 3 4 4 ... 電極

20

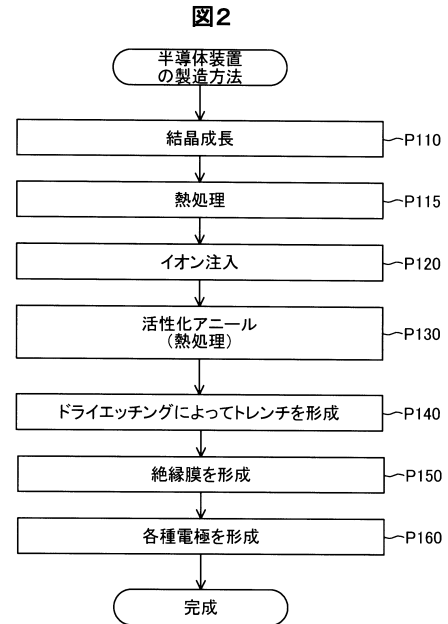
30

40

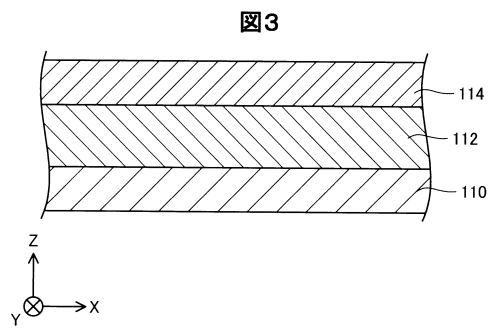
【図 1】



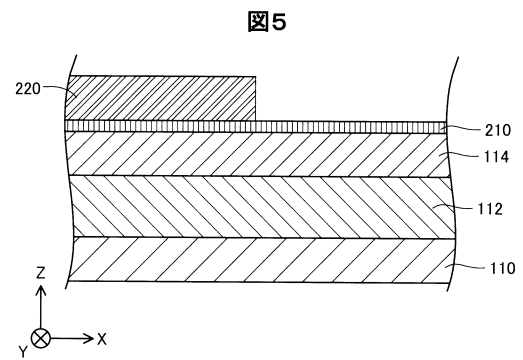
【図 2】



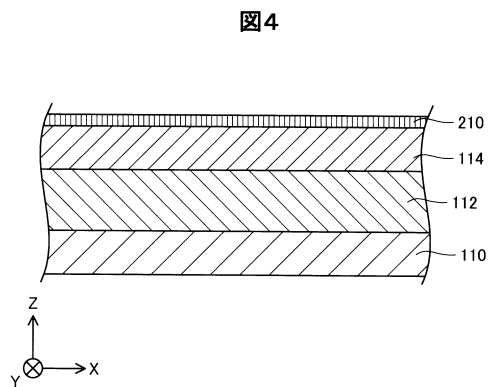
【図 3】



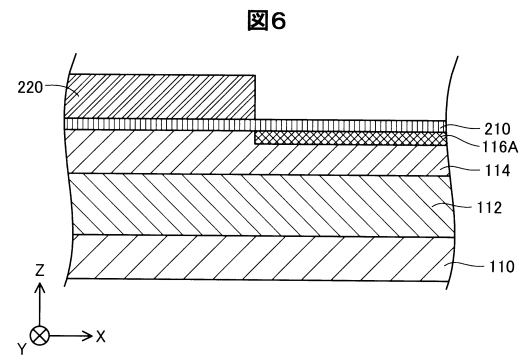
【図 5】



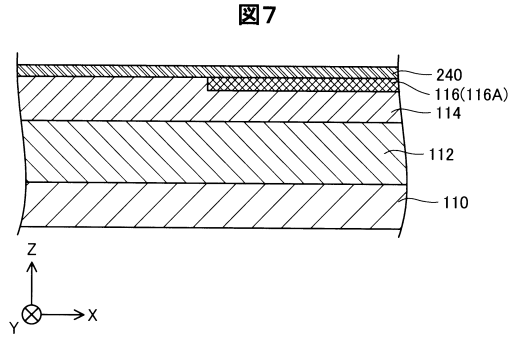
【図 4】



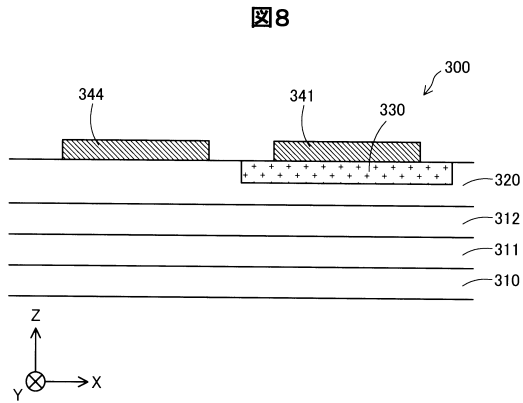
【図 6】



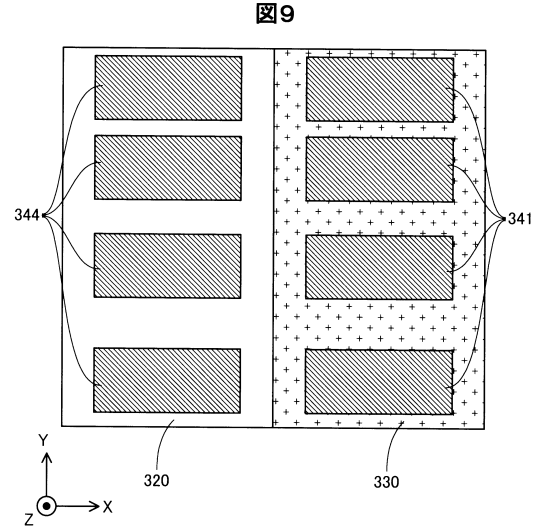
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 ㄨ 1 0 】

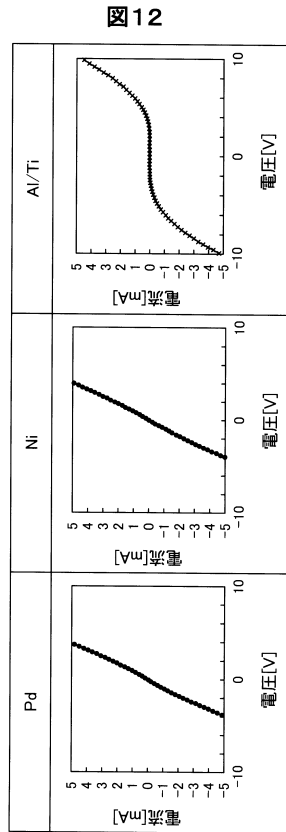
図10

		実案例							比較例		
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	
電極	Pd=100nm	Pd=100nm	Pd=100nm	Pd=100nm	Pd=100nm	Pd=100nm	Ni=100nm	Ni=100nm	Pd=100nm	Ni=100nm	
	型不純物Me濃度 [Na](cm ⁻³)	1.0×10 ¹⁸	1.0×10 ¹⁸	1.0×10 ¹⁸	4.0×10 ¹⁸	1.0×10 ¹⁹	1.0×10 ¹⁸	1.0×10 ¹⁸	4.0×10 ¹⁸	4.0×10 ¹⁹	
	型不純物Si濃度 [Na](cm ⁻³)	6.2×10 ²⁰	2.1×10 ²⁰	1.0×10 ²⁰	3.8×10 ¹⁹	2.7×10 ¹⁹	6.2×10 ²⁰	2.1×10 ²⁰	1.0×10 ¹⁹	1.0×10 ¹⁹	
	Nd-[Na](cm ⁻³)	6.2×10 ²⁰	2.1×10 ²⁰	9.4×10 ¹⁹	3.4×10 ¹⁹	1.7×10 ¹⁹	6.2×10 ²⁰	2.1×10 ²⁰	6.0×10 ¹⁸	6.0×10 ¹⁸	
摺射抵抗 [Ω・cm ²]		1.8×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁵	3.9×10 ⁻⁵	1.5×10 ⁻⁵	5.0×10 ⁻⁴	7.7×10 ⁻⁶	7.2×10 ⁻⁶	—	—	
評価結果		A	A	A	A	B	A	A	C	C	

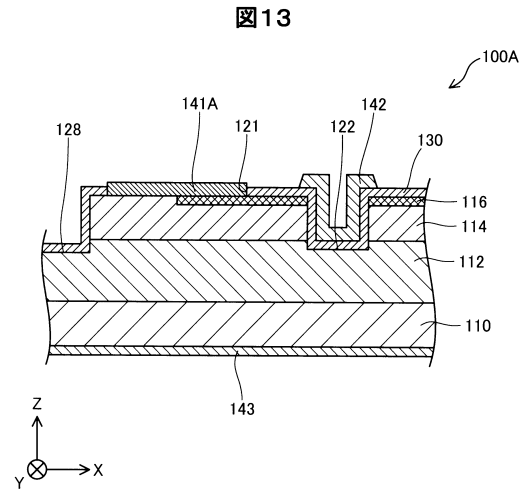
【 図 1 1 】

[illegible]

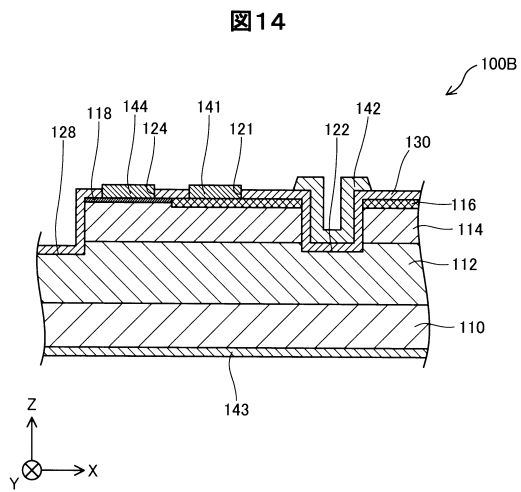
【図 12】



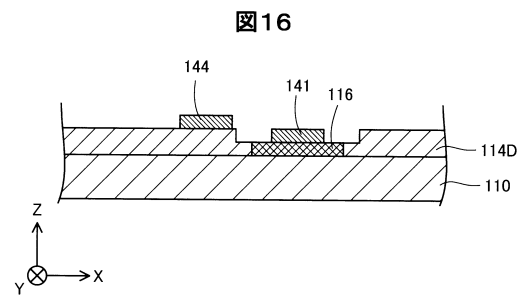
【図 13】



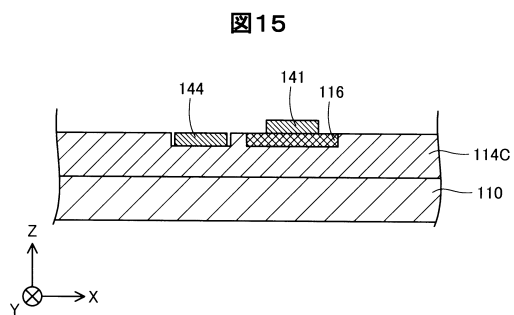
【図 14】



【図 16】



【図 15】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		
	H 0 1 L	29/78	6 5 2 D
	H 0 1 L	29/78	6 5 8 F
	H 0 1 L	29/78	6 5 2 B
	H 0 1 L	21/28	3 0 1 R

(56)参考文献 特開2009-283692(JP,A)
特開2009-177110(JP,A)
特開平09-232632(JP,A)
特開平06-275868(JP,A)
特開2015-056486(JP,A)
特開2014-116483(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 1 / 2 8
H 0 1 L	2 1 / 3 3 6
H 0 1 L	2 9 / 1 2