

(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



(10) 国際公開番号

WO 2010/103804 A1

(43) 国際公開日

2010年9月16日(16.09.2010)

PCT

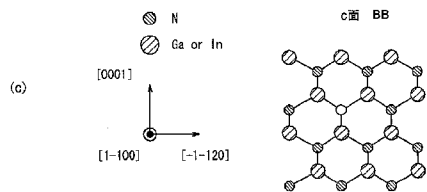
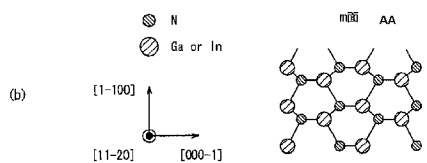
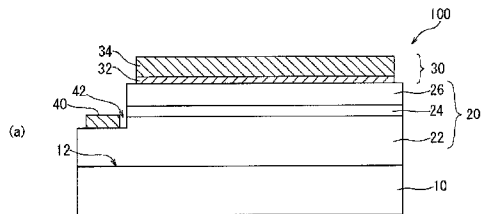
- (51) 国際特許分類:
H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/001653
- (22) 国際出願日: 2010年3月9日(09.03.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-058272 2009年3月11日(11.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大屋満明 (OYA, Mitsuaki), 横川俊哉 (YOKOGAWA, Toshiya), 山田篤志 (YAMADA, Atsushi), 加藤亮 (KATO, Ryou).
- (74) 代理人: 奥田誠司 (OKUDA, Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目8番16号 大阪証券取引所ビル10階 奥田国際特許事務所 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, JP, 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, RO, RS, RU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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,

[続葉有]

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

(54) 発明の名称: 窒化物系半導体素子およびその製造方法

[図3]



AA m-PLANE
BB c-PLANE

(57) Abstract: Disclosed is a nitride semiconductor light-emitting element (100), which comprises a GaN substrate (10) having an m-plane surface (12), a semiconductor multilayer structure (20) that is formed on the m-plane surface (12) of the GaN substrate (10), and an electrode (30) that is formed on the semiconductor multilayer structure (20). The electrode (30) contains an Mg alloy layer (32) that is formed from Mg and a metal selected from a group consisting of Pt, Mo and Pd, and the Mg alloy layer (32) is in contact with the surface of a p-type semiconductor region in the semiconductor multilayer structure (20).

(57) 要約: 窒化物系半導体発光素子100は、m面12を表面とするGaN系基板10と、GaN系基板10のm面12の上に形成された半導体積層構造20と、半導体積層構造20の上に形成された電極30とを備えている。電極30は、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層32を含み、Mg合金層32は、半導体積層構造20におけるp型半導体領域の表面に接触している。



WO 2010/103804 A1

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, 添付公開書類:
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))
TD, TG).

明 細 書

発明の名称：窒化物系半導体素子およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、窒化物系半導体素子およびその製造方法に関する。特に、本発明は、紫外から青色、緑色、オレンジ色および白色などの可視域全般の波長域における発光ダイオード、レーザダイオード等のGaN系半導体発光素子に関する。このような発光素子は、表示、照明および光情報処理分野等への応用が期待されている。また、本発明は、窒化物系半導体素子に用いる電極の製造方法にも関する。

背景技術

[0002] V族元素として窒素(N)を有する窒化物半導体は、そのバンドギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望視されている。そのなかでも、窒化ガリウム系化合物半導体(GaN系半導体： $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$))の研究は盛んに行われ、青色発光ダイオード(LED)、緑色LED、ならびに、GaN系半導体を材料とする半導体レーザも実用化されている(例えば、特許文献1、2参照)。

[0003] GaN系半導体は、ウルツ鉱型結晶構造を有している。図1は、GaNの単位格子を模式的に示している。 $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$)半導体の結晶では、図1に示すGaの一部がAlおよび/またはInに置換され得る。

[0004] 図2は、ウルツ鉱型結晶構造の面を4指数表記(六方晶指数)で表すために一般的に用いられている4つの基本ベクトル a_1 、 a_2 、 a_3 、 c を示している。基本ベクトル c は、 $[0001]$ 方向に延びており、この方向は「 c 軸」と呼ばれる。 c 軸に垂直な面(plane)は「 c 面」または「 (0001) 面」と呼ばれている。なお、「 c 軸」および「 c 面」は、それぞれ、「 C 軸」および「 C 面」と表記される場合もある。

[0005] GaN系半導体を用いて半導体素子を作製する場合、GaN系半導体結晶

を成長させる基板として、 c 面基板すなわち (0001) 面を表面に有する基板が使用される。しかしながら、 c 面においてはGaの原子層と窒素の原子層の位置が c 軸方向に僅かにずれているため、分極 (Electrical Polarization) が形成される。このため、「 c 面」は「極性面」とも呼ばれている。分極の結果、活性層におけるInGaNの量子井戸には c 軸方向に沿ってピエゾ電界が発生する。このようなピエゾ電界が活性層に発生すると、活性層内における電子およびホール分布に位置ずれが生じるため、内部量子効率が低下し、半導体レーザであれば、しきい値電流の増大が引き起こされ、LEDであれば、消費電力の増大や発光効率の低下が引き起こされる。また、注入キャリア密度の上昇と共にピエゾ電界のスクリーニングが起こり、発光波長の変化も生じる。

[0006] そこで、これらの課題を解決するため、非極性面、例えば $[10\bar{1}0]$ 方向に垂直な、 m 面と呼ばれる $(10\bar{1}0)$ 面を表面に有する基板 (m 面 GaN系基板) を使用することが検討されている。ここで、ミラー指数を表すカッコ内の数字の左に付された「 $\bar{}$ 」は、「バー」を意味する。「 m 面」は、「 M 面」と表記される場合もある。 m 面は、図2に示されるように、 c 軸 (基本ベクトル c) に平行な面であり、 c 面と直交している。 m 面においてはGa原子と窒素原子は同一原子面上に存在するため、 m 面に垂直な方向に分極は発生しない。その結果、 m 面に垂直な方向に半導体積層構造を形成すれば、活性層にピエゾ電界も発生しないため、上記課題を解決することができる。 m 面は、 $(10\bar{1}0)$ 面、 $(\bar{1}010)$ 面、 $(1\bar{1}00)$ 面、 $(\bar{1}100)$ 面、 $(01\bar{1}0)$ 面、 $(0\bar{1}10)$ 面の総称である。

[0007] なお、本明細書では、六方晶ウルツ鉱構造の X 面 ($X=c, m$) に垂直な方向にエピタキシャル成長が生じることを「 X 面成長」と表現する。 X 面成長において、 X 面を「成長面」と称し、 X 面成長によって形成された半導体の層を「 X 面半導体層」と称する場合がある。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2001-308462号公報

特許文献2：特開2003-332697号公報

特許文献3：特開平8-64871号公報

特許文献4：特開平11-40846号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 上述のように、m面基板上で成長させたGaN系半導体素子は、c面基板上で成長させたものと比較して顕著な効果を発揮し得るが、次のような問題がある。すなわち、m面基板上で成長させたGaN系半導体素子は、c面基板上で成長させたものよりもコンタクト抵抗が高く、それが、m面基板上で成長させたGaN系半導体素子を使用する上で大きな技術的な障害となっている。

[0010] そのような状況の中、本願発明者は、非極性面であるm面上に成長させたGaN系半導体素子が持つコンタクト抵抗が高いという課題を解決すべく、鋭意検討した結果、コンタクト抵抗を低くすることができる手段を見出した。

[0011] 本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、m面基板上で結晶成長させたGaN系半導体素子におけるコンタクト抵抗を低減できる構造および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

[0012] 本発明の第1の窒化物系半導体素子は、表面がm面であるp型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造と、前記p型半導体領域上に設けられた電極とを備え、前記p型半導体領域は、 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x + y + z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$) 半導体から形成され、前記電極は、前記p型半導体領域の前記表面に接触し、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層を含む。

[0013] ある実施形態において、前記電極は、前記Mg合金層と、前記Mg合金層の上に形成された金属層とを含み、前記金属層は、Pt、MoおよびPdの

うち前記Mg合金層に含まれる金属から形成されている。

- [0014] ある実施形態において、前記半導体積層構造は、 $Al_aIn_bGa_cN$ 層 ($a + b + c = 1$, $a \geq 0$, $b \geq 0$, $c \geq 0$) を含む活性層を有し、前記活性層は光を発する。
- [0015] ある実施形態において、前記p型半導体領域はp型コンタクト層である。
- [0016] ある実施形態において、前記Mg合金層の厚さは0.1nm以上5nm以下である。
- [0017] ある実施形態において、前記Mg合金層の厚さは前記Pt層の厚さ以下である。
- [0018] ある実施形態において、前記Mg合金層中のN濃度はGa濃度よりも低い。
- [0019] ある実施形態において、前記半導体積層構造を支持する半導体基板を有している。
- [0020] 本発明の光源は、窒化物系半導体発光素子と、前記窒化物系半導体発光素子から放射された光の波長を変換する蛍光物質を含む波長変換部とを備える光源であって、前記窒化物系半導体発光素子は、表面がm面であるp型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造と、前記p型半導体領域上に設けられた電極とを備え、前記p型半導体領域は、 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x + y + z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$) 半導体からなり、前記電極は、前記p型半導体領域の前記表面に接触し、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層を含む。
- [0021] 本発明の窒化物系半導体素子の製造方法は、基板を用意する工程(a)と、表面がm面であるp型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造を前記基板上に形成する工程(b)と、前記半導体積層構造の前記p型半導体領域の前記表面上に電極を形成する工程(c)とを含み、前記工程(c)は、前記p型半導体領域の前記表面上に、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層を形成する工程を含む。
- [0022] ある実施形態において、前記Mg合金層を形成する工程は、前記p型半導

体領域の前記表面上に、Mg層を形成する工程と、前記Mg層の上に、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される導電層を形成する工程と、加熱処理を行なうことにより、前記Mg層と前記導電層の少なくとも一部とを合金化する工程とを含む。

[0023] ある実施形態において、前記加熱処理は、500°C以上700°C以下の温度で実行される。

[0024] ある実施形態において、前記加熱処理は、550°C以上650°C以下の温度で実行される。

[0025] ある実施形態において、前記Mg層を形成する工程は、パルス的に電子ビームを照射することによってMgを前記p型半導体領域の前記表面上に蒸着させることを実行する。

[0026] ある実施形態において、前記Mg層は0.1nm以上5nm以下の厚さで前記半導体積層構造の上に堆積される。

[0027] ある実施形態では、前記工程(b)を実行した後において、前記基板を除去する工程を含む。

[0028] ある実施形態において、前記Mg合金層を形成する工程は、Mgと、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属との混合物または化合物を、前記p型半導体領域の前記表面上に蒸着する工程と、加熱処理を行なう工程とを含む。

[0029] 本発明の第2の窒化物系半導体素子は、表面がm面であるp型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造と、前記p型半導体領域上に設けられた電極とを備え、前記p型半導体領域は、 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x + y + z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$) 半導体から形成され、前記電極は、前記p型半導体領域の前記表面上に形成されたアイランド状Mg合金を含み、前記アイランド状Mg合金は、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成される。

[0030] ある実施形態において、前記電極は、前記アイランド状Mg合金と、前記アイランド状Mg合金の上に形成された金属層とを含み、前記金属層は、P

t、MoおよびPdのうち前記アイランド状Mg合金に含まれる金属から形成されている。

発明の効果

[0031] 本発明の窒化物系半導体素子によれば、半導体積層構造上の電極がMg合金層を含み、そのMg合金層がp型不純物領域の表面（m面）に接触していることにより、コンタクト抵抗を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1] GaNの単位格子を模式的に示す斜視図

[図2] ウルツ鉱型結晶構造の基本ベクトル a_1 、 a_2 、 a_3 、 c を示す斜視図

[図3] (a)は、本発明の実施形態に係る窒化物系半導体発光素子100の断面模式図、(b)はm面の結晶構造を表す図、(c)はc面の結晶構造を表す図

[図4A] 2つのPd/Pt電極をp型GaN層に接触させた場合の電流-電圧特性を示す図

[図4B] 2つのMg合金層電極をp型GaN層に接触させた場合の電流-電圧特性を示す図

[図4C] 上述のPd/Pt電極、およびMgPt合金/Pt電極を用いた場合のそれぞれにおける固有コンタクト抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$) を示すグラフ

[図4D] TLM電極のパターン図

[図5] コンタクト抵抗について熱処理温度の依存性を示すグラフ

[図6] SIMS分析による電極構造 (Mg/Pt) におけるGaの深さ方向のプロファイル図

[図7] SIMS分析による電極構造 (Mg/Pt) におけるNの深さ方向のプロファイル図

[図8] (a)はMgPt合金/Pt層からなる電極、Mg/Pt層からなる電極、およびPt/Pd層からなる電極を用いた発光ダイオードの電流-電圧特性を示すグラフ、(b)は発光ダイオードのコンタクト抵抗の値を示すグラフ

[図9] (a)、(b)は、それぞれ、MgPt合金/Pt層からなる電極の表面の状態とMg/Pt層からなる電極の表面状態を示す光学顕微鏡の図面代用写真

[図10] (a)は、Au層、および、MgAu合金/Au層からなる電極を用いた場合のコンタクト抵抗を示すグラフ、(b)および(c)はそれぞれMgAu合金/Au層およびAu層の電極の表面を示す光学顕微鏡の図面代用写真

[図11] 白色光源の実施形態を示す断面図

発明を実施するための形態

[0033] 以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態を説明する。以下の図面においては、説明の簡潔化のため、実質的に同一の機能を有する構成要素を同一の参照符号で示す。なお、本発明は以下の実施形態に限定されない。

[0034] 図3(a)は、本発明の実施形態に係る窒化物系半導体発光素子100の断面構成を模式的に示している。図3(a)に示した窒化物系半導体発光素子100は、GaN系半導体からなる半導体デバイスであり、窒化物系半導体積層構造を有している。

[0035] 本実施形態の窒化物系半導体発光素子100は、m面を表面12とするGaN系基板10と、GaN系基板10の上に形成された半導体積層構造20と、半導体積層構造20の上に形成された電極30とを備えている。本実施形態では、半導体積層構造20は、m面成長によって形成されたm面半導体積層構造であり、その表面はm面である。ただし、r面サファイア基板にはa面GaNが成長するという事例もあることから、成長条件によっては必ずしもGaN系基板10の表面がm面であることが必須とならない。本発明の構成においては、少なくとも半導体積層構造20のうち、電極と接触するp型半導体領域の表面がm面であればよい。

[0036] 本実施形態の窒化物系半導体発光素子100は、半導体積層構造20を支持するGaN基板10を備えているが、GaN基板10に代えて他の基板を備えていても良いし、基板が取り除かれた状態で使用されることも可能であ

る。

[0037] 図3(b)は、表面がm面である窒化物系半導体の断面(基板表面に垂直な断面)における結晶構造を模式的に示している。Ga原子と窒素原子は、m面に平行な同一原子面上に存在するため、m面に垂直な方向に分極は発生しない。すなわち、m面は非極性面であり、m面に垂直な方向に成長した活性層内ではピエゾ電界が発生しない。なお、添加されたInおよびAlは、Gaのサイトに位置し、Gaを置換する。Gaの少なくとも一部がInやAlで置換されていても、m面に垂直な方向に分極は発生しない。

[0038] m面を表面に有するGaN系基板は、本明細書では「m面GaN系基板」と称される。m面に垂直な方向に成長した窒化物系半導体積層構造を得るには、典型的には、m面基板GaN基板を用い、その基板のm面上に半導体を成長させればよい。しかし、前述したように、基板の表面がm面である必要は無く、また、最終的なデバイスに基板が残っている必要も無い。

[0039] 参考のために、図3(c)に、表面がc面である窒化物系半導体の断面(基板表面に垂直な断面)における結晶構造を模式的に示す。Ga原子と窒素原子は、c面に平行な同一原子面上に存在しない。その結果、c面に垂直な方向に分極が発生する。c面を表面に有するGaN系基板を、本明細書では「c面GaN系基板」と称する。

[0040] c面GaN系基板は、GaN系半導体結晶を成長させるための一般的な基板である。c面に平行なGa(又はIn)の原子層と窒素の原子層の位置がc軸方向に僅かにずれているため、c軸方向に沿って分極が形成される。

[0041] 再び、図3(a)を参照する。m面GaN系基板10の表面(m面)12の上には、半導体積層構造20が形成されている。半導体積層構造20は、 $Al_aIn_bGa_cN$ 層($a+b+c=1$, $a \geq 0$, $b \geq 0$, $c \geq 0$)を含む活性層24と、 Al_dGa_eN 層($d+e=1$, $d \geq 0$, $e \geq 0$)26とを含んでいる。 Al_dGa_eN 層26は、活性層24を基準にしてm面12の側とは反対の側に位置している。ここで、活性層24は、窒化物系半導体発光素子100における電子注入領域である。

- [0042] 本実施形態の半導体積層構造20には、他の層も含まれており、活性層24と基板10との間には、 $A_1G_aVIn_wN$ 層 ($u+v+w=1$, $u \geq 0$, $v \geq 0$, $w \geq 0$) 22が形成されている。本実施形態の $A_1G_aVIn_wN$ 層22は、第1導電型(n型)の $A_1G_aVIn_wN$ 層22である。また、活性層24と $A_1G_a_eN$ 層26との間に、アンドープの GaN 層を設けてもよい。
- [0043] $A_1G_a_eN$ 層26において、 A_1 の組成比率 d は、厚さ方向に一様である必要は無い。 $A_1G_a_eN$ 層26において、 A_1 の組成比率 d が厚さ方向に連続的または段階的に変化していても良い。すなわち、 $A_1G_a_eN$ 層26は、 A_1 の組成比率 d が異なる複数の層が積層された多層構造を有していても良いし、ドーパントの濃度も厚さ方向に変化していてもよい。なお、コンタクト抵抗低減の観点から、 $A_1G_a_eN$ 層26の最上部(半導体積層構造20の上面部分)は、 A_1 の組成比率 d がゼロである層(GaN 層)から構成されていることが好ましい。
- [0044] 半導体積層構造20の上には、電極30が形成されている。本実施形態の電極30は、 Pt と Mg から構成される Mg 合金層32を含む電極であり、 Mg 合金層32の上には、 Pt からなる金属層34が形成されている。なお、「 Mg 合金層」とは、%オーダー(例えば1%)以上の濃度で Pt 等の金属が Mg 中に混和している層を意味する。本実施形態における Mg 合金層32には、金属層34を構成する金属 Pt が%オーダーの濃度で混和している。
- [0045] 電極30における Mg 合金層32は、半導体積層構造20のp型半導体領域に接触しており、p型電極(p側電極)の一部として機能する。本実施形態では、 Mg 合金層32は、第2導電型(p型)のドーパントがドーピングされた $A_1G_a_eN$ 層26に接触している。 $A_1G_a_eN$ 層26には、例えば、ドーパントとして Mg がドーピングされている。 Mg 以外のp型ドーパントとして、例えば Zn 、 Be などがドーピングされていても良い。
- [0046] Mg 合金層32の表面に接触する金属層34としては、 Pt 層の他、 Au (金)に比べると Mg と合金を形成し難い金属の層を用いることができる。

すなわち、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される少なくとも1種の金属を用いればよい。逆に、Mg合金層32と接触する金属層34の材料として、Mgと合金を形成し易いAuは好ましく無い。Pt、Mo、Pdは、Auに比べるとMgとの間で合金化しにくい金属であるが、後述する熱処理により、Mgの一部と反応して合金層が形成され得る。

[0047] Mg合金層32は、Mg層の上にPtなどの金属層を堆積した後に、熱処理を行なうことによって好適に形成される。熱処理の前に堆積した金属層が比較的厚ければ、熱処理によって形成されたMg合金層32の上に金属層34が残る。一方、熱処理の前に堆積した金属層が比較的薄ければ、熱処理によって金属層34の全てがMgと合金化する場合がある。この場合には、電極30としてMg合金層32のみが存在する。

[0048] なお、Mg合金層32は、金属層34を構成する金属とMgとの混合物または化合物を蒸着源として蒸着を行った後に熱処理を行うことによって形成してもよい。この場合、Mg合金層32を蒸着した直後には、Mg合金層32の上に金属層34は存在していない。その後、Mg合金層32の上に金属層34を堆積せずに、電極30をMg合金層32のみから構成させてもよいし、必要に応じて、Mg合金層32の上に金属層34を堆積してもよい。

[0049] Mg合金層32の少なくとも一部は、積層後の熱処理によってアイランド状（島状）に凝集を起こし、互いに間隔を置いて形成されていてもよい。このとき、金属層34を構成するPtは各アイランド状Mg合金の間に入り込んでいる。金属層34の少なくとも一部がアイランド状に凝集していてもよい。

[0050] 上記の各電極の上には、上述の金属層または合金層とは別に、これらの金属以外の金属または合金からなる電極層や配線層が形成されていても良い。

[0051] 本実施形態の電極30の厚さは、例えば、1~200nmである。Mg合金層32の上に金属層34が設けられている場合には、Mg合金層32は、金属層34よりも薄い層であり、Mg合金層32の厚さは、例えば、5nm以下（好ましくは0.1nm以上5nm以下）である。熱処理の前に堆積し

たMg層の厚さが5nmよりも大きい場合には、熱処理を行った後に、Mg層の一部が合金化されず、Mg合金層32とAl_{0.4}Ga_{0.6}N層26との間にMg層が残存することがある。これは、金属層34を構成するPtなどの金属がMgと合金を形成しにくいことに起因する。Mg層が残存すると、下地の半導体積層構造20との密着性が比較的低い場合がある。そのため、熱処理の前に堆積するMg層の厚さは5nm以下であることが好ましく、熱処理によって形成されるMg合金層32の厚さも5nm以下であることが好ましい。

[0052] また、Mg合金層32の上に位置する金属層（例えば、Pt層）34の厚さは、例えば、200nm以下（好ましくは1nm~200nm）である。Mg合金層32が金属層34よりも薄い層であるのは、Mg合金層32と金属層34との歪みのバランスが崩れることによるMg合金層32とAl_{0.4}Ga_{0.6}N層26との間での剥離が生じないようにするためである。金属層34は、Mg合金層32の酸化防止などにおいて重要な役割を担うが、必ずしも必要というわけではない。

[0053] また、m面の表面12を有するGaN系基板10の厚さは、例えば、100~400μmである。これはおよそ100μm以上の基板厚であればウエハのハンドリングに支障が生じないためである。なお、本実施形態の基板10は、GaN系材料からなるm面の表面12を有していれば、積層構造を有していても構わない。すなわち、本実施形態のGaN系基板10は、少なくとも表面12にm面が存在している基板も含み、したがって、基板全体がGaN系であってもよいし、他の材料との組み合わせであっても構わない。

[0054] 本実施形態の構成では、基板10の上に位置するn型のAl_{0.4}Ga_{0.6}In_wN層（例えば、厚さ0.2~2μm）22の一部に、電極40（n型電極）が形成されている。図示した例では、半導体積層構造20のうち電極40が形成される領域は、n型のAl_{0.4}Ga_{0.6}In_wN層22の一部が露出するように凹部42が形成されている。その凹部42にて露出したn型のAl_{0.4}Ga_{0.6}In_wN層22の表面に電極40が設けられている。電極40は、例えば、Ti層とAl層とPt層との積層構造から構成されており、電極40の厚さは、例えば、

100～200nmである。

[0055] 本実施形態の活性層24は、 $Ga_{0.9}In_{0.1}N$ 井戸層（例えば、厚さ9nm）とGa_{0.9}In_{0.1}Nバリア層（例えば、厚さ9nm）とが交互に積層されたGaInN/GaN多重量子井戸（MQW）構造（例えば、厚さ81nm）を有している。

[0056] 活性層24の上には、p型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N層26が設けられている。p型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N層26の厚さは、例えば、0.2～2μmである。なお、上述したように、活性層24とAl_{0.1}Ga_{0.9}N層26との間には、アンドープのGaN層を設けてもよい。

[0057] 加えて、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層26の上に、第2導電型（例えば、p型）のGaN層を形成することも可能である。そして、そのGaN層の上に、p⁺-GaNからなるコンタクト層を形成し、さらに、p⁺-GaNからなるコンタクト層上に、Mg合金層32を形成することも可能である。なお、GaNからなるコンタクト層を、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層26とは別の層であると考えたり、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層26の一部であると考えたりすることもできる。

[0058] 図4Aは、2つのPd/Pt電極をp型GaN層に接触させた場合の電流-電圧特性を、図4Bは、2つのMg合金層電極をp型GaN層に接触させた場合の電流-電圧特性を示す。Pd/Pt電極としては、p型のm面GaN層上にPd層およびPt層をこの順に形成した後、窒素雰囲気中で熱処理を行なうことにより形成した電極（m面GaN（Pd/Pt））を用いた。Mg合金層電極としては、p型のm面GaN層上に、Mg層およびPt層をこの順に蒸着した後、窒素雰囲気中で熱処理を行なうことにより合金化された電極（m面GaN（MgPt合金/Pt））を用いた。これらの電極の構成および熱処理条件は以下の表1に示す通りである。

[0059] [表1]

面方位	p型電極	厚さ（熱処理前）	熱処理温度と時間
m面	Pd/Pt	Pd40nm/Pt35nm	500℃で10分間
m面	MgPt合金/Pt	Mg2nm/Pt75nm	600℃で10分間

[0060] 本実施形態では、表1に示す熱処理を行なうことにより、p型GaN層

上に接するMg層とPt層の一部（Mg層に接する側）とを合金化させ、さらにMg合金層がp型GaN層と接した状態で加熱されることにより、良好なMg合金層電極（MgPt合金/Pt電極）を形成することができる。

[0061] 図4A、図4Bに示す電流－電圧特性の各曲線は、図4Dに示すTLM（Transmission Line Method）電極パターンの電極間距離に対応したものである。図4Dは、 $100\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の複数の電極が、 $8\mu\text{m}$ 、 $12\mu\text{m}$ 、 $16\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ だけ間隔を空けて配置された状態を示している。

[0062] 図4Cは、上述のPd/Pt電極、およびMgPt合金/Pt電極を用いた場合のそれぞれにおける固有コンタクト抵抗（ $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ）を示すグラフである。コンタクト抵抗はTLM法を用いて評価した。なお、縦軸に示した「 $1.0\text{E}-01$ 」は「 1.0×10^{-1} 」を意味し、「 $1.0\text{E}-02$ 」は「 1.0×10^{-2} 」を意味し、すなわち、「 $1.0\text{E}+X$ 」は、「 1.0×10^X 」の意味である。

[0063] Pdはp型電極として従来用いられてきた仕事関数の大きな金属である。Pd/Pt電極ではPdがp型GaN層に接触しており、図4Aのグラフ（Pd/Pt電極の電流－電圧特性）は、ショットキー型の非オーミック特性（ショットキー電圧：約2V）を示している。一方、図4Bのグラフ（Mg合金層電極の電流－電圧特性）にはショットキー電圧が現れておらず、このMg合金層電極は、p型GaN層とほぼオーミックコンタクトを形成することがわかる。ショットキー電圧の消失は、発光ダイオードやレーザーダイオード等のデバイス動作電圧を低減する上で非常に重要である。

[0064] さらに、図4Cに示すように、Pd/Pt電極よりもMgPt合金/Pt電極のほうが一桁近くも低い固有コンタクト抵抗（ $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ）を示す。本実施形態では、仕事関数の大きな金属を用いるという従来のp型電極のアプローチでは得ることのできない非常に顕著な効果を得ることに成功している。

[0065] なお、Mg/Pt電極をc面p型GaN層と接触させた場合には、Pd/Pt電極の場合よりも若干低いコンタクト抵抗が得られる。接触面がm面の場

合には、Mg/Pt電極は、Pd/Pt電極より顕著に低いコンタクト抵抗を示す（特願2009-536554号参照）。MgPt合金/Pt電極を用いた本発明でも同様の結果が得られると推測される。

[0066] 次に、コンタクト抵抗について熱処理温度の依存性を説明する。

[0067] 図5は、p型のGaN層のm面上に、Mg層およびPt層をこの順に蒸着した後、窒素雰囲気中で熱処理を行なうことによって合金化させた電極（すなわち、m面GaN（MgPt合金/Pt））の結果を示している。また、対比として、p型のm面GaN層上にPd層およびPt層をこの順に形成した後、窒素雰囲気中で熱処理を行なうことによって形成した電極（m面GaN（Pd/Pt））の結果も示している。

[0068] 図5に示すデータは、パルス蒸着法を用いてMg層を堆積したサンプルから得たものである。パルス蒸着法については、後述する。本願明細書における本発明の実験例では、いずれも、Mg層をパルス蒸着法によって堆積し、Mg以外の金属（Pd、Pt、Au）は、通常の電子ビーム蒸着法によって堆積している。

[0069] MgPt合金/Pt電極、およびPd/Pt電極は、Mgがドーピングされたm面GaN層に接触している。これらの電極が接触するm面GaN層では、表面から深さ20nmの領域（厚さ20nmの最表面領域）に $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされている。また、m面GaN層の表面からの深さが20nmを超える領域には、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgがドーピングされている。このように、p型電極が接触するGaN層の最表面領域においてp型不純物の濃度を局所的に高めると、コンタクト抵抗を最も低くすることができる。また、このような不純物ドーピングを行なうことにより、電流—電圧特性の面内ばらつきも低減するため、駆動電圧のチップ間ばらつきを低減できるという利点も得られる。このため、本願に開示している実験例では、いずれも、電極が接触するp型GaN層の表面から深さ20nmの領域に $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgをドーピングし、それよりも深い領域には $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMgをドーピングしている。

[0070] 熱処理前における各層の厚さは、以下の表2に示す通りである。

[0071] [表2]

面方位	p型電極	厚さ(熱処理前)
m面	MgPt合金/Pt	Mg2nm/Pt75nm
m面	Pd/Pt	Pd40nm/Pt35nm

[0072] まず、Pd/Pt電極の場合、コンタクト抵抗は、500°Cの熱処理の前後で、ほとんど変化しなかった。熱処理温度が500°Cを超えると、コンタクト抵抗の上昇が見られた。

[0073] 一方、MgPt合金/Pt電極の場合は、熱処理温度が500°C以上になると、コンタクト抵抗は急に低下した。本実施形態では、熱処理前にp型のm面GaN層に接するのはMg層であるのに対し、500°C以上の温度で熱処理を行なうことによってMg層がPt層と合金化し、熱処理後にp型のm面GaN層に接するのはMg合金層になる。図5から、m面GaN(MgPt合金/Pt)電極の場合、熱処理温度が600°Cになると、コンタクト抵抗はさらに低下していることがわかる。さらに昇温して700°Cの熱処理を行なうと、コンタクト抵抗は600°Cの熱処理温度のときよりも上昇するものの、従来のm面GaN(Pd/Pt)の電極の場合のコンタクト抵抗よりは小さかった。

[0074] したがって、MgPt合金/Pt電極の熱処理温度としては、例えば、500°C以上が好ましい。700°Cを超えて所定温度(例えば800°C)以上になると、電極やGaN層の膜質の劣化が進むため、上限は700°C以下が好ましい。加えて、さらにコンタクト抵抗が低くなる、550°C以上650°C以下の温度範囲であることがさらに好ましい。

[0075] 図6は、電極構造(MgPt合金/Pt)においてGaの深さ方向のプロファイルを、SIMSを用いて得た結果を示す。熱処理前におけるMg層厚は2nmであり、Pt層厚は75nmであった。熱処理によってMg合金層厚は2nmとなった。熱処理は、窒素雰囲気中600°Cで10分間行なった。グラフの縦軸は原子濃度と比例関係にある、SIMSの検出器の信号強度

を示す。図6における横軸の距離 $0\ \mu\text{m}$ はp型Ga_{0.5}N層とMg合金層との界面の位置にほぼ相当する。なお、横軸の原点($0\ \mu\text{m}$)は、Gaピークの位置に合わせた。横軸の数値が「-」の領域は電極側であり、「+」の領域はp型Ga_{0.5}N側である。縦軸は、as-depo(熱処理前)のGa_{0.5}N結晶中のGa濃度を1として規格化している。また母体の原子密度から算定すると、縦軸の強度の 1×10^{-3} は濃度として $1 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ にほぼ相当する。

[0076] 図6に示すように、熱処理後には、熱処理前と比べて、Mg合金層中のGa濃度が増加している。この結果から、熱処理によって、Mg合金層中にGaが拡散していることがわかる。さらに、 500°C 以上の温度で熱処理を行なった試料ではコンタクト抵抗が低くなることから、その原因の詳細は不詳であるが、Mg合金層中のGa拡散量とコンタクト抵抗との間の相関があることが確認された。そして、最も低いコンタクト抵抗が得られた試料では、Mg合金層中のGa濃度は $10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 以上であることが確認された。

[0077] 図7は、電極構造(MgPt合金/Pt)における窒素原子の深さ方向プロファイルを、SIMSを用いて得た結果を示す。熱処理前におけるMg層厚は $2\ \text{nm}$ であり、Pt層厚は $75\ \text{nm}$ である。熱処理によってMg合金層厚は $2\ \text{nm}$ となった。熱処理は、窒素雰囲気中 600°C で10分間行なった。図7のグラフの縦軸はN強度であり、横軸は深さ方向の距離である。 1×10^{-3} のN強度は $1 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ のN濃度にほぼ相当する。横軸の数値が「-」の領域は電極側であり、「+」の領域はp型Ga_{0.5}N側である。縦軸は、as-depo(熱処理前)のGa_{0.5}N結晶中のN濃度を1として規格化している。横軸の原点($0\ \mu\text{m}$)は、p型Ga_{0.5}N層とMg層との界面の位置にほぼ相当する。図7から明らかなように、熱処理後の電極構造においても、Mg合金層中にNの拡散はみられない。

[0078] 以上のように、本願発明者は、Mg合金層がm面を表面とするp型Ga_{0.5}N層と接するように熱処理(窒素雰囲気中 600°C で10分間)を行なうと、p型Ga_{0.5}N層のGa原子は電極側へ拡散するが、N原子は電極側へほとんど拡散しないということを見出した。その結果、p型Ga_{0.5}N層の最表面では、G

a原子が不足し、Ga空孔が形成される。Ga空孔はアクセプター的性質を有するため、電極とp型GaN層の界面の近傍でGa空孔が増加すると、この界面のショットキー障壁を正孔がトンネリングによって通過しやすくなる。これにより、m面を表面とするp型GaN層と接するようにMg合金層を形成した場合には、コンタクト抵抗が低減されることが考えられる。

[0079] 一方、本願発明者は、Mg合金層がm面ではなくc面を表面とするp型GaN層と接するように熱処理（窒素雰囲気中600度10分間）を行なうと、Ga原子だけでなくN原子も電極側へ拡散することを見いだした。また、この場合にはコンタクト抵抗が高いことを確認した。Ga原子だけでなくN原子も電極側へ拡散すると、p型GaN層の最表面では、ドナー的性質を有するN空孔も形成される。その結果、p型GaN層の最表面では、Ga空孔とN空孔との間で電荷補償が起こる。また、N原子が抜けることによってGaN結晶の結晶性は悪化すると考えられる。これらの原因から、c面を表面とするGaNと接するようにMg合金層を形成した場合には、コンタクト抵抗が高いと考えられる。

[0080] この発見は、原子間結合力や表面状態などの物理的性質がm面GaNとc面GaNの両者において全く異なることを示すものである。

[0081] なお、このような各元素（Ga、N）の挙動は、Mg合金層が接触するGaN層において、Gaの一部がAlやInで置換されていても同様に生じると推定される。また、Mg合金層が接触するGaN系半導体層中にドーパントとしてMg以外の元素がドーピングされている場合でも同様であると推定される。

[0082] 次に、再び図3（a）を参照しながら、本実施形態の構成をさらに詳述する。

[0083] 図3（a）に示すように、本実施形態の発光素子100では、m面GaN基板10と、基板10上に形成された $Al_uGa_vIn_wN$ 層（ $u+v+w=1$ ， $u \geq 0$ ， $v \geq 0$ ， $w \geq 0$ ）22とが形成されている。この例では、m面GaN基板10は、n型GaN基板（例えば、厚さ100 μ m）であり、 Al_uG

$a_v I n_w N$ 層22は、 n 型 $G a N$ 層（例えば、厚さ $2 \mu m$ ）である。 $A l_u G a_v I n_w N$ 層22の上には活性層24が形成されている。言い換えると、 m 面 $G a N$ 基板10の上には、少なくとも活性層24を含む半導体積層構造20が形成されている。

[0084] 半導体積層構造20において、 $A l_x G a_y I n_z N$ 層22の上には、 $A l_a I n_b G a_c N$ 層（ $a + b + c = 1$, $a \geq 0$, $b \geq 0$, $c \geq 0$ ）を含む活性層24が形成されている。活性層24は、例えば、 $I n$ 組成比が約25%の $I n G a N$ 井戸層と $G a N$ バリア層で構成され、井戸層の厚さは9 nm、バリア層の厚さは9 nm、井戸層周期は3周期である。活性層24の上には、第2導電型（ p 型）の $A l_d G a_e N$ 層（ $d + e = 1$, $d \geq 0$, $e \geq 0$ ）26が形成されている。第2導電型（ p 型）の $A l_d G a_e N$ 層（ $d + e = 1$, $d \geq 0$, $e \geq 0$ ）26は例えば、 $A l$ 組成比が10%の $A l G a N$ 層で厚さは $0.2 \mu m$ である。本実施形態の $A l_d G a_e N$ 層26には、 p 型のドーパントとして、 $M g$ がドーピングされている。ここで $M g$ は、 $A l_d G a_e N$ 層26に対して、例えば、 $10^{18} cm^{-3}$ 程度ドーピングされている。またこの例では、活性層24と $A l_d G a_e N$ 層26との間に、アンドープの $G a N$ 層（不図示）が形成されている。

[0085] さらに、この例においては、 $A l_d G a_e N$ 層26の上には、第2導電型（例えば、 p 型）の $G a N$ 層（不図示）が形成されている。さらに、 $p^+ - G a N$ からなるコンタクト層上には、 $M g$ 合金層32が形成されており、その上に $P t$ 層34が形成されている。この $M g$ 合金層32と $P t$ 層34の積層構造が電極（ p 型電極）30となる。

[0086] なお、半導体積層構造20には、 $A l_u G a_v I n_w N$ 層22の表面を露出させる凹部（リセス）42が形成されており、凹部42の底面に位置する $A l_u G a_v I n_w N$ 層22には、電極（ n 型電極）40が形成されている。凹部42の大きさは、例えば、幅（または径）は $20 \mu m$ であり、深さは $1 \mu m$ である。電極40は、例えば、 $T i$ 層と $A l$ 層と $P t$ 層（例えば、厚さはそれぞれ、5 nm、100 nm、10 nm）の積層構造から成る電極である。

- [0087] 本実施形態の窒化物系半導体発光素子100によれば、動作電圧 (V_{op}) を、従来のPd/Pt電極を用いたm面LEDの場合よりも約1.3V低減させることができ、その結果、消費電力を低減できることがわかった。
- [0088] 次に、引き続き図3(a)を参照しながら、本実施形態の窒化物系半導体発光素子100の製造方法を説明する。
- [0089] まず、m面基板10を用意する。本実施形態では、基板10として、GaN基板を用いる。本実施形態のGaN基板は、HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法を用いて得られる。
- [0090] 例えば、まずc面サファイア基板上に数mmオーダの厚膜GaNを成長する。その後、厚膜GaNをc面に垂直方向、m面で切り出すことによりm面GaN基板が得られる。GaN基板の作製方法は、上記に限らず、例えばナトリウムフラックス法などの液相成長やアモノサーマル法などの融液成長方法を用いてバルクGaNのインゴットを作製し、それをm面で切り出す方法でも良い。
- [0091] 基板10としては、GaN基板の他、例えば、酸化ガリウム、SiC基板、Si基板、サファイア基板などを用いることができる。基板上にm面から成るGaN系半導体をエピタキシャル成長するためには、SiCやサファイア基板の面方位もm面である方が良い。ただし、r面サファイア基板にはa面GaNが成長するという事例もあることから、成長条件によっては必ずしも成長用表面がm面であることが必須とならない場合もあり得る。少なくとも半導体積層構造20の表面がm面であれば良い。本実施形態では、基板10の上に、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により結晶層を順次形成していく。
- [0092] 次に、m面GaN基板10の上に、 $Al_uGa_vIn_wN$ 層22を形成する。 $Al_uGa_vIn_wN$ 層22として、例えば、厚さ $3\mu m$ のAlGaNを形成する。GaNを形成する場合には、m面GaN基板10の上に、 $1100^\circ C$ でTMG ($Ga(CH_3)_3$)、TMA ($Al(CH_3)_3$) および NH_3 を供給すること

によってGa_aN層を堆積する。

[0093] 次に、Al_uGa_vIn_wN層22の上に、活性層24を形成する。この例では、活性層24は、厚さ9nmのGa_{0.9}In_{0.1}N井戸層と、厚さ9nmのGa_aNバリア層が交互に積層された厚さ81nmのGaInN/GaN多重量子井戸(MQW)構造を有している。Ga_{0.9}In_{0.1}N井戸層を形成する際には、Inの取り込みを行なうために、成長温度を800°Cに下げることが好ましい。

[0094] 次に、活性層24の上に、例えば厚さ30nmのアンドープGa_aN層を堆積する。次いで、アンドープGa_aN層の上に、Al_dGa_eN層26を形成する。Al_dGa_eN層26として、例えば、TMG、NH₃、TMA、TMIおよびp型不純物としてCp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を供給することにより、厚さ70nmのp-Al_{0.14}Ga_{0.86}Nを形成する。

[0095] 次に、Al_dGa_eN層26の上に、例えば厚さ0.5μmのp-GaNコンタクト層を堆積する。p-GaNコンタクト層を形成する際には、p型不純物としてCp₂Mgを供給する。

[0096] その後、塩素系ドライエッチングを行なうことにより、p-GaNコンタクト層、Al_dGa_eN層26、アンドープGa_aN層および活性層24の一部を除去して凹部42を形成し、Al_xGa_yIn_zN層22のn型電極形成領域を露出させる。次いで、凹部42の底部に位置するn型電極形成領域の上に、n型電極40として、Ti/Pt層を形成する。

[0097] さらに、p-GaNコンタクト層の上に、Mg層(厚さ2nm)を形成し、さらにMg層上にPt層(厚さ75nm)を形成する。その後、窒素雰囲気下、600°Cで10分間の熱処理を行なうことによって、Pt層のうちMg層側に配置する部分がMg層へ進入し、Mg合金層32が形成される。Pt層のうちMg層と合金を形成しなかった部分は、Mg合金層32の上にPt層34として残る。本実施形態の熱処理は、Mg合金層形成のための熱処理とp型Ga_aN層のGa原子を電極側へ拡散させるための熱処理とを兼ねている。

- [0098] 本実施形態では、Mg層の形成に原料金属をパルス的に蒸発させながら蒸着を行なう手法（パルス蒸着法）を用いている。より具体的には、真空中に保持したるつぼ中のMg金属に、パルス的に電子ビームを照射し、パルス的に原料金属を蒸発させる。その原料金属分子または原子がp-GaNコンタクト層に付着し、Mg層が形成される。パルスは例えばパルス幅0.5秒、繰り返し1Hzである。このような手法により、Mg層として緻密で良好な品質の膜が形成された。Mg層が緻密になる理由は、パルス的な蒸着を行なうことにより、p-GaNコンタクト層に衝突するMg原子またはMg原子クラスタの運動エネルギーが増加するためであると考えられる。
- [0099] 一般にMgは水や空気との接触により酸化されやすい元素である。しかし、本実施形態のパルス蒸着法を用いると、酸化されにくく、耐水、耐酸素性に優れたMg層が得られる。
- [0100] なお、本実施形態では、原料金属（Mg金属）をパルス的に蒸発させながら蒸着を行なう手法を採用しているが、Mg層を形成できるのであれば、他の手法を採用することも可能である。緻密で良質なMg層を形成する他の手法としては、例えばスパッタリング、熱CVD法や分子線エピタキシ（MBE）などを採用することが可能である。
- [0101] なお、その後、レーザーリフトオフ、エッチング、研磨などの方法を用いて、基板10、Al_uGa_vIn_wN層22の一部までを除去してもよい。この場合、基板10のみを除去してもよいし、基板10およびAl_uGa_vIn_wN層22の一部だけを選択的に除去してもよい。もちろん、基板10、Al_uGa_vIn_wN層22を除去せずに残してもよい。以上の工程により、本実施形態の窒化物系半導体発光素子100が形成される。
- [0102] 本実施形態の窒化物系半導体発光素子100において、n型電極40とp型電極30との間に電圧を印加すると、p型電極30から活性層24に向かって正孔が、n型電極40から活性層24に向かって電子が注入され、例えば450nm波長の発光が生じる。
- [0103] ここで、図8（a）に、m面GaN上にMgPt合金/Pt層からなる電

極を用いた発光ダイオードの電流－電圧特性を示す。比較のため、発光ダイオードの窒化物系半導体の構造を同じで、Pd/Pt層からなる電極を用いた発光ダイオード（従来例）、およびMg/Pt層からなる電極を用いた発光ダイオードの特性も示す。これらの発光ダイオードにおける電極の構成および熱処理条件は、以下の表3に示す通りである。

[0104] [表3]

面方位	p型電極	厚さ（熱処理前）	熱処理温度と時間
m面	MgPt合金 /Pt	Mg2nm/Pt75nm	600℃ 10分
m面	Mg/Pt	Mg7nm/Pt75nm	600℃ 10分
m面	Pd/Pt	Pd40nm/Pt35nm	500℃ 10分

[0105] この発光ダイオードの構成は、m面GaN基板の上に、n型GaN層、InGaN井戸層（3層）とGaNバリア層（2層）とが交互に積層された活性層、p型GaN層が積層されたものである。さらにp型GaN層上にはp型電極として、Mg/Pt電極またはPd/Pt電極を設けている。n型電極は、p型GaN層、活性層をエッチングし、n型GaN層を露出させ、n型GaN層上に形成している。

[0106] まず、従来の電極（Pd/Pt層からなる電極）と本実施形態の電極（MgPt合金/Pt層からなる電極）とを比較する。Pd/Pt層からなる電極を用いた発光ダイオードの立ち上がり電圧は約3.2Vであるのに対し、MgPt合金/Pt層からなる電極を用いた発光ダイオードの立ち上がり電圧は約2.7Vであり、本実施形態の立ち上がり電圧は従来よりも小さい値である。また、電流値20mAでの動作電圧で比較すると、MgPt合金/Pt層からなる電極を用いた発光ダイオードでは、Pd/Pt層からなる電極を用いた発光ダイオードよりも1.3V以上小さくなっていることがわかる。このように、本実施形態の電極を用いた発光ダイオードでは、従来と比較して動作電圧の大幅な低減が可能である。

[0107] 次に、本実施形態の電極（MgPt合金/Pt層からなる電極）とMg/Pt層からなる電極とを比較すると、本実施形態の電極を用いた発光ダイオ

ードの立ち上がり電圧および電流値 20 mA での動作電圧の値は、Mg/Pt 層からなる電極を用いた発光ダイオードの値よりもやや大きい。

[0108] 図 8 (b) は MgPt 合金/Pt 電極、Pd/Pt 電極および Mg/Pt 電極の各々のコンタクト抵抗を比較して示すグラフである。いずれのサンプルでも、電極は p 型 GaN 層に接触している。

[0109] 熱処理前における各層の厚さは、以下の表 4 に示す通りである。

[0110] [表4]

面方位	p 型電極	厚さ (熱処理前)
m 面	MgPt 合金 /Pt	Mg 2 nm / Pt 75 nm
m 面	Pd / Pt	Pd 40 nm / Pt 35 nm
m 面	Mg / Pt	Mg 7 nm / Pt 75 nm

[0111] また、熱処理温度および熱処理時間は以下の表 5 に示す通りである。

[0112] [表5]

面方位	p 型電極	熱処理温度と時間
m 面	MgPt 合金 /Pt	600°C 10 分
m 面	Pd / Pt	500°C 10 分
m 面	Mg / Pt	600°C 10 分

[0113] 図 8 (b) に示すように、MgPt 合金/Pt 層からなる電極のコンタクト抵抗は、Pd/Pt 層からなる電極のコンタクト抵抗よりも低下している。また、MgPt 合金/Pt 層からなる電極のコンタクト抵抗は、Mg/Pt 層からなる電極のコンタクト抵抗よりもやや高い値である。

[0114] 図 8 (a)、(b) に示す結果から、本実施形態の電極の電気特性 (立ち上がり電圧および動作電圧の特性) およびコンタクト抵抗は、Mg/Pt 層からなる電極よりもやや劣る値となっている。しかしながら、密着性という点では、本実施形態の電極は Mg/Pt 層よりも優れた特性を示し、本実施形態の電極は信頼性という点で優れているといえる。

[0115] 図 9 (a) は MgPt 合金/Pt 層からなる電極を有する発光素子におけ

る電極表面の光学顕微鏡の図面代用写真であり、図9 (b) はMg/Pt層からなる電極を有する発光素子における電極表面の光学顕微鏡の図面代用写真である。MgPt合金/Pt層からなる電極を有する発光素子では、図9 (a) に示すようにp型電極30の剥がれは全く生じていなかったが、Mg/Pt層からなる電極を有する発光素子では、図9 (b) に示すようにp型電極130の端の一部に剥がれが生じているものもあった。なお、図9 (b) は、形成した発光素子のうち電極に剥がれが見られるものを選んで撮影したものであり、Mg/Pt層からなる電極を有するデバイスにおいても、高い確率で電極の剥がれが生じるわけではない。

[0116] 次に、図10を参照しながら、Au層、および、MgAu合金/Au層からなる電極を用いた例（比較例）について説明する。図10 (a) は、m面のGaN層の上に、Au層、または、MgAu合金/Au層の電極を形成し、その固有コンタクト抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$) を測定した結果を示している。なお、この固有コンタクト抵抗は、電極を形成して熱処理を行った後の固有コンタクト抵抗の値である。MgAu合金/Au層の電極は、Mg層とAu層とを積層した後に温度600°Cで10分間の熱処理を行なうことによって形成した。熱処理によりMgとAuとは容易に合金化するため、Mg層およびAu層は、熱処理後にはMgAu合金とAu層との積層（すなわちMgAu合金/Au層）になっていると考えられる。

[0117] 図10 (a) の結果からわかるように、Au層の電極に比べ、MgAu合金/Au層の電極を用いた場合の方が固有コンタクト抵抗の特性は悪化する。なお、Au層の電極のコンタクト抵抗は、Pd/Pt層からなる電極のコンタクト抵抗とほぼ等しいことを確認しており、図10 (a) の結果から、Pd/Pt層からなる電極よりもMgAu合金/Au層からなる電極のほうが高いコンタクト抵抗を示すことがわかる。この点、本実施形態の電極（例えば、MgPt合金/Pt層）の構成における特性向上の結果と顕著に相違する。なお、上述したように、Mgは水や空気との接触により酸化されやすい元素であるので、Mg層の単独での電極では無くAu層の積層体（熱処理

後はMgAu合金/Au層)として使用される構成は検討候補の一つに成り得る。しかしながら、実際には、Au層と比較してMgAu合金/Au層のコンタクト抵抗は高くなるがゆえに、コンタクト特性は悪い。換言すると、本実施形態の構成(例えば、MgPt合金/Pt層)のコンタクト抵抗の特性が優れていることは、MgAu合金とAu層からなる電極の測定結果が悪かったことを鑑みると、当業者にとって予見できない効果を有していたと思われる。

[0118] なお、図10(a)に示す結果では、Au電極(またはPd/Pt電極)におけるコンタクト抵抗の絶対値が比較的低い($3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下)。これは、本実験で用いたm面GaN層では、Mgドーパ量が最適化されているためである。しかし、2つのAu電極(またはPd/Pt電極)をp型GaN層に接触させて電流-電圧特性を測定すると、ショットキー電圧が観測された。このように、Auは、m面を表面とするp型GaN層に接触させる電極の材料として好ましくない。一方、m面GaN層を用いて本実施形態の電極(例えば、MgPt合金/Pt)を作製してコンタクト抵抗を測定したところ、 $5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下の値が測定された。また、本実施形態の電極をp型GaN層に接触させて電流-電圧特性を測定すると、ショットキー電圧は観測されず、本実施形態の電極はm面を表面とするp型GaN層とオーミックコンタクトを形成することがわかった。

[0119] また、図10(b)は、熱処理後のMgAu合金/Au層の電極の表面を示す図面代用写真であり、一方、図10(c)は、熱処理後のAu層の電極の表面を示す図面代用写真である。両者を比べると、MgAu合金/Au層の電極の方の膜質が悪いことがわかった。

[0120] 以上、本発明を好適な実施形態により説明してきたが、こうした記述は限定事項では無く、勿論、種々の改変が可能である。

[0121] なお、本発明の実施形態と本質的に構成を異にするものであるが、関連する構造が特許文献3、4に開示されている。しかしながら、特許文献3および4には、窒化ガリウム系半導体層の結晶面がm面であることの記載は一切

無く、したがって、これらの文献の開示はc面の窒化ガリウム系半導体層の上に電極を形成した技術に関するものである。特に、特許文献3は、Mg層の上にAu層を積層した構成に関するものであり、その積層構造の電極を仮にm面上に形成したとしても、本実施形態の電極の効果が得られるものではない。また、特許文献4は、Ni、Cr、Mgからなる金属層に言及しているが、開示されている実施例はNi層を下層にした電極構造を有しているもののみである。特許文献3、4とも、c面の窒化ガリウム系半導体層の上に形成された電極構造に関するものであり、m面の窒化ガリウム系半導体層に対するコンタクト抵抗に関する問題も解決策も教示されていない。

[0122] また、本願発明者は、先願（特願2009-030147号）において、m面を表面とするp型GaN層にMg層が接触している電極構造（Mg電極）が低いコンタクト抵抗を示すことを開示した。本願発明のMg合金層電極のコンタクト抵抗は、上記先願の電極のコンタクト抵抗よりも高い値である。しかし、従来のPd/Pt電極と比較すると、本願発明のMg合金層電極を用いた発光ダイオードの動作電圧の低減効果は顕著であることは図8（a）で示した通りである。また、Mg合金層はMg層と比較して半導体積層構造との密着性が強いため、量産過程における歩留まり向上やデバイス信頼性向上において前記Mg電極よりも優位であるといえる。Mg合金層と半導体積層構造との密着性が強い要因としてはMgにPt（あるいはMo、Pd）を加えることにより酸化されにくくなること、硬度が向上することにより歪みによる反り返りが抑制されること、さらにはMg合金層中のPt（あるいはMo、Pd）が半導体積層構造と接することでMg単体のときよりも密着性が強化されることなどが考えられる。

[0123] 本発明に係る上記の発光素子は、そのまま光源として使用されても良い。しかし、本発明に係る発光素子は、波長変換のための蛍光物質を備える樹脂などと組み合わせれば、波長帯域の拡大した光源（例えば白色光源）として好適に使用され得る。

[0124] 図11は、このような白色光源の一例を示す模式図である。図11の光源

は、図3(a)に示す構成を有する発光素子100と、この発光素子100から放射された光の波長を、より長い波長に変換する蛍光体(例えばYAG: Yttrium Aluminum Garnet)が分散された樹脂層200とを備えている。発光素子100は、表面に配線パターンが形成された支持部材220上に搭載されており、支持部材220上には発光素子100を取り囲むように反射部材240が配置されている。樹脂層200は、発光素子100を覆うように形成されている。

[0125] なお、本発明におけるコンタクト構造は、Mg層と接触するp型半導体領域がGaN系半導体、すなわち $Al_xIn_yGa_zN$ ($x+y+z=1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$)半導体からなる場合に前述の優れた効果を発揮する。このようなコンタクト抵抗低減の効果は、当然に、LED以外の発光素子(半導体レーザ)や、発光素子以外のデバイス(例えばトランジスタや受光素子)においても得ることが可能である。

[0126] 現実のm面は、m面に対して完全に平行な面である必要は無く、m面から僅かな角度($0 \sim \pm 1^\circ$)だけ傾斜していても良い。

産業上の利用可能性

[0127] 本発明によれば、m面基板上で結晶成長させたGaN系半導体素子、または、m面を表面とするGaN系半導体積層構造体において、そのコンタクト抵抗を低減することができる。したがって、従来、コンタクト抵抗の特性の悪さから積極的な利用が困難であった、m面基板上で結晶成長させたGaN系半導体素子(または、m面を表面とするGaN系半導体積層構造体)の産業上の利用可能性が向上する。

符号の説明

[0128] 10 基板 (GaN系基板)
 12 基板の表面 (m面)
 20 半導体積層構造
 22 $Al_uGa_vIn_wN$ 層
 24 活性層

26	Al _d Ga _e N層
30	p型電極
32	Mg合金層
34	金属層 (Pt層)
40	n型電極
42	凹部
100	窒化物系半導体発光素子
200	樹脂層
220	支持部材
240	反射部材

請求の範囲

- [請求項1] 表面が m 面である p 型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造と、
前記 p 型半導体領域上に設けられた電極と
を備え、
前記 p 型半導体領域は、 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x + y + z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$) 半導体から形成され、前記電極は、前記 p 型半導体領域の前記表面に接触し、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層を含む、窒化物系半導体素子。
- [請求項2] 前記電極は、前記Mg合金層と、前記Mg合金層の上に形成された金属層とを含み、
前記金属層は、Pt、MoおよびPdのうち前記Mg合金層に含まれる金属から形成されている、請求項1に記載の窒化物系半導体素子。
- [請求項3] 前記半導体積層構造は、
 $Al_aIn_bGa_cN$ 層 ($a + b + c = 1$, $a \geq 0$, $b \geq 0$, $c \geq 0$)
を含む活性層を有し、前記活性層は光を発する、請求項1に記載の窒化物系半導体素子。
- [請求項4] 前記 p 型半導体領域は p 型コンタクト層である、請求項1に記載の窒化物系半導体素子。
- [請求項5] 前記Mg合金層の厚さは0.1nm以上5nm以下である、請求項1から4の何れか一つに記載の窒化物系半導体素子。
- [請求項6] 前記Mg合金層の厚さは前記金属層の厚さ以下である、請求項2に記載の窒化物系半導体素子。
- [請求項7] 前記Mg合金層中のN濃度はGa濃度よりも低い、請求項1に記載の窒化物系半導体素子。
- [請求項8] 前記半導体積層構造を支持する半導体基板を有している、請求項1

に記載の窒化物系半導体素子。

[請求項9]

窒化物系半導体発光素子と、

前記窒化物系半導体発光素子から放射された光の波長を変換する蛍光物質を含む波長変換部と

を備える光源であって、

前記窒化物系半導体発光素子は、

表面が m 面である p 型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造と、

前記 p 型半導体領域上に設けられた電極とを備え、

前記 p 型半導体領域は、 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x + y + z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$) 半導体からなり、

前記電極は、前記 p 型半導体領域の前記表面に接触し、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層を含む、光源。

[請求項10]

基板を用意する工程(a)と、

表面が m 面である p 型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造を前記基板上に形成する工程(b)と、

前記半導体積層構造の前記 p 型半導体領域の前記表面上に電極を形成する工程(c)とを含み、

前記工程(c)は、

前記 p 型半導体領域の前記表面上に、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属とMgとから構成されるMg合金層を形成する工程を含む、窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項11]

前記Mg合金層を形成する工程は、

前記 p 型半導体領域の前記表面上に、Mg層を形成する工程と、

前記Mg層の上に、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される導電層を形成する工程と、

加熱処理を行なうことにより、前記Mg層と前記導電層の少なくとも

も一部とを合金化する工程とを含む、請求項 10 に記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項12] 前記加熱処理は、500℃以上700℃以下の温度で実行される、請求項 11 に記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項13] 前記加熱処理は、550℃以上650℃以下の温度で実行される、請求項 12 に記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項14] 前記Mg層を形成する工程は、パルス的に電子ビームを照射することによってMgを前記p型半導体領域の前記表面の上に蒸着させることを実行する、請求項 11 から 13 の何れか一つに記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項15] 前記Mg層は0.1nm以上5nm以下の厚さで前記半導体積層構造の上に堆積される、請求項 11 から 14 の何れか一つに記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項16] 前記工程 (b) を実行した後において、前記基板を除去する工程を含む、請求項 10 から 15 の何れか一つに記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項17] 前記Mg合金層を形成する工程は、Mgと、Pt、MoおよびPdからなる群から選択される金属との混合物または化合物を、前記p型半導体領域の前記表面上に蒸着する工程と、

加熱処理を行なう工程とを含む、請求項 10 に記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

[請求項18] 表面がm面であるp型半導体領域を有する窒化物系半導体積層構造と、

前記p型半導体領域上に設けられた電極とを備え、

前記p型半導体領域は、 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x + y + z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$) 半導体から形成され、

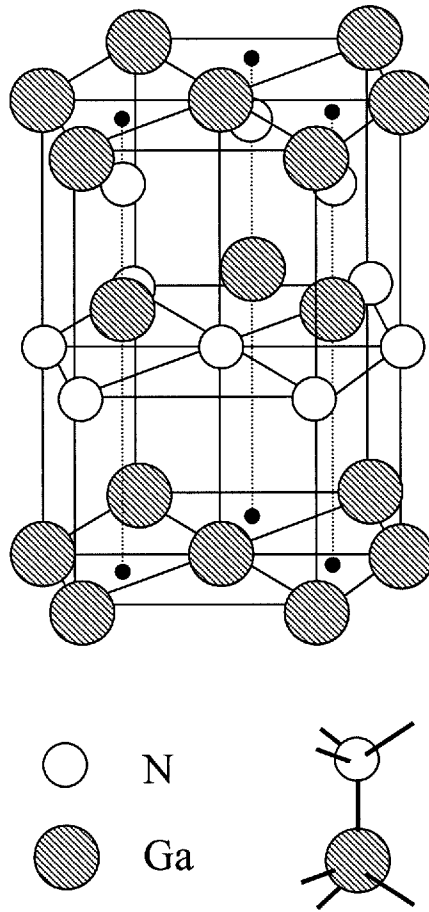
前記電極は、前記 p 型半導体領域の前記表面上に形成されたアイランド状 Mg 合金を含み、前記アイランド状 Mg 合金は、Pt、Mo および Pd からなる群から選択される金属と Mg とから構成される、窒化物系半導体素子。

[請求項19]

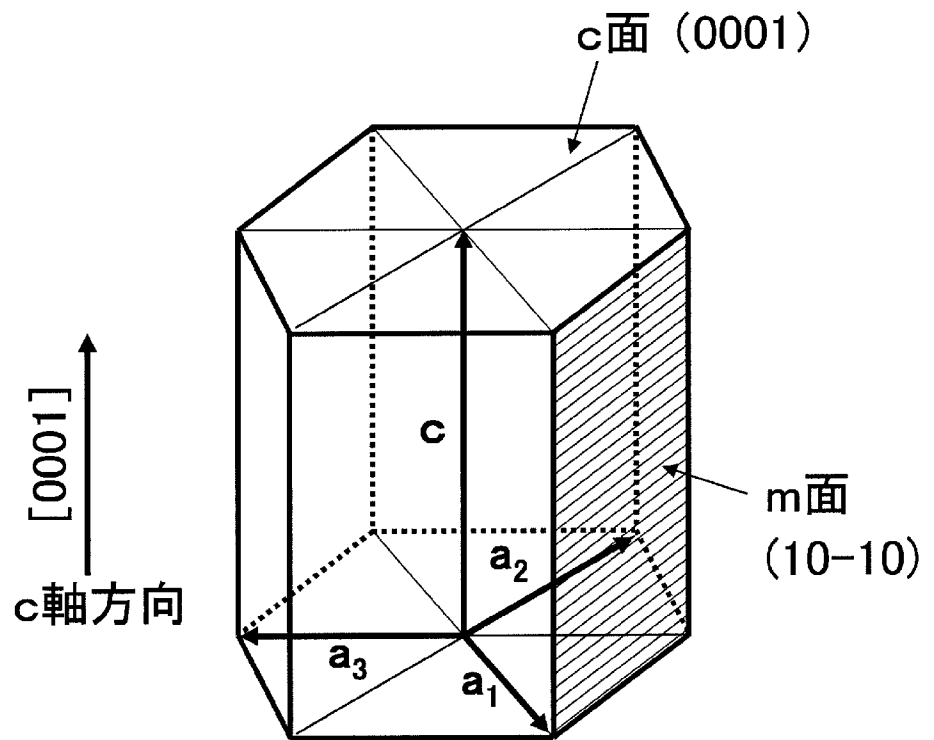
前記電極は、前記アイランド状 Mg 合金と、前記アイランド状 Mg 合金の上に形成された金属層とを含み、

前記金属層は、Pt、Mo および Pd のうち前記アイランド状 Mg 合金に含まれる金属から形成されている、請求項 18 に記載の窒化物系半導体素子。

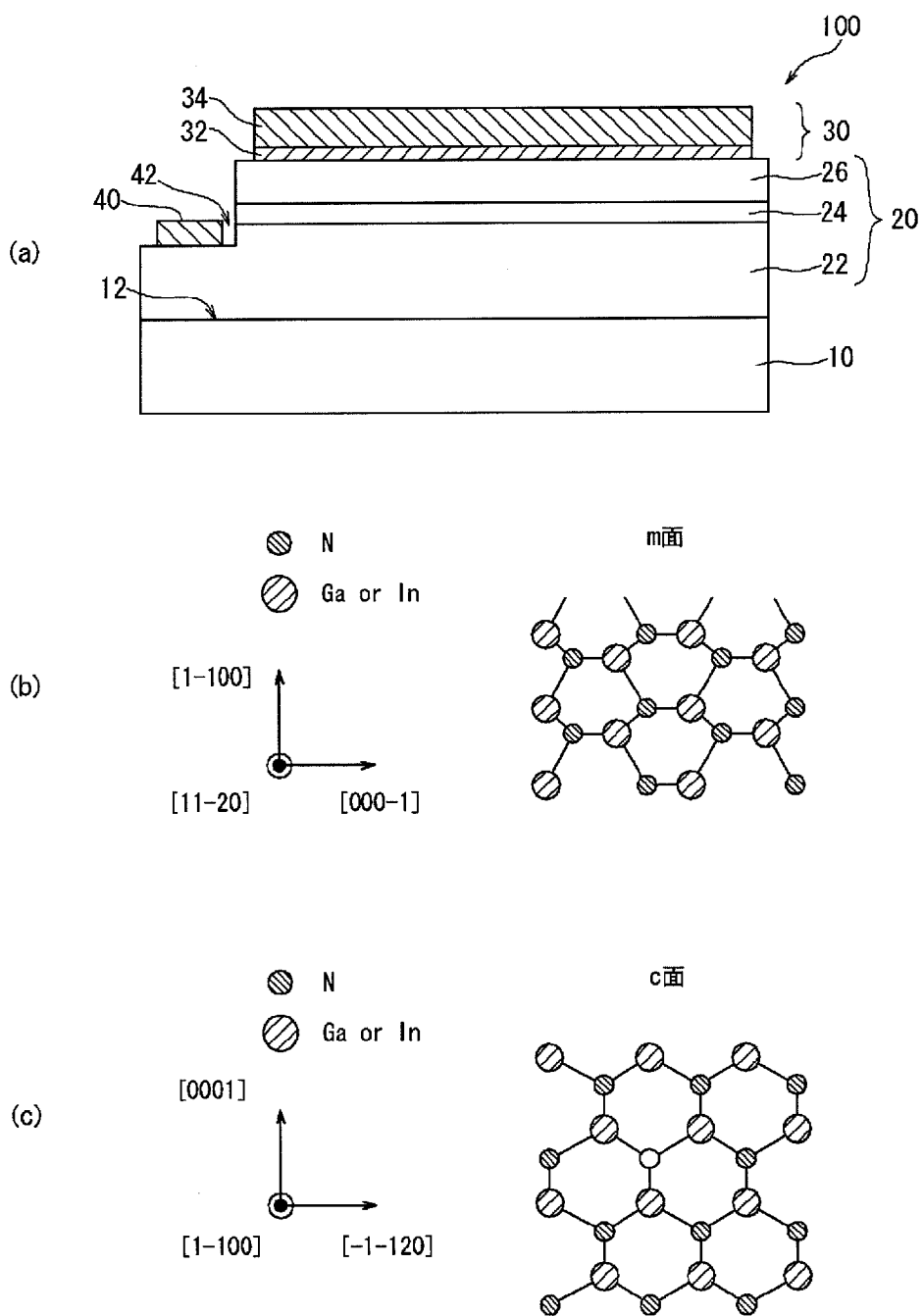
[図1]



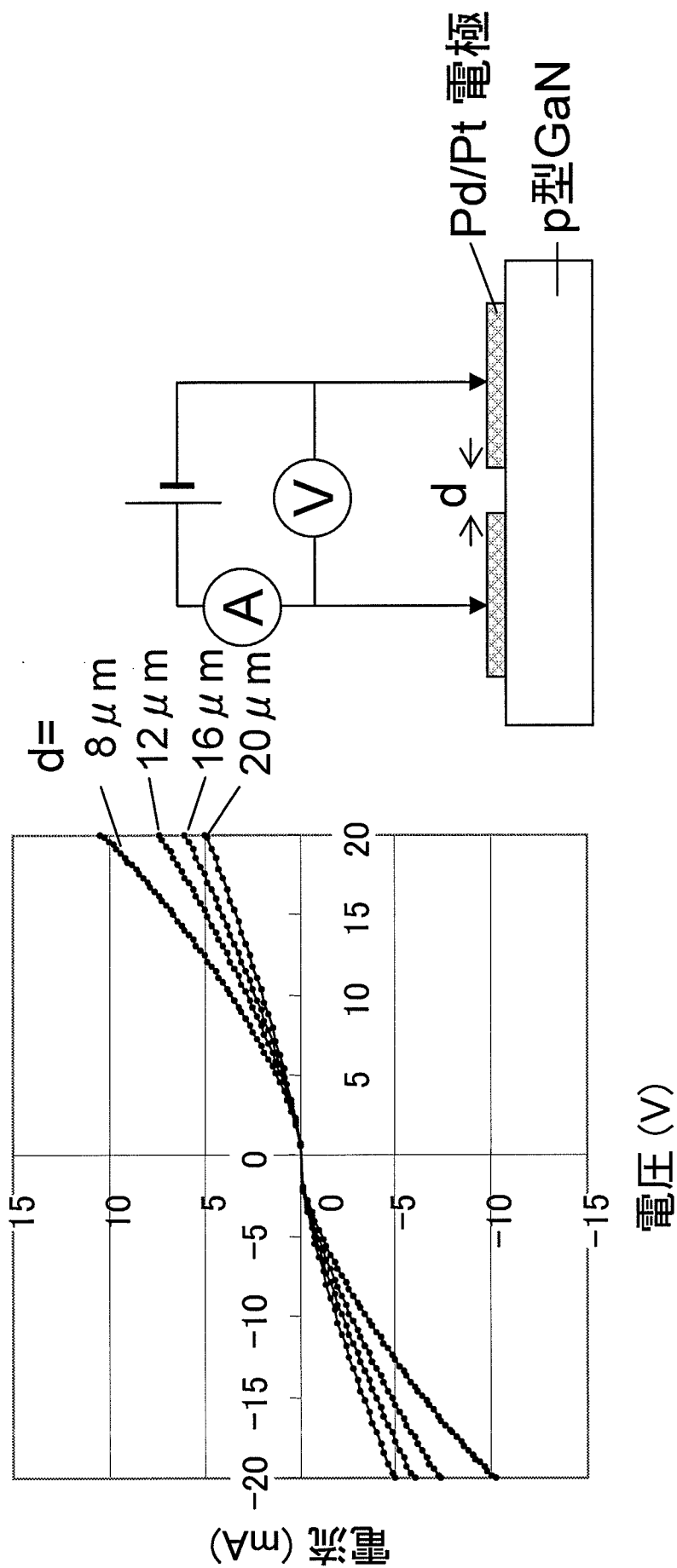
[図2]



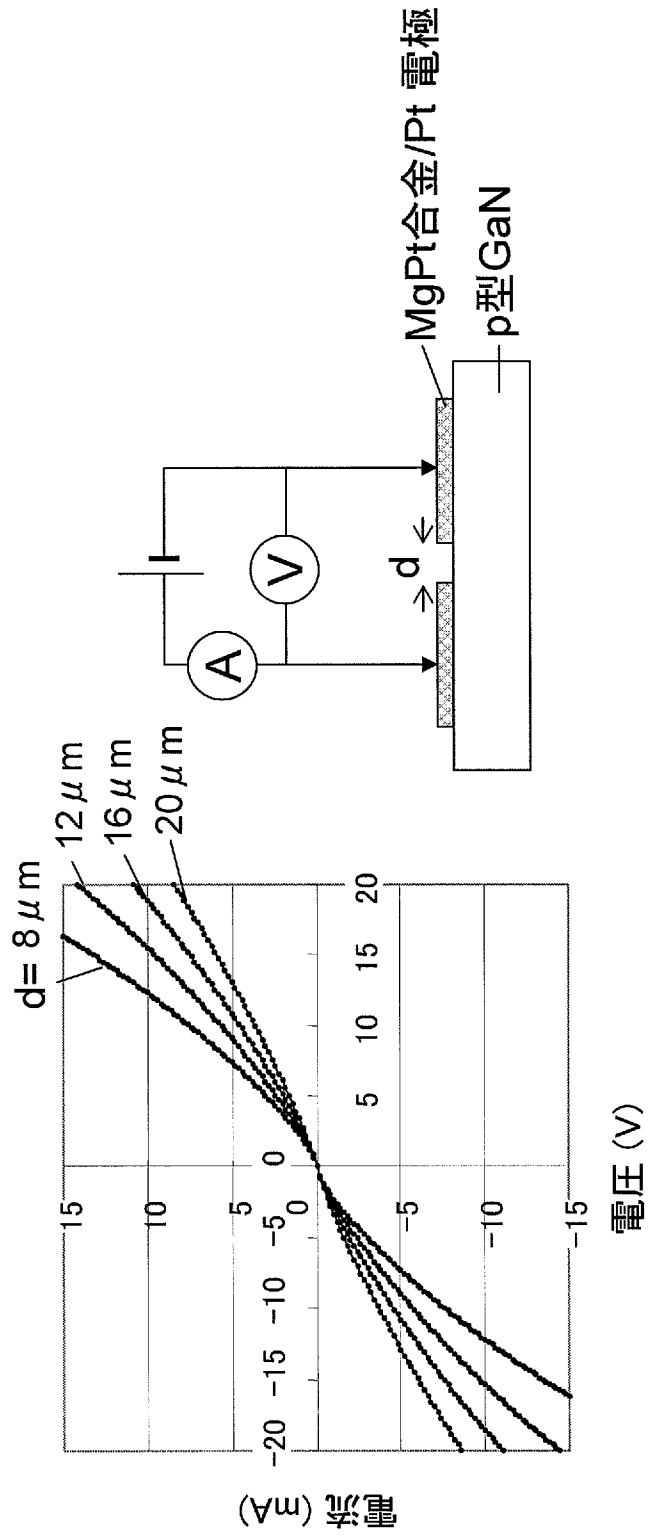
[図3]



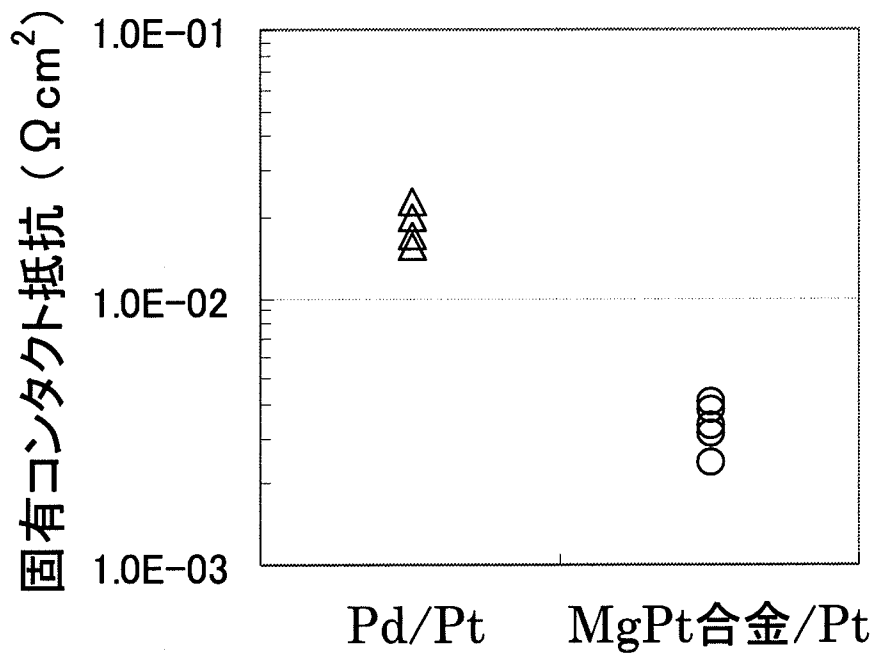
[図4A]



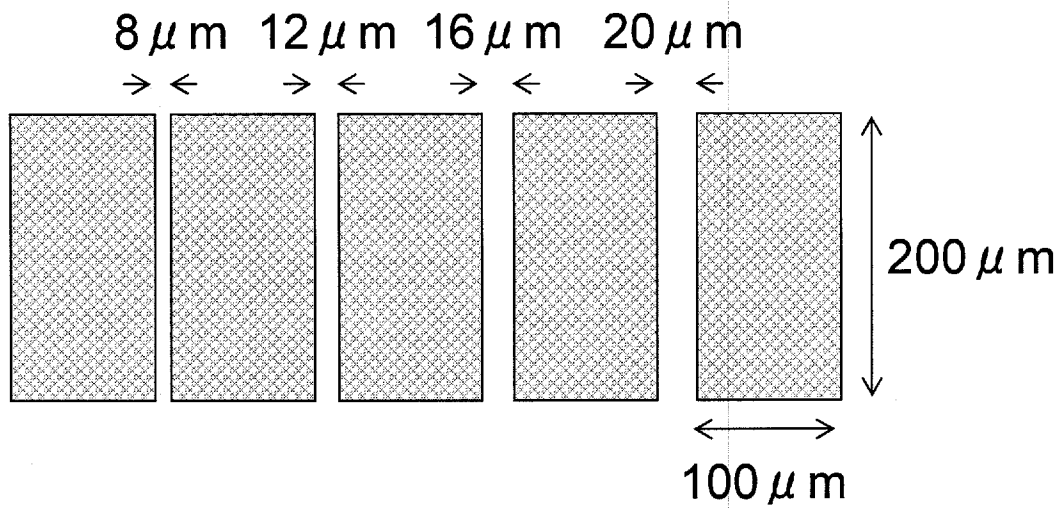
[図4B]



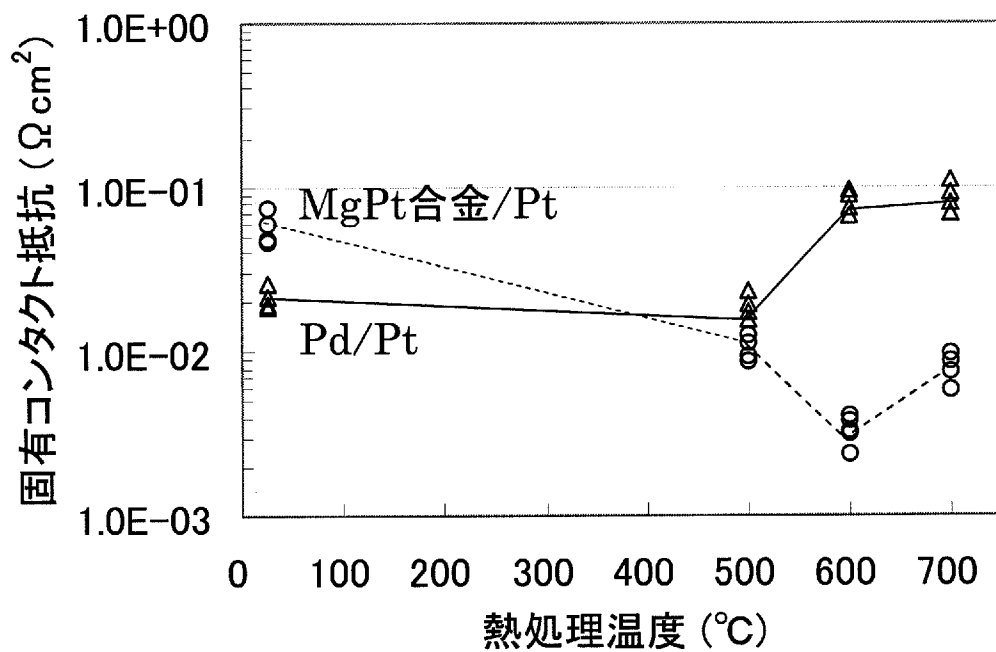
[図4C]



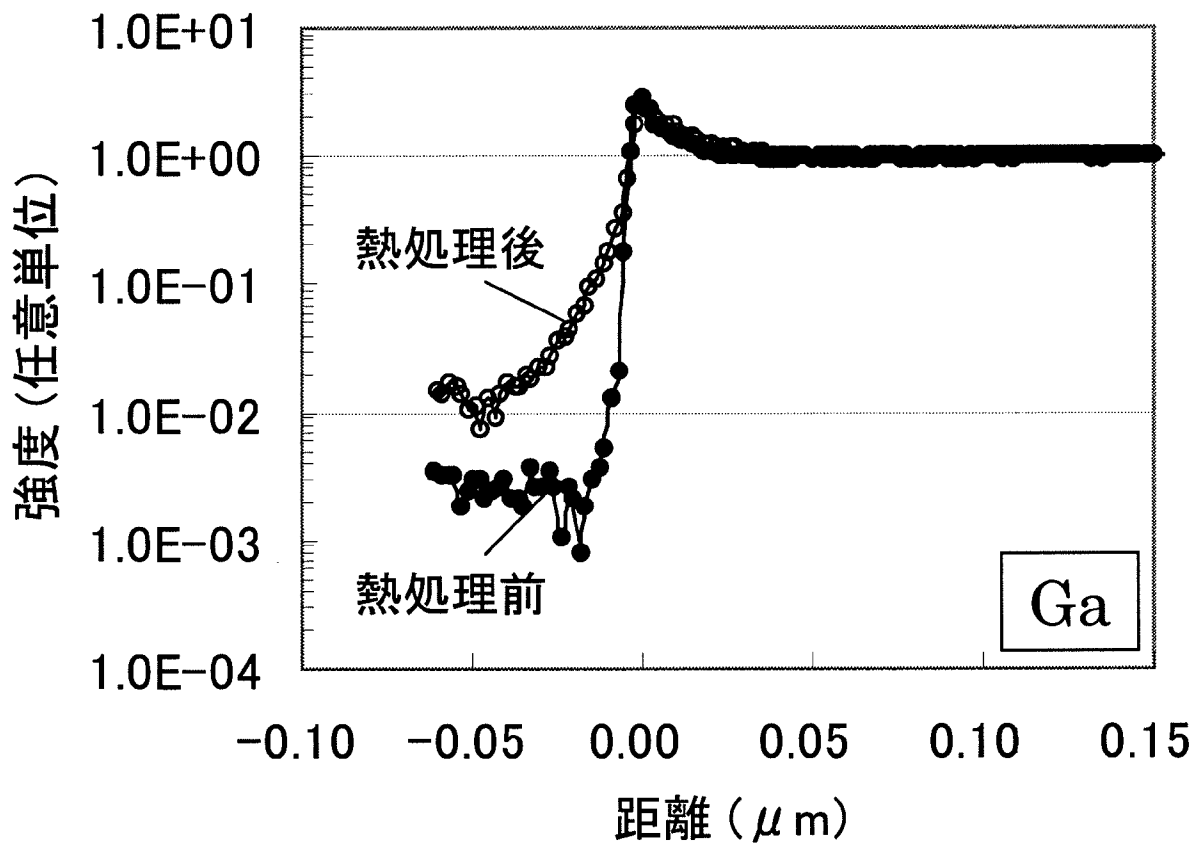
[図4D]



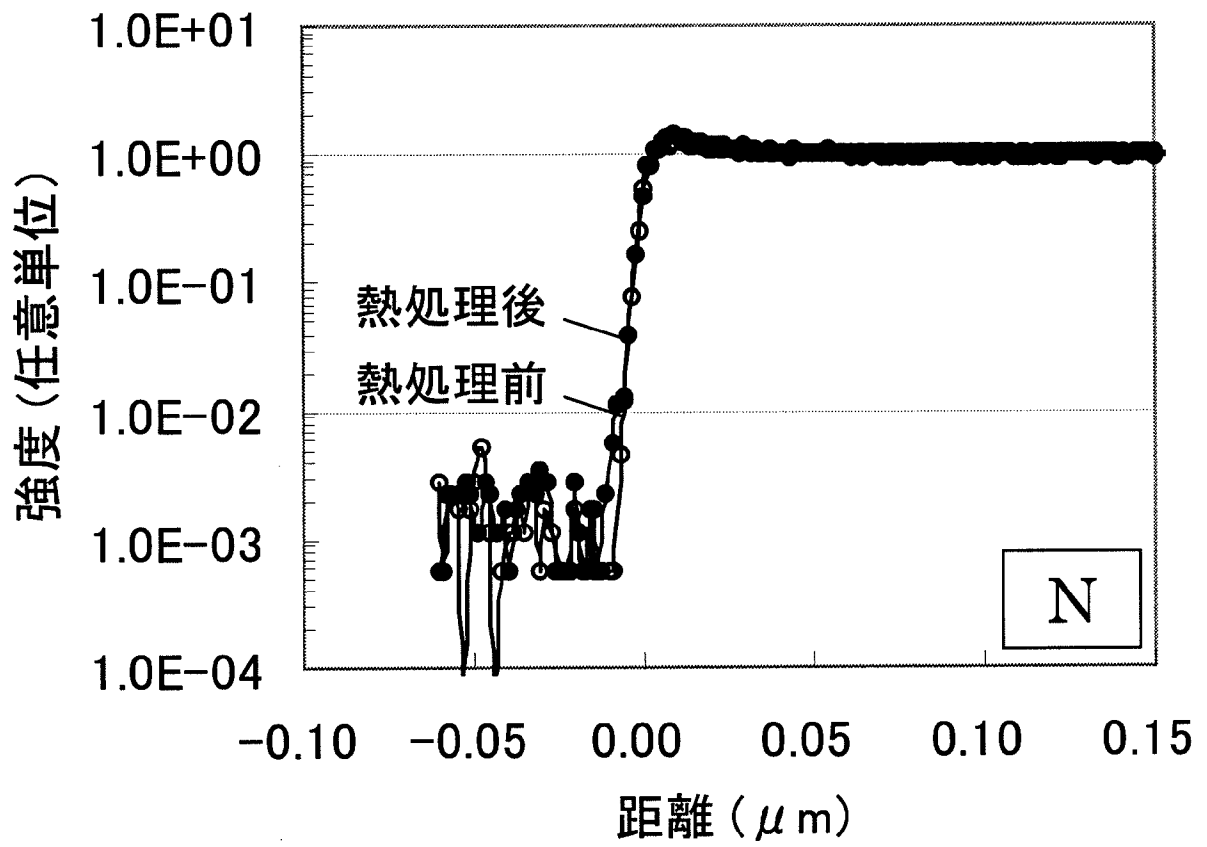
[図5]



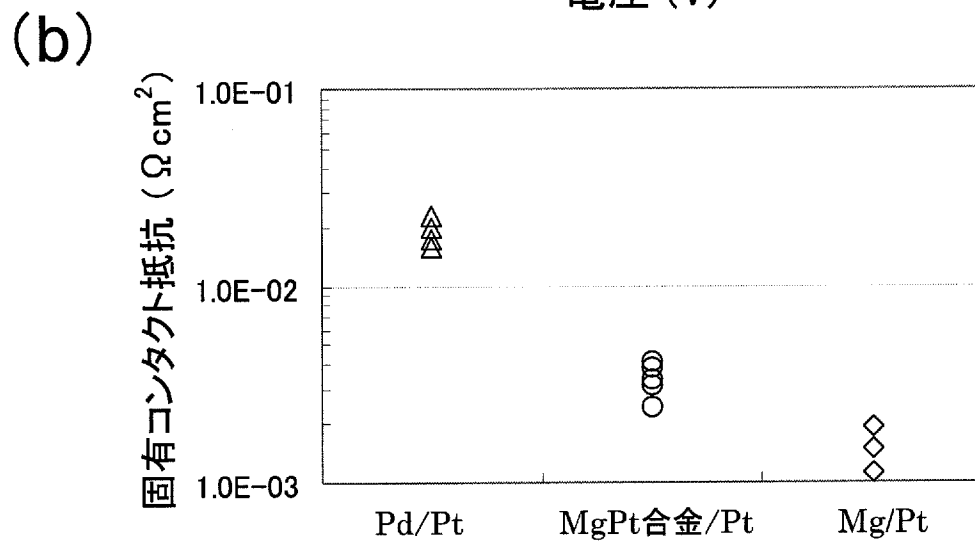
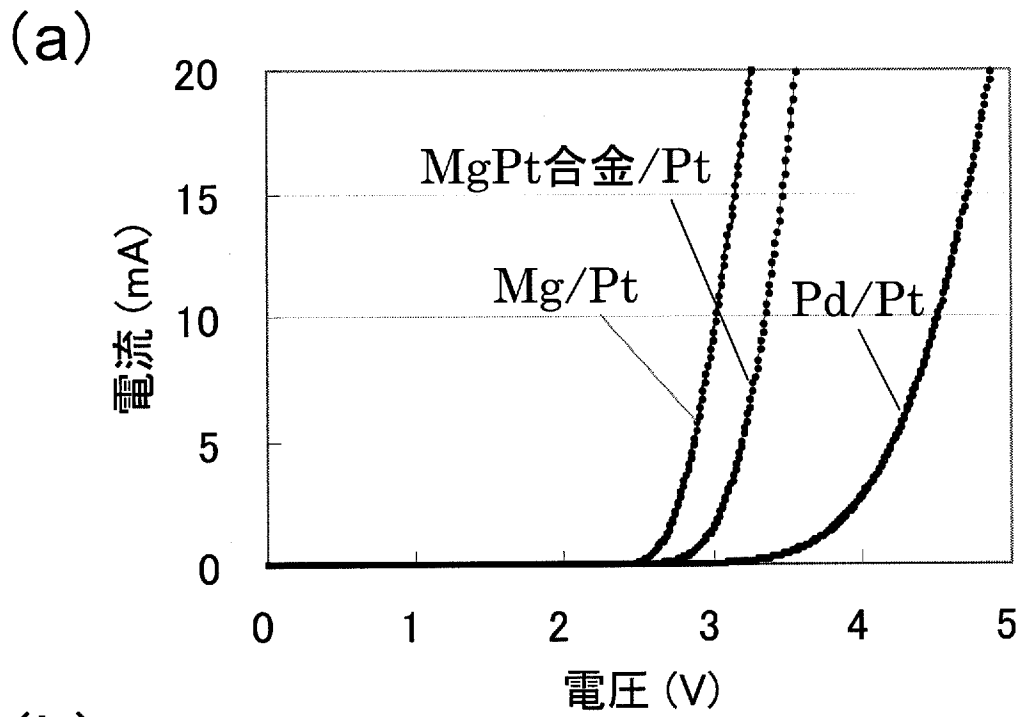
[図6]



[圖7]

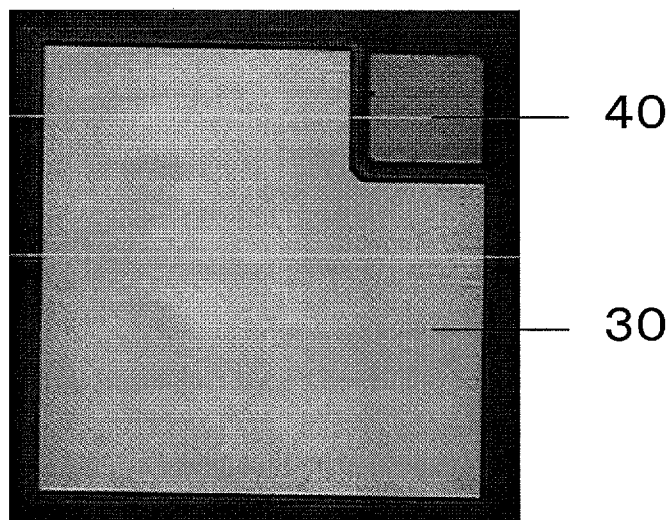


[図8]

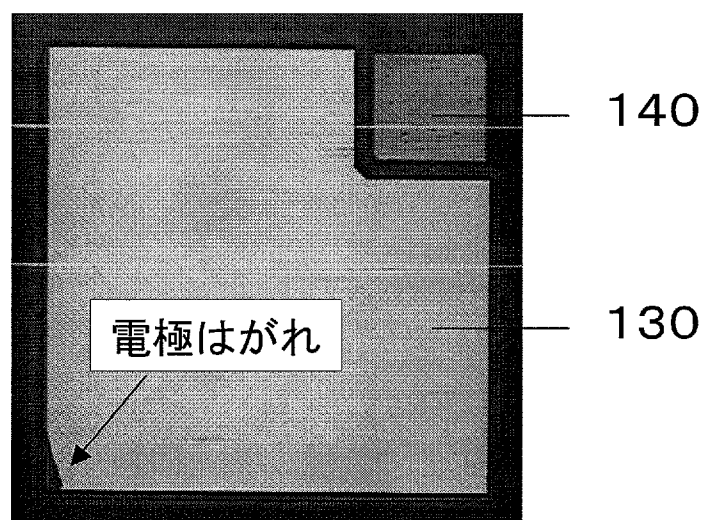


[図9]

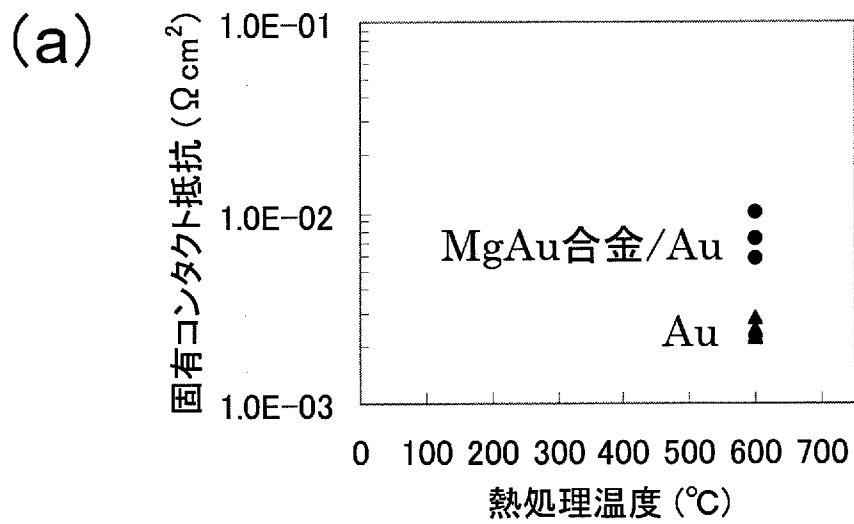
(a)



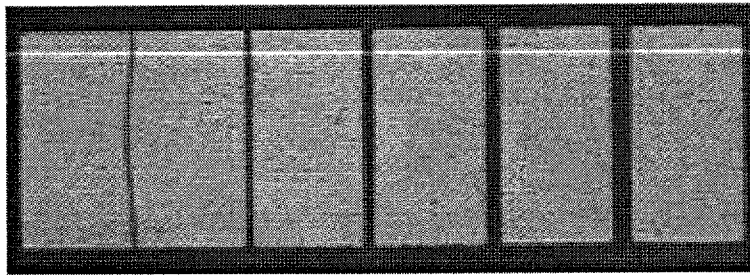
(b)



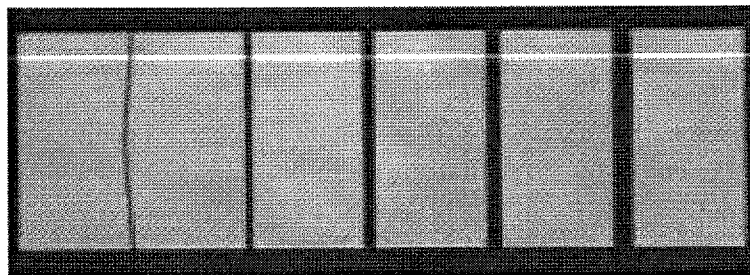
[図10]



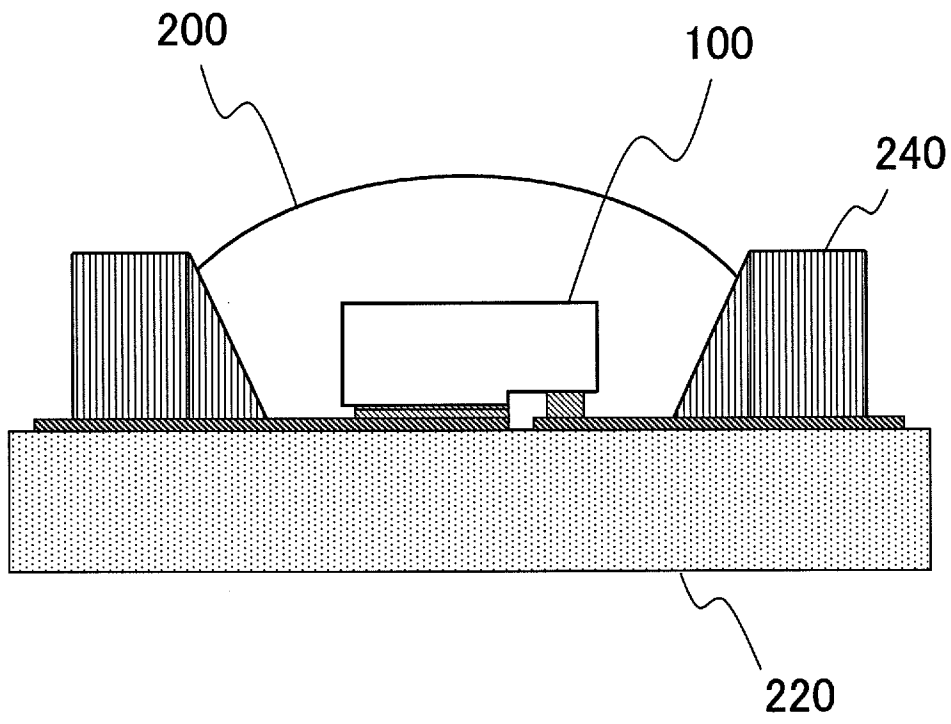
(b)



(c)



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001653

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32 (2010.01) 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)

H01L33/00-33/64

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-235804 A (Rohm Co., Ltd.), 02 October 2008 (02.10.2008), entire text; all drawings & US 2008/0230766 A1	1-19
A	JP 2008-153285 A (Rohm Co., Ltd.), 03 July 2008 (03.07.2008), entire text; all drawings & WO 2008/072601 A1	1-19
A	JP 10-294493 A (Toshiba Corp.), 04 November 1998 (04.11.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-19

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
05 April, 2010 (05.04.10)

Date of mailing of the international search report
13 April, 2010 (13.04.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001653

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-277802 A (Matsushita Electronics Corp.), 06 October 2000 (06.10.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 11-274554 A (Toshiba Corp.), 08 October 1999 (08.10.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 7-011430 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 January 1995 (13.01.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-19

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/32(2010.01)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 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00-33/64

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

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
A	JP 2008-235804 A (ローム株式会社) 2008.10.02, 全文、全図 & US 2008/0230766 A1	1-19
A	JP 2008-153285 A (ローム株式会社) 2008.07.03, 全文、全図 & WO 2008/072601 A1	1-19

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、一般的な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

05.04.2010

国際調査報告の発送日

13.04.2010

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 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)

松崎 義邦

2K

3498

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
A	JP 10-294493 A (株式会社東芝) 1998. 11. 04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 2000-277802 A (松下電子工業株式会社) 2000. 10. 06, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 11-274554 A (株式会社東芝) 1999. 10. 08, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 7-011430 A (三菱電機株式会社) 1995. 01. 13, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19