

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 12 月 20 日(20.12.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/172933 A1

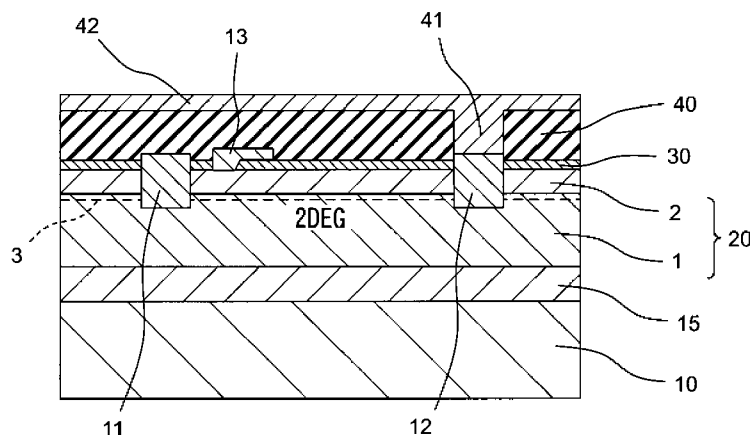
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/28 (2006.01) H01L 29/41 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01) H01L 29/417 (2006.01)
C23C 14/58 (2006.01) H01L 29/778 (2006.01)
H01L 21/285 (2006.01) H01L 29/812 (2006.01)
H01L 21/338 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/062952
- (22) 国際出願日: 2012 年 5 月 21 日(21.05.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-135688 2011 年 6 月 17 日(17.06.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について):
シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA)
[JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町
2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 藤田 耕一
郎(FUJITA, Koichiro) [JP/—].
- (74) 代理人: 鮫島 睦, 外(SAMEJIMA, Mutsumi et al.);
〒5400001 大阪府大阪市中央区城見 1 丁目 3 番
7 号 I M P ビル青山特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 窒化物半導体装置およびその製造方法

[図1]



(57) Abstract: This nitride semiconductor device is provided with: an undoped GaN layer (1) and an undoped AlGaN layer (2), which are formed on an Si substrate (10); and ohmic electrodes (a source electrode (11) and a drain electrode (12)), which are formed on the undoped GaN layer (1) and the undoped AlGaN layer (2), and are composed of Ti/Al/TiN. The oxygen concentration of the ohmic electrodes is $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ to $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Consequently, the nitride semiconductor device having reduced contact resistance between the nitride semiconductor layers and the ohmic electrodes is provided.

(57) 要約: Si基板(10)上に形成されたアンドープGaN層(1)、アンドープAlGaN層(2)と、アンドープGaN層(1)、アンドープAlGaN層(2)上に形成されたTi/Al/TiNからなるオーミック電極(ソース電極(11)、ドレイン電極(12))とを備える。上記オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。これにより、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる窒化物半導体装置を提供する。

WO 2012/172933 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：窒化物半導体装置およびその製造方法

技術分野

[0001] この発明は、窒化物半導体装置およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、窒化物半導体装置としては、 n 型Ga N コンタクト層の表面に酸素プラズマ処理を行って酸素ドーパ層を形成した後に、その n 型Ga N コンタクト層上にオーミック電極を形成することによって、 n 型Ga N コンタクト層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減するものがある(例えば、特許第2967743号(特許文献1)参照)。

[0003] ところが、上記窒化物半導体装置について、本発明者が実際に実験を行ってGa N 層に酸素プラズマ処理を行った後にオーミック電極を形成した場合、オーミック電極のコンタクト抵抗が高く、十分に低いコンタクト抵抗を得ることはどうしてもできなかった。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第2967743号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] そこで、この発明の課題は、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる窒化物半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明者は、上記従来の窒化物半導体装置のようにGa N 層側に酸素をドーパさせることなく、窒化物半導体層上に形成されたオーミック電極のコンタクト抵抗について鋭意検討した結果、TiAl系材料からなるオーミック電極中に酸化物ができない程度の酸素原子を不純物として含有させたとき、オー

ミック電極中の酸素濃度に応じて窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗の特性が変化することを発見した。

[0007] 本発明は、このような本発明者の発見に基づいて、オーミック電極中の酸素濃度が特定の範囲内であるときにコンタクト抵抗が大幅に減少することを実験により初めて見出したものである。

[0008] すなわち、第1の発明の窒化物半導体装置は、
基板と、
上記基板上に形成された窒化物半導体層と、
上記窒化物半導体層上に形成されたTiAl系材料からなるオーミック電極と
を備え、

上記TiAl系材料からなるオーミック電極中の酸素濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする。

[0009] ここで、上記窒化物半導体装置の窒化物半導体は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $0 \leq x + y \leq 1$)で表されるものであればよい。また、TiAl系材料としては、少なくともTi/Alからなり、その上にTiNのキャップ層を積層してもよいし、Alの上にAu, Ag, Ptなどを積層してもよい。

[0010] 上記構成によれば、TiAl系材料からなるオーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることによって、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0011] また、一実施形態の窒化物半導体装置では、
上記窒化物半導体層は、上記基板上に順に積層された第1半導体層およびその第1半導体層とヘテロ界面を形成する第2半導体層を含み、
上記第1半導体層と上記第2半導体層とのヘテロ界面に2次元電子ガスが形成され、
上記第2半導体層を貫通して上記第1半導体層の上側の一部に凹部が形成され、上記凹部に上記オーミック電極の少なくとも一部が埋め込まれている。

[0012] 上記実施形態によれば、第2半導体層を貫通して第1半導体層の上側の一部に形成された凹部に、オーミック電極の少なくとも一部が埋め込まれたりセス構造の窒化物半導体装置において、第1半導体層と第2半導体層とのヘテロ界面の2次元電子ガスとオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0013] また、一実施形態の窒化物半導体装置では、
上記TiAl系材料からなるオーミック電極は、少なくともTi層とAl層とが上記基板側から順に積層された積層金属膜である。

[0014] 上記実施形態によれば、少なくともTi層とAl層とが基板側から順に積層された積層金属膜であるオーミック電極を用いて、製造時にTi層に酸素を含ませる工程によって、オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることが容易にできる。

[0015] また、第2の発明の窒化物半導体装置の製造方法では、
基板上に窒化物半導体層を形成するステップと、
上記窒化物半導体層上にTiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップと、
上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングしてオーミック電極を形成するステップと、
上記オーミック電極が形成された上記基板に対してアニールを行うステップと
を含み、

上記TiAl系材料からなる金属膜を形成するステップにおいて、上記TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリング中にチャンバー内に酸素を流すことによって、上記オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることを特徴とする。

[0016] 上記構成によれば、TiAl系材料からなる金属膜を形成するステップにおいて、TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリング中にチャンバー内に酸素を流して、オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることによって、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0017] また、第3の発明の窒化物半導体装置の製造方法では

基板上に窒化物半導体層を形成するステップと、

上記窒化物半導体層上にTiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップと、

上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングしてオーミック電極を形成するステップと、

上記オーミック電極が形成された上記基板に対してアニールを行うステップと

を含み、

上記TiAl系材料からなる金属膜を形成するステップにおいて、上記TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリングの前にチャンバー内に酸素を流すことによって、上記オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることを特徴とする。

[0018] 上記構成によれば、TiAl系材料からなる金属膜を形成するステップにおいて、TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリングの前にチャンバー内に酸素を流して、オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることによって、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0019] また、第4の発明の窒化物半導体装置の製造方法では

基板上に窒化物半導体層を形成するステップと、

上記窒化物半導体層上にTiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップと、

上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングしてオーミック電極を形成するステップと、

上記オーミック電極が形成された上記基板に対してアニールを行うステップと

を含み、

上記TiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップの後、かつ、上記オーミック電極を形成するステップの前に、上記TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリング後にそのTi層の表面に対して酸素プラズマ処理を行うことによって、上記オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることを特徴とする。

[0020] 上記構成によれば、TiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップの後、かつ、オーミック電極を形成するステップの前に、TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリング後にそのTi層の表面に対して酸素プラズマ処理を行って、オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることによって、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0021] また、一実施形態の窒化物半導体装置の製造方法では

上記第1～第3の発明の窒化物半導体装置の製造方法において、

上記窒化物半導体層は、上記基板上に順に積層された第1半導体層およびその第1半導体層とヘテロ界面を形成する第2半導体層を含み、

上記窒化物半導体層を形成した後、かつ、上記TiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成する前に、エッチングにより上記第2半導体層を貫通して上記第1半導体層の上側の一部に凹部を形成するステップを含み、

上記第1半導体層と上記第2半導体層とのヘテロ界面に2次元電子ガスが形成されると共に、

上記オーミック電極を形成するステップにおいて、上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングして上記凹部に少なくとも一部が埋め込まれた上記オーミック電極を形成する。

[0022] 上記実施形態によれば、エッチングにより第2半導体層を貫通して第1半導体層の上側の一部に形成された凹部に、オーミック電極の少なくとも一部

が埋め込まれたリセス構造の窒化物半導体装置において、第1半導体層と第2半導体層とのヘテロ界面の2次元電子ガスとオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0023] また、一実施形態の窒化物半導体装置の製造方法では
上記アニールを行うステップにおいて、上記オーミック電極が形成された上記基板を400℃以上かつ500℃以下で加熱する。

[0024] 上記実施形態によれば、アニールを行うステップにおいて、オーミック電極が形成された基板を400℃以上かつ500℃以下で加熱することによって、500℃以上の高温でアニールした場合に比べて、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を大幅に低減できる。

発明の効果

[0025] 以上より明らかなように、この発明の窒化物半導体装置およびその製造方法によれば、GaN系半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を低減できる窒化物半導体装置を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]図1はこの発明の第1実施形態の窒化物半導体装置の断面図である。
[図2]図2は上記窒化物半導体装置の製造方法を説明するための工程断面図である。
[図3]図3は図2に続く工程断面図である。
[図4]図4は図3に続く工程断面図である。
[図5]図5は図4に続く工程断面図である。
[図6]図6はこの発明の第3実施形態の窒化物半導体装置の製造方法を説明するための工程断面図である。
[図7]図7は図6に続く工程断面図である。
[図8]図8は図7に続く工程断面図である。
[図9]図9は図15に続く工程断面図である。
[図10]図10は図9に続く工程断面図である。
[図11]図11はオーミック電極中の酸素濃度とコンタクト抵抗との関係を示

す図である。

[図12] 図12はオーミック電極のアニール温度とコンタクト抵抗との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、この発明の窒化物半導体装置およびその製造方法を図示の実施の形態により詳細に説明する。

[0028] [第1実施形態]

図1はこの発明の第1実施形態の窒化物半導体装置の断面図を示しており、この窒化物半導体装置はGaN系HFEET(Hetero-junction Field Effect Transistor; ヘテロ接合電界効果トランジスタ)である。

[0029] この半導体装置は、図1に示すように、Si基板10上に、アンドープAlGaNバッファ層15、第1半導体層の一例としてのアンドープGaN層1と、第2半導体層の一例としてのアンドープAlGaN層2からなる窒化物半導体層20を形成している。このアンドープGaN層1とアンドープAlGaN層2との界面に2DEG(2次元電子ガス)が発生する。

[0030] また、AlGaN層2上に、互いに間隔をあけてソース電極11とドレイン電極12とを形成している。また、AlGaN層2上に、ソース電極11とドレイン電極12との間かつソース電極11側にゲート電極13を形成している。ソース電極11とドレイン電極12はオーミック電極であり、ゲート電極13はショットキー電極である。上記ソース電極11と、ドレイン電極12と、ゲート電極13と、そのソース電極11, ドレイン電極12, ゲート電極13が形成されたGaN層1, AlGaN層2の活性領域でHFEETを構成している。

[0031] ここで、活性領域とは、AlGaN層2上のソース電極11とドレイン電極12との間に配置されたゲート電極13に印加される電圧によって、ソース電極11とドレイン電極12との間でキャリアが流れる窒化物半導体層20(GaN層1, AlGaN層2)の領域である。

[0032] そして、ソース電極11とドレイン電極12とゲート電極13が形成され

た領域を除く AlGa_N層 2 上に、AlGa_N層 2 を保護するため、SiO₂ となる絶縁膜 30 を形成している。また、ソース電極 11 とドレイン電極 12 とゲート電極 13 とが形成された Si 基板 10 上に、ポリイミドからなる層間絶縁膜 40 を形成している。また、図 1 において、41 はコンタクト部としてのビア、42 はドレイン電極パッドである。なお、絶縁膜は、SiO₂ に限らず、SiN や Al₂O₃ などを用いてもよい。特に、絶縁膜として、コラプス抑制のために半導体層表面にストイキオメトリックを崩した SiN 膜と表面保護のための SiO₂ や SiN の多層膜構造とするのが好ましい。また、層間絶縁膜は、ポリイミドに限らず、p-CVD で製造した SiO₂ 膜や SOG (Spin On Glass) や BPSG (ホウ素・リン・シリケート・ガラス) などの絶縁材料を用いてもよい。

[0033] 上記構成の窒化物半導体装置において、Ga_N層 1 と AlGa_N層 2 との界面に形成された 2 次元電子ガス (2DEG) が発生してチャネル層が形成される。このチャネル層をゲート電極 13 に電圧を印加することにより制御して、ソース電極 11 とドレイン電極 12 とゲート電極 13 を有する HFE_T をオンオフさせる。この HFE_T は、ゲート電極 13 に負電圧が印加されているときにゲート電極 13 下の Ga_N層 1 に空乏層が形成されてオフ状態となる一方、ゲート電極 13 の電圧がゼロのときにゲート電極 13 下の Ga_N層 1 に空乏層がなくなってオン状態となるノーマリーオンタイプのトランジスタである。

[0034] 次に、上記窒化物半導体装置の製造方法を図 2 ～図 6 に従って説明する。なお、図 2 ～図 6 では、図を見やすくするために Si 基板やアンドープ AlGa_N バッファ層を図示せず、また、ソース電極とドレイン電極の大きさや間隔を変えている。

[0035] まず、図 2 に示すように、Si 基板 (図示せず) 上に、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属気相成長) 法を用いて、アンドープ AlGa_N バッファ層 (図示せず)、アンドープ Ga_N 層 101 とアンドープ AlGa_N 層 102 を順に形成する。アンドープ Ga_N 層 101 の厚さは例えば 1

μm 、アンドープAlGa_{0.2}N層102の厚さは例えば30nmとする。このGa_{0.2}N層101とAlGa_{0.2}N層102が窒化物半導体層120を構成している。次に、AlGa_{0.2}N層102上に絶縁膜130(例えばSiO₂)を例えばプラズマCVD(Chemical Vapor Deposition: 化学的気相成長))法により200nm成膜する。図2において、103は、Ga_{0.2}N層101とAlGa_{0.2}N層102とのヘテロ界面に形成される2次元電子ガス(2DEG)である。

[0036] 次に、図3に示すように、絶縁膜130上にフォトリソグレイスを塗布してパターンニングした後、ドライエッチングによりオーミック電極を形成すべき部分を除去して、AlGa_{0.2}N層102を貫通してGa_{0.2}N層101の上側の一部に凹部106を形成する。凹部106の深さはAlGa_{0.2}N層102の表面から2DEGまでの深さ以上であればよく、例えば50nmとする。そして、ドライエッチング後にアニールを行う(例えば500~850℃)。

[0037] 次に、図4に示すように、絶縁膜130上および凹部106にスパッタリングによりTi/Al/TiNを積層して、オーミック電極となる積層金属膜107を形成する。ここで、TiN層は、後工程からTi/Al層を保護するためのキャップ層である。

[0038] このとき、Ti成膜中に少量(例えば5sccm)の酸素をチャンバー内に流す。ここで、酸素の流量は、Tiの酸化物が生成されない量とする。

[0039] 次に、図5に示すように、通常のリソグラフィおよびドライエッチングを用いて、オーミック電極111, 112のパターンを形成する。

[0040] そして、オーミック電極111, 112が形成された基板を例えば400℃以上かつ500℃以下で10分以上アニールすることによって、2次元電子ガス(2DEG)とオーミック電極111, 112との間にオーミックコンタクトが得られる。この場合、500℃以上の高温でアニールした場合に比べてコンタクト抵抗を大幅に低減できる。また、400℃以上かつ500℃以下の低温でアニールすることにより絶縁膜の特性に悪影響を与えることがない。

[0041] このオーミック電極111, 112がソース電極とドレイン電極となり、後

の工程でオーミック電極 111, 112 の間に TiN または WN などからなるゲート電極が形成される。

[0042] 上記第 1 実施形態の窒化物半導体装置の製造方法によれば、オーミック電極となる積層金属膜 107 を形成するときに、Ti 成膜中に酸素をチャンバー内に流すことによって、オーミックコンタクトのためのアニール前のオーミック電極 111, 112 中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることが可能となる。これによって、アニール後の窒化物半導体層の 2DEG とオーミック電極 111, 112 とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0043] なお、オーミック電極 111, 112 中の酸素濃度は、SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy: 二次イオン質量分析法) によりアニールによる合金化の前に測定している。

[0044] 本発明は、窒化物半導体装置の 1 つである GaN 系 HFE T について本発明者が行った様々な実験の過程で、TiAl 系材料からなるオーミック電極中の酸素濃度がコンタクト抵抗に影響することを偶然見出し、その影響について研究した結果によるものであるが、その具体的な原理については未だ不明である。

[0045] また、AlGaIn 層 102 を貫通して GaN 層 101 の上側の一部に凹部 106 にオーミック電極 111, 112 の一部が埋め込まれたリセス構造の窒化物半導体装置において、GaN 層 101 と AlGaIn 層 102 とのヘテロ界面の 2 次元電子ガス (2DEG) とオーミック電極 111, 112 とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0046] また、Ti 層と Al 層とが基板側から順に積層された積層金属膜であるオーミック電極 111, 112 を用いて、AlGaIn 層 102 上に最初に形成される Ti 層に酸素を含ませることによって、オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることが容易にできる。

[0047] 上記第 1 実施形態の窒化物半導体装置の製造方法によれば、絶縁膜 130、AlGaIn 層 102、GaN 層 101 をドライエッチングにより除去し、凹部

106を形成したが、絶縁膜130をウェットエッチングにより除去し、その後AlGa_N層102、Ga_N層101をドライエッチングにより除去することにより、凹部106を形成してもよい。

[0048] 上記第1実施形態の窒化物半導体装置の製造方法によれば、Ti/Al/TiNを積層してオーミック電極としたが、これに限らず、TiNはなくともよく、また、Ti/Alを積層した後、その上にAu, Ag, Ptなどを積層してもよい。

[0049] [第2実施形態]

次に、この発明の第2実施形態の窒化物半導体装置の製造方法を説明する。この第2実施形態の窒化物半導体装置は、図1に示す第1実施形態の窒化物半導体装置と同一の構成をしている。また、この第2実施形態の窒化物半導体装置の製造方法は、Ti成膜中にチャンバー内に酸素を流す代わりにTi成膜前にチャンバー内に酸素を流すことを除いて第1実施形態の窒化物半導体装置の製造方法と同一の工程を有し、図2～図5を援用する。

[0050] 以下、第1実施形態の窒化物半導体装置の製造方法と異なる点について説明する。

[0051] 第1実施形態において、絶縁膜130上および凹部106にスパッタリングによりTi/Al/TiNを積層して、オーミック電極となる積層金属膜107を形成するときに、Ti成膜中に少量の酸素をチャンバー内に流したのに対して、この第2実施形態の窒化物半導体装置の製造方法では、Ti成膜前にチャンバー内に酸素を例えば50sccm、5分間流すことによって、オーミック電極111, 112中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることが可能となる。

[0052] 上記第2実施形態の窒化物半導体装置の製造方法は、第1実施形態の窒化物半導体装置の製造方法と同様の効果を有する。

[0053] 上記第2実施形態の窒化物半導体装置の製造方法によれば、オーミック電極となる積層金属膜107をスパッタリングにより形成するときに、Ti成膜前にチャンバー内に酸素を流すことによって、オーミック電極111, 112中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすること

が可能となる。これによって、窒化物半導体層の2DEGとオーミック電極111, 112とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0054] 〔第3実施形態〕

図6はこの発明の第3実施形態の窒化物半導体装置の製造方法を説明するための工程断面図を示している。この第3実施形態の窒化物半導体装置は、図1に示す第1実施形態の窒化物半導体装置と同一の構成をしている。

[0055] まず、図6に示すように、Si基板(図示せず)上に、MOCVD法を用いて、アンドープGaN層201とアンドープAlGaN層202を順に形成する。このGaN層201とAlGaN層202が窒化物半導体層220を構成している。次に、AlGaN層202上に絶縁膜230(例えばSiO₂)を成膜する。図6において、203は、GaN層201とAlGaN層202とのヘテロ界面に形成される2次元電子ガス(2DEG)である。

[0056] 次に、図7に示すように、絶縁膜230上にフォトリソグラフィを塗布してパターンニングした後、ドライエッチングによりオーミック電極を形成すべき部分を除去することによって、AlGaN層202を貫通してGaN層201の上側の一部に凹部206を形成する。そして、ドライエッチング後にアニールを行う(例えば500～850℃)。

[0057] 次に、図8に示すように、絶縁膜230上および凹部206にスパッタリングによりTi層207を形成する。

[0058] 次に、Ti層207表面に酸素プラズマ処理を行う。この酸素プラズマ処理は、例えば60℃において、酸素を900sccmの流量に設定し、RFパワー1000Wにて5分間行うことが望ましい。

[0059] 次に、図9に示すように、絶縁膜230上および凹部206にスパッタリングによりAl/TiNを積層して、オーミック電極となる積層金属膜208を形成する。

[0060] 次に、図10に示すように、通常の写真リソグラフィおよびドライエッチングを用いて、オーミック電極211, 212のパターンを形成する。

[0061] そして、オーミック電極211, 212が形成された基板を例えば400℃

以上かつ500℃以下で10分以上アニールすることによって、2DEGとオーミック電極211, 212との間にオーミックコンタクトが得られる。

[0062] 上記第3実施形態の窒化物半導体装置の製造方法は、第1実施形態の窒化物半導体装置の製造方法と同様の効果を有する。

[0063] 上記第3実施形態の窒化物半導体装置の製造方法によれば、オーミック電極となる積層金属膜107を形成するときに、Ti層のスパッタリング後にそのTi層の表面に対して酸素プラズマ処理を行うことによって、オーミック電極211, 212中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることが可能となる。これによって、窒化物半導体層の2DEGとオーミック電極211, 212とのコンタクト抵抗を低減できる。

[0064] 図11は上記窒化物半導体装置のオーミック電極中の酸素濃度とコンタクト抵抗との関係を示す図である。

[0065] ただし、図11の酸素濃度(横軸)は、アニールする前のオーミック電極中の酸素濃度をSIMSにより測定している。なお、酸素濃度の測定は、AES(Atomic Emission Spectroscopy:オージェ電子分光法)などの他の測定方法を用いて行ってもよい。

[0066] 一方、図11のコンタクト抵抗(縦軸)は、アニールした後のオーミック電極のコンタクト抵抗を測定したものである。

[0067] 図11から明らかなように、オーミック電極中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることで、コンタクト抵抗が $6 \Omega \text{ mm}$ 以下の窒化物半導体装置を実現することができる。特に、オーミック電極中の酸素濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ を越えたところにコンタクト抵抗が急激に増大する変曲点が存在し、このオーミック電極中の酸素濃度に依存したコンタクト抵抗特性の変曲点はこれまで全く知られていなかった。

[0068] このようなコンタクト抵抗が $6 \Omega \text{ mm}$ 以下の窒化物半導体装置は、シリコン素子よりも大電流駆動が可能でかつ高温動作に適した製品として性能面およびコスト面で商業的価値を有する。

[0069] また、図12は第1実施形態に示す窒化物半導体装置の製造方法を用いて

作製したオーミック電極のアニール温度とコンタクト抵抗との関係を表す図である。

[0070] このとき、Ti成膜中に5 s c c mの酸素をチャンバー内に流しながらスパッタリングを行い、アニールする前のオーミック電極中の酸素濃度をSIMSにより測定したところ、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であった。

[0071] このように、400℃以上かつ500℃以下の温度でアニールすることによって、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を大幅に低減できることがわかる。

[0072] 通常、n型Ga_{0.9}N_{0.1}のアニール温度が600℃、ノンドープGa_{0.9}N_{0.1}のアニール温度が800℃で行われるのに対して、この窒化物半導体装置の製造方法では、アニールを行うステップにおいて、オーミック電極が形成された基板を400℃以上かつ500℃以下の低い温度で加熱することによって、アニール温度が400℃より低温かまたは500℃より高温の場合に比べて、窒化物半導体層とオーミック電極とのコンタクト抵抗を大幅に低減することができる。

[0073] 上記第1～第3実施の形態では、Si基板を用いた窒化物半導体装置について説明したが、Si基板に限らず、サファイヤ基板やSiC基板を用いてもよく、サファイヤ基板やSiC基板上に窒化物半導体層を成長させてもよいし、Ga_{0.9}N_{0.1}基板にAlGa_{0.9}N_{0.1}層を成長させる等のように、窒化物半導体からなる基板上に窒化物半導体層を成長させてもよい。また、基板と窒化物半導体層との間にバッファ層を形成してもよいし、窒化物半導体層の第1半導体層と第1半導体層と第2半導体層との間にヘテロ改善層を形成してもよい。

[0074] また、上記第1～第3実施の形態では、オーミック電極がGa_{0.9}N_{0.1}層に達するリセス構造のHFETについて説明したが、リセスを形成せずにアンドープAlGa_{0.9}N_{0.1}層上にソース電極およびドレイン電極となるオーミック電極を形成したHFETにこの発明を適用してもよい。また、この発明の窒化物半導体装置は、2DEGを利用するHFETに限らず、他の構成の電界効果トランジスタであっても同様の効果が得られる。

[0075] また、上記第1～第3実施の形態では、ノーマリーオンタイプのH F E Tについて説明したが、ノーマリーオフタイプの窒化物半導体装置にこの発明を適用してもよい。また、ショットキー電極に限らず、絶縁ゲート構造の電界効果トランジスタにこの発明を適用してもよい。

[0076] この発明の窒化物半導体装置の窒化物半導体は、 $Al_x In_y Ga_{1-x-y}N$ ($x \leq 0$ 、 $y \leq 0$ 、 $0 \leq x + y \leq 1$)で表されるものであればよい。

[0077] この発明の具体的な実施の形態について説明したが、この発明は上記第1～第3実施形態に限定されるものではなく、この発明の範囲内で種々変更して実施することができる。

符号の説明

[0078] 1, 1 0 1, 2 0 1……GaN層
 2, 1 0 2, 2 0 2…AlGaIn層
 3, 1 0 3, 2 0 3…2 D E G
 1 0…Si基板
 1 1…ソース電極
 1 2…ドレイン電極
 1 3…ゲート電極
 1 5…AlGaInバッファ層
 2 0, 1 2 0, 2 2 0…窒化物半導体層
 3 0, 1 3 0, 2 3 0…絶縁膜
 4 0…層間絶縁膜
 4 1…ビア
 4 2…ドレイン電極パッド
 1 1 1, 2 1 1, 1 1 2, 2 1 2…オーミック電極

請求の範囲

[請求項1]

基板と、

上記基板上に形成された窒化物半導体層(20, 120, 220)と、

上記窒化物半導体層(20, 120, 220)上に形成されたTiAl系材料からなるオーミック電極(11, 12, 111, 112, 211, 212)と

を備え、

上記TiAl系材料からなるオーミック電極(11, 12, 111, 112, 211, 212)中の酸素濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする窒化物半導体装置。

[請求項2]

請求項1に記載の窒化物半導体装置において、

上記窒化物半導体層(20, 120, 220)は、上記基板上に順に積層された第1半導体層(1, 101, 201)およびその第1半導体層(1, 101, 201)とヘテロ界面を形成する第2半導体層(2, 102, 202)を含み、

上記第1半導体層(1, 101, 201)と上記第2半導体層(2, 102, 202)とのヘテロ界面に2次元電子ガスが形成され、

上記第2半導体層(2, 102, 202)を貫通して上記第1半導体層(1, 101, 201)の上側の一部に凹部が形成され、上記凹部に上記オーミック電極(11, 12, 111, 112, 211, 212)の少なくとも一部が埋め込まれていることを特徴とする窒化物半導体装置。

[請求項3]

請求項1または2に記載の窒化物半導体装置において、

上記TiAl系材料からなるオーミック電極(111, 211, 112, 212)は、少なくともTi層とAl層とが上記基板側から順に積層された積層金属膜であることを特徴とする窒化物半導体装置。

[請求項4]

基板上に窒化物半導体層(120)を形成するステップと、

上記窒化物半導体層(120)上にTiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップと、

上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングしてオーミック電極(111, 112)を形成するステップと、

上記オーミック電極(111, 112)が形成された上記基板に対してアニールを行うステップと
を含み、

上記TiAl系材料からなる金属膜を形成するステップにおいて、上記TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリング中にチャンバー内に酸素を流すことによって、上記オーミック電極(111, 112)中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることを特徴とする窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項5]

基板上に窒化物半導体層(120)を形成するステップと、

上記窒化物半導体層(120)上にTiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップと、

上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングしてオーミック電極(111, 112)を形成するステップと、

上記オーミック電極(111, 112)が形成された上記基板に対してアニールを行うステップと
を含み、

上記TiAl系材料からなる金属膜を形成するステップにおいて、上記TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリングの前にチャンバー内に酸素を流すことによって、上記オーミック電極(111, 112)中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることを特徴とする窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項6]

基板上に窒化物半導体層(220)を形成するステップと、

上記窒化物半導体層(220)上にTiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップと、

上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングしてオーミック電極(211, 212)を形成するステップと、

上記オーミック電極(211, 212)が形成された上記基板に対してアニールを行うステップと
を含み、

上記TiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成するステップの後、かつ、上記オーミック電極(211, 212)を形成するステップの前に、上記TiAl系材料からなる金属膜のうちのTi層のスパッタリング後にそのTi層の表面に対して酸素プラズマ処理を行うことによって、上記オーミック電極(211, 212)中の酸素濃度を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることを特徴とする窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項7] 請求項4から6までのいずれか1つに記載の窒化物半導体装置の製造方法において、

上記窒化物半導体層(120, 220)は、上記基板上に順に積層された第1半導体層(101, 201)およびその第1半導体層(101, 201)とヘテロ界面を形成する第2半導体層(102, 202)を含み、

上記窒化物半導体層(120, 220)を形成した後、かつ、上記TiAl系材料からなる金属膜をスパッタリングにより形成する前に、エッチングにより上記第2半導体層(102, 202)を貫通して上記第1半導体層(101, 201)の上側の一部に凹部を形成するステップを含み、

上記第1半導体層(101, 201)と上記第2半導体層(102, 202)とのヘテロ界面に2次元電子ガスが形成されると共に、

上記オーミック電極(111, 112, 211, 212)を形成するステップにおいて、上記TiAl系材料からなる金属膜をエッチングして上記凹部に少なくとも一部が埋め込まれた上記オーミック電極(111, 112, 211, 212)を形成することを特徴とする窒化物半導体装置の製造方法。

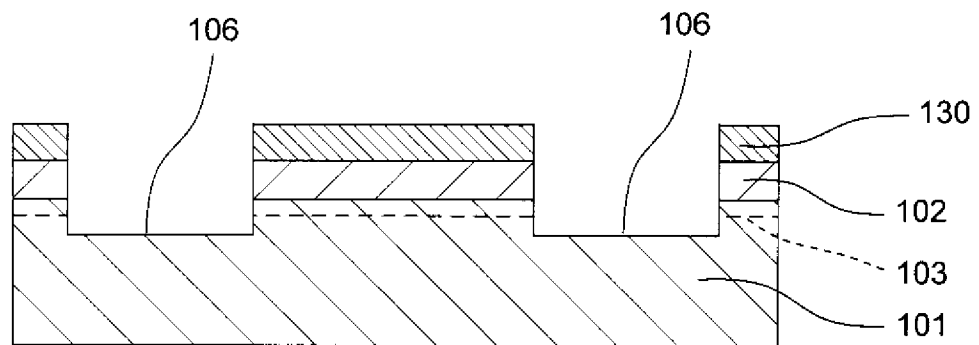
[請求項8] 請求項4 から 7 までのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置の製造方法において、

上記アニールを行うステップにおいて、上記オーミック電極(1 1 1, 1 1 2, 2 1 1, 2 1 2)が形成された上記基板を4 0 0℃以上かつ5 0 0℃以下で加熱することを特徴とする窒化物半導体装置の製造方法。

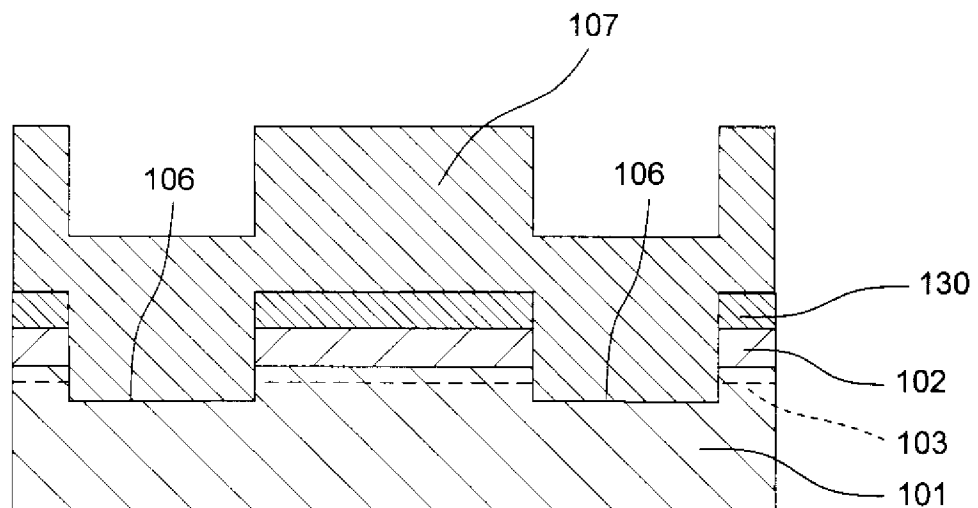
A cross-sectional view of a semiconductor device structure. The structure consists of several layers: a top layer (42) with diagonal hatching, a middle layer (13) with horizontal hatching, and a bottom layer (41) with diagonal hatching. A central region (20) is defined by a dashed line and contains a layer (2) with horizontal hatching. A layer (3) is located below the central region (20). A layer (11) is located below the central region (20). A layer (12) is located below the central region (20). A layer (15) is located below the central region (20). A layer (10) is located below the central region (20). A layer (40) is located on the right side of the central region (20). A layer (30) is located on the right side of the central region (20). A layer (2) is located on the right side of the central region (20). A layer (1) is located on the right side of the central region (20). A layer (15) is located on the right side of the central region (20). A layer (10) is located on the right side of the central region (20). The label "2DEG" is located in the central region (20).

A cross-sectional view of a substrate assembly 120. The assembly includes a substrate 101 with a top surface 102 and a bottom surface 103. A thin layer 130 is disposed on the top surface 102. The substrate 101 is indicated by a bracket on the left and a dashed line on the right.

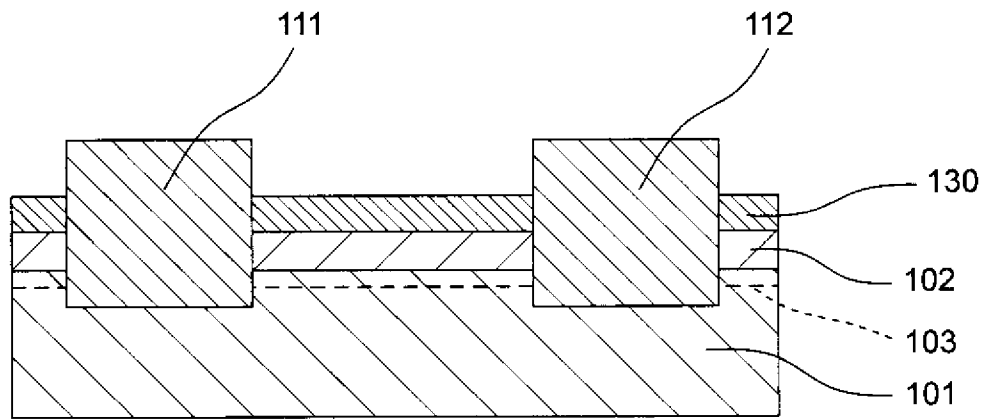
[図3]



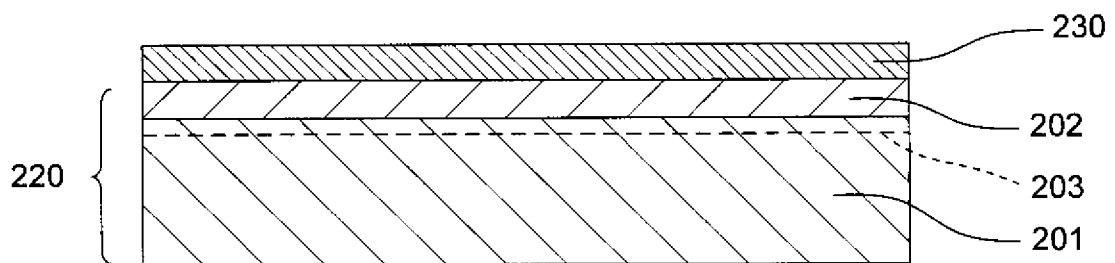
[図4]



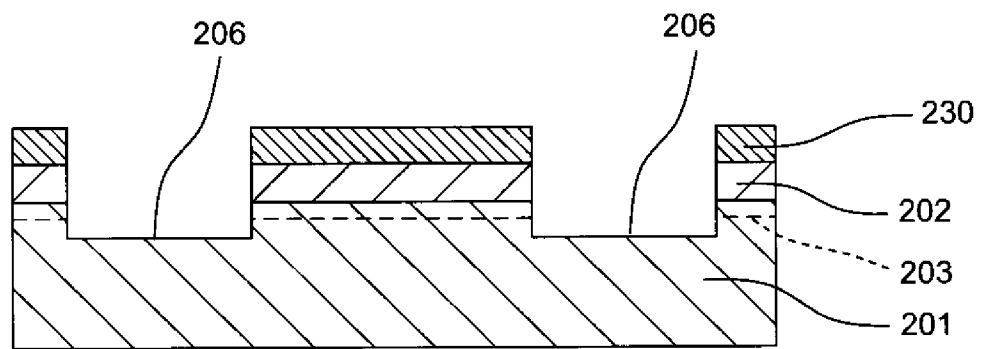
[図5]



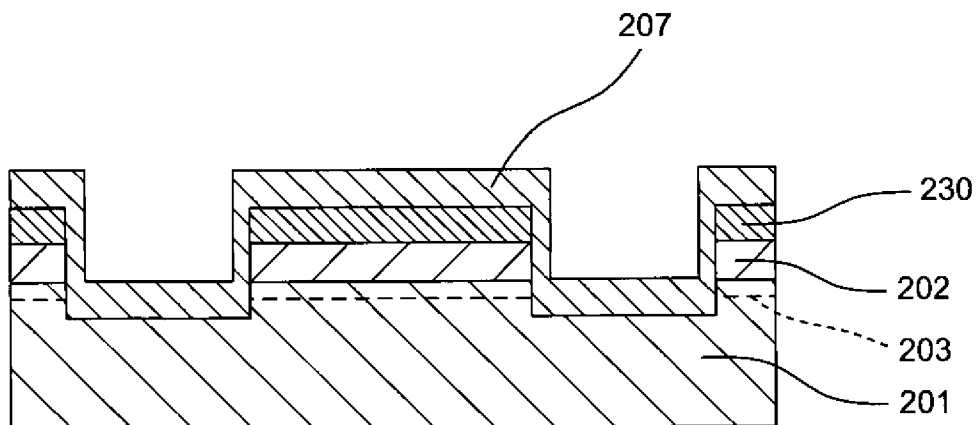
[図6]



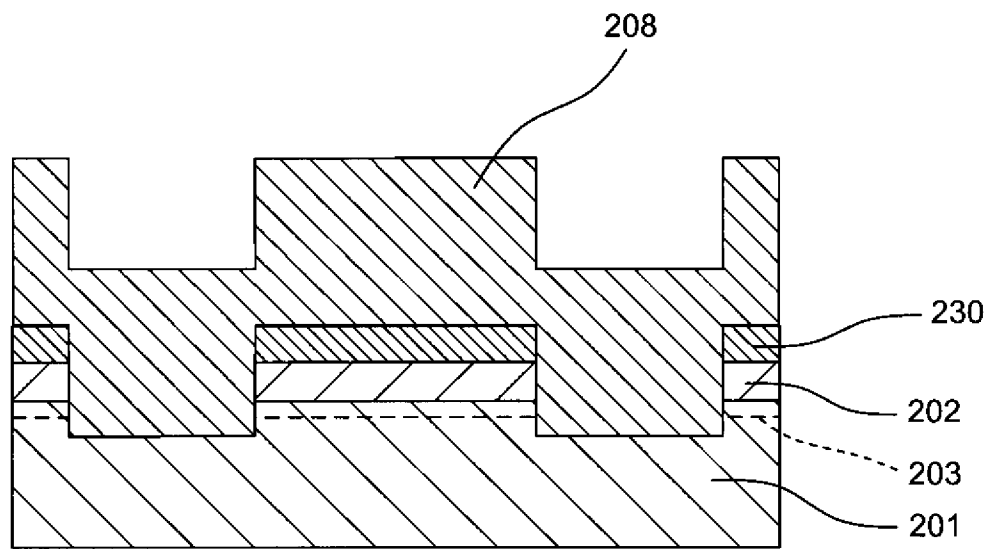
[図7]



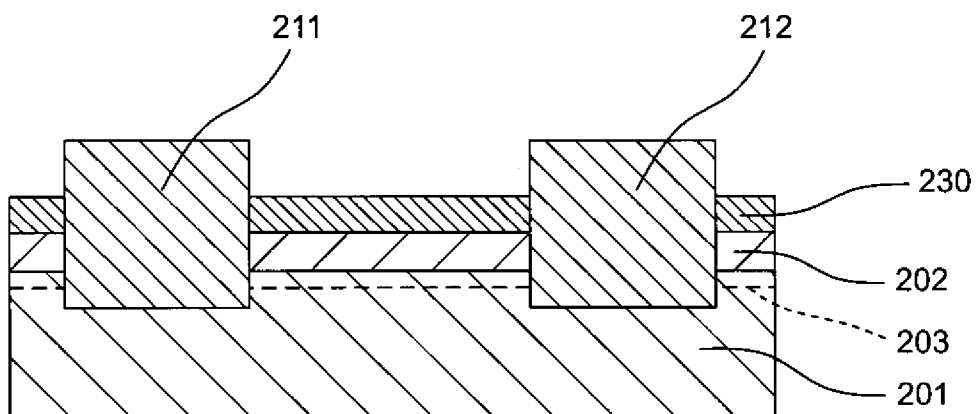
[図8]



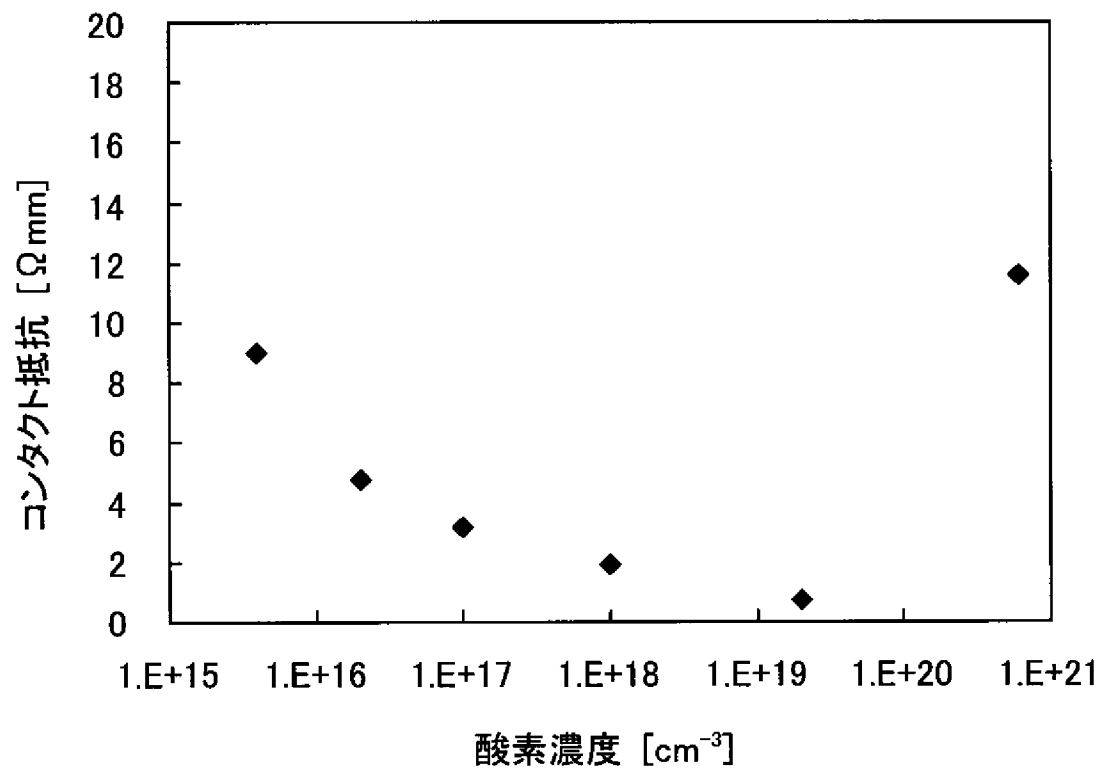
[図9]



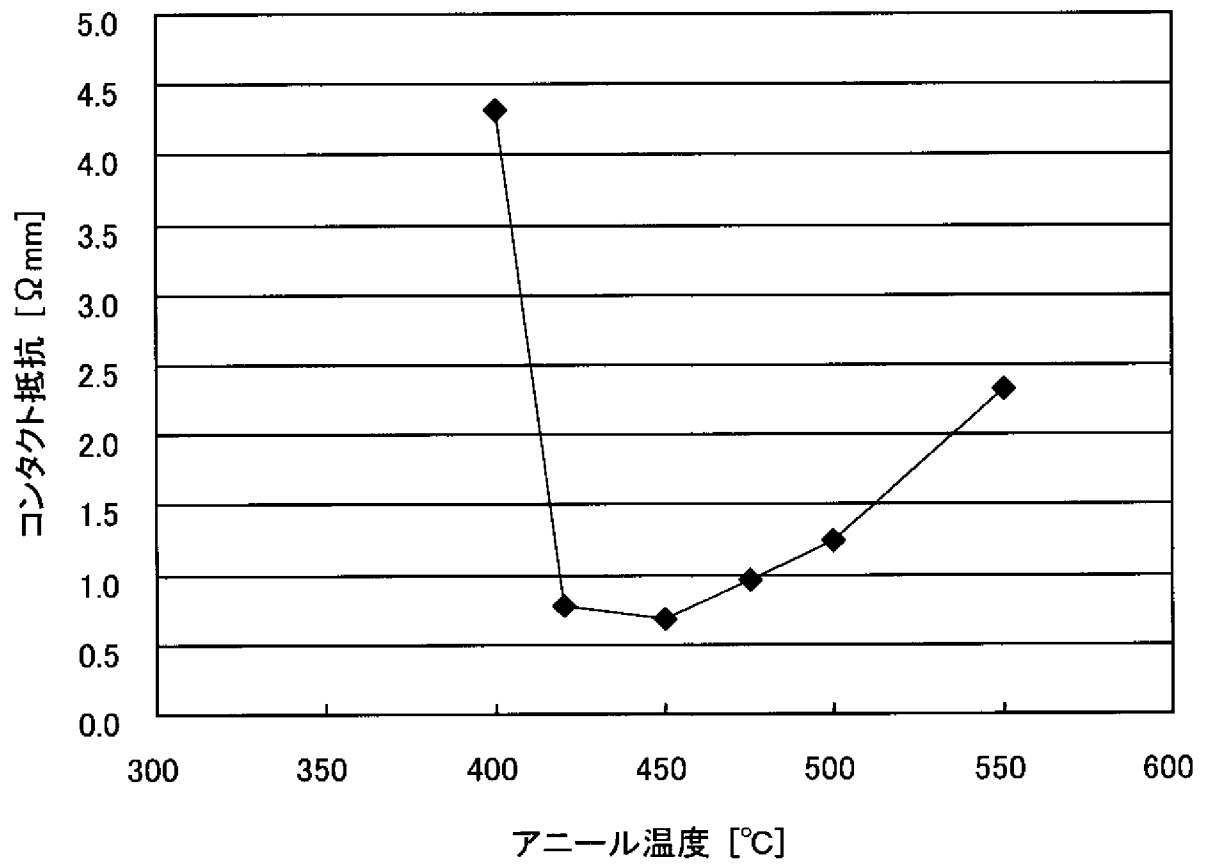
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/062952

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/28(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i, C23C14/58(2006.01)i, H01L21/285(2006.01)i, H01L21/338(2006.01)i, H01L29/41(2006.01)i, H01L29/417(2006.01)i, H01L29/778(2006.01)i, H01L29/812(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/28, C23C14/06, C23C14/58, H01L21/285, H01L21/338, H01L29/41, H01L29/417, H01L29/778, H01L29/812

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2010-147097 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 01 July 2010 (01.07.2010), paragraphs [0021] to [0023], [0047] to [0057], [0070] to [0074], [0083] to [0085]; fig. 1, 4 & KR 10-2011-0044288 A & CN 102246326 A	1, 3, 4, 8 2, 3, 6-8
X Y	JP 2008-172085 A (Sanken Electric Co., Ltd.), 24 July 2008 (24.07.2008), paragraphs [0009] to [0019]; fig. 1, 2 (Family: none)	1, 3, 5, 8 2, 3, 7, 8
Y	JP 2010-206110 A (Panasonic Corp.), 16 September 2010 (16.09.2010), paragraphs [0031] to [0042]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-3, 7, 8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 August, 2012 (14.08.12)

Date of mailing of the international search report
21 August, 2012 (21.08.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/062952

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 09-020518 A (Applied Materials Inc.), 21 January 1997 (21.01.1997), paragraphs [0008] to [0011] & US 5858184 A & EP 747499 A1	6-8
Y	JP 10-012573 A (Sumitomo Sitix Corp., Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 16 January 1998 (16.01.1998), paragraph [0054] (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/28(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i, C23C14/58(2006.01)i, H01L21/285(2006.01)i,
H01L21/338(2006.01)i, H01L29/41(2006.01)i, H01L29/417(2006.01)i, H01L29/778(2006.01)i,
H01L29/812(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/28, C23C14/06, C23C14/58, H01L21/285, H01L21/338, H01L29/41, H01L29/417, H01L29/778,
H01L29/812

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2010-147097 A (昭和電工株式会社) 2010.07.01, 段落【0021】 - 【0023】, 【0047】 - 【0057】, 【0070】 - 【0074】, 【0083】 - 【0085】, 図 1, 4 & KR 10-2011-0044288 A & CN 102246326 A	1, 3, 4, 8 2, 3, 6-8
X Y	JP 2008-172085 A (サンケン電気株式会社) 2008.07.24, 段落【0009】 - 【0019】, 図 1, 2 (ファミリーなし)	1, 3, 5, 8 2, 3, 7, 8

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 4 . 0 8 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 8 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

長谷川 直也

5 0

4 5 4 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 9

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2010-206110 A (パナソニック株式会社) 2010.09.16, 段落【0031】 - 【0042】, 図 1, 2 (ファミリーなし)	1-3, 7, 8
Y	JP 09-020518 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 1997.01.21, 段落【0008】 - 【0011】 & US 5858184 A & EP 747499 A1	6-8
Y	JP 10-012573 A (住友シチックス株式会社, 住友金属工業株式会社) 1998.01.16, 段落【0054】 (ファミリーなし)	1-3