(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
2019年5月16日(16.05.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/093013 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 33/40 (2010.01) *H01L 33/32* (2010.01)
H01L 21/28 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/036565

(22) 国際出願日： 2018年9月28日(28.09.2018)

(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 2017-217547 2017年11月10日(10.11.2017) JP

(71) 出願人: 日機装株式会社(**NIKKISO CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1506022 東京都渋谷区恵比寿４丁目２０番３号 Tokyo (JP).

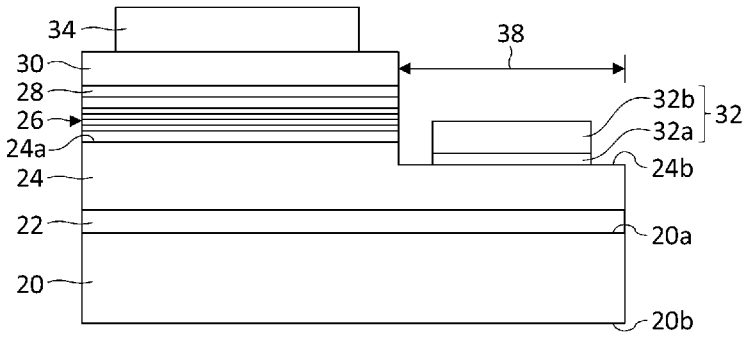
(72) 発明者: 酒井 遥人(**SAKAI Haruhito**); 〒9240004 石川県白山市旭丘１－５－１日機装技研株式会社内 Ishikawa (JP). 丹羽 紀隆(**NIWA Noritaka**); 〒9240004 石川県白山市旭丘１－５－１日機装技研株式会社内 Ishikawa (JP). 稲津 哲彦(**INAZU Tetsuhiko**); 〒9240004 石川県白山市旭丘１－５－１日機装技研株式会社内 Ishikawa (JP).

(74) 代理人: 森下 賢樹 (**MORISHITA Sakaki**); 〒1500021 東京都渋谷区恵比寿西２－１１－１２ Tokyo (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND METHOD FOR PRODUCING SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称： 半導体発光素子および半導体発光素子の製造方法



10

(57) **Abstract:** This semiconductor light emitting element 10 is provided with: an n-type cladding layer 24 of an n-type aluminum gallium nitride (AlGaN) semiconductor material; an active layer 26 of an AlGaN semiconductor material, which is provided on a first upper surface 24a of the n-type cladding layer 24; and an n-side electrode 32 which is provided on a second upper surface 24b of the n-type cladding layer 24, said second upper surface 24b being adjacent to the first upper surface 24a. The n-side electrode 32 is provided with: a first metal layer 32a which is on the second upper surface 24b and contains titanium (Ti); and a second metal layer 32b which is on the first metal layer 32a and contains aluminum (Al). The upper surface of the second metal layer 32b has a root mean square roughness (Rq) of 5 nm or less.

WO 2019/093013 A1

［続葉有］

QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約:半導体発光素子１０は、ｎ型窒化アルミニウムガリウム(ＡｌＧａＮ)系半導体材料のｎ型クラッド層２４と、ｎ型クラッド層２４の第１上面２４ａに設けられるＡｌＧａＮ系半導体材料の活性層２６と、ｎ型クラッド層２４の第１上面２４ａの隣の第２上面２４ｂに設けられるｎ側電極３２と、を備える。ｎ側電極３２は、第２上面２４ｂ上のチタン(Ｔｉ)を含む第１金属層３２ａと、第１金属層３２ａ上のアルミニウム(Ａｌ)を含む第２金属層３２ｂと、を備える。第２金属層３２ｂの上面は、二乗平均平方根粗さ(Ｒｑ)が５ｎｍ以下である。

明　細　書

発明の名称 ： 半導体発光素子および半導体発光素子の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体発光素子の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 深紫外光用の発光素子は、基板上に順に積層される窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）系のｎ型クラッド層、活性層、ｐ型クラッド層を有し、エッチングにより露出させたｎ型クラッド層の一部領域上に例えばＴｉ／Ａｌ／Ｔｉ／Ａｕの積層構造を有するｎ側電極が形成される。ｎ型クラッド層とｎ側電極のコンタクト抵抗は、ｎ型クラッド層のＡｌＮモル分率が大きくなるほど増加する傾向にあり、良好なオーミック接触が困難になることが知られている。ｎ側電極のコンタクト抵抗を低減させるため、７００℃以上のアニール処理が必要とされる（例えば、特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第５５９４５３０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ｎ側電極に含まれるアルミニウム（Ａｌ）の融点（約６６０℃）を超える温度でアニール処理をすると、アニール後のｎ側電極の平坦性が低下し、ｎ側電極における紫外光の反射率が低下しうる。

[0005] 本発明はこうした課題に鑑みてなされたものであり、その例示的な目的のひとつは、半導体発光素子のｎ側電極のコンタクト抵抗および紫外光反射率を改善する技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明のある態様の半導体発光素子は、ｎ型窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）系半導体材料のｎ型クラッド層と、ｎ型クラッド層の第１上面

に設けられるＡｌＧａＮ系半導体材料の活性層と、ｎ型クラッド層の第１上面の隣の第２上面に設けられるｎ側電極と、を備える。ｎ側電極は、第２上面上のチタン（Ｔｉ）を含む第１金属層と、第１金属層上のアルミニウム（Ａｌ）を含む第２金属層と、を備える。第２金属層の上面は、二乗平均平方根粗さ（Ｒｑ）が５ｎｍ以下である。

[0007] この態様によると、ｎ側電極の第２金属層の上面の粗さ（Ｒｑ）を５ｎｍ以下とすることにより、ｎ側電極の紫外光反射率を改善し、半導体発光素子の光取出効率を高めることができる。

[0008] ｎ側電極は、ｎ型クラッド層とのコンタクト抵抗が０．１Ω・ｃｍ^{2}以下であってもよい。

[0009] 第１金属層の厚さは、１０ｎｍ以下であってもよい。

[0010] ｎ型クラッド層は、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）のモル分率が２０％以上であり、１×１０^{18}／ｃｍ^{3}以上の濃度のシリコン（Ｓｉ）を含んでもよい。活性層は、波長３５０ｎｍ以下の紫外光を発するよう構成されてもよい。

[0011] ｎ側電極は、ｎ型クラッド層から入射する紫外光の反射率が４０％以上となるよう構成されてもよい。

[0012] 本発明の別の態様は、半導体発光素子の製造方法である。この方法は、ｎ型窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）系半導体材料のｎ型クラッド層上にＡｌＧａＮ系半導体材料の活性層を形成する工程と、ｎ型クラッド層の一部が露出するように活性層およびｎ型クラッド層の一部をドライエッチングにより除去する工程と、ｎ型クラッド層の露出面上にチタン（Ｔｉ）を含む第１金属層を形成し、第１金属層上にアルミニウム（Ａｌ）を含む第２金属層を形成する工程と、第１金属層および第２金属層を５００℃以上６５０℃以下の温度でアニールしてｎ側電極を形成する工程と、を備える。

[0013] この態様によると、ｎ側電極をＡｌ融点より低い６５０℃以下の温度でアニールすることにより、ｎ側電極の平坦性を高めて紫外光反射率を向上させることができる。また、５００℃以上の温度でアニールすることにより、ｎ型電極のコンタクト抵抗を０．１Ω・ｃｍ^{2}以下にすることができる。本態様

によれば、高紫外光反射率および低コンタクト抵抗を両立するｎ側電極を形成することができ、半導体発光素子の光取出効率を高めることができる。

[0014] 第１金属層の厚さは、１０ｎｍ以下であり、ｎ側電極は、ｎ型クラッド層とのコンタクト抵抗が０．１Ω・ｃｍ^{2}以下であってもよい。

[0015] 第１金属層および第２金属層は、１分以上アニールされてもよい。

[0016] 第１金属層および第２金属層は、６００℃の温度で５分以上アニールされてもよい。

[0017] ｎ型クラッド層の一部は、５０ｎｍ／分以下のエッチレートで除去されてもよい。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、半導体発光素子のｎ側電極のコンタクト抵抗および紫外光反射率を改善できる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]実施の形態に係る半導体発光素子の構成を概略的に示す断面図である。

[図2]半導体発光素子の製造工程を概略的に示す図である。

[図3]ｎ側電極のアニール温度とコンタクト抵抗の関係を示すグラフである。

[図4]ｎ側電極のアニール時間とコンタクト抵抗の関係を示すグラフである。

[図5]ｎ側電極のアニール温度とコンタクト抵抗および平坦性の関係を示すグラフである。

[図6]第１金属層の厚さと紫外光反射率の関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。なお、説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を適宜省略する。また、説明の理解を助けるため、各図面における各構成要素の寸法比は、必ずしも実際の発光素子の寸法比と一致しない。

[0021] 図１は、実施の形態に係る半導体発光素子１０の構成を概略的に示す断面図である。半導体発光素子１０は、中心波長λが約３６０ｎｍ以下となる「深紫外光」を発するように構成されるＬＥＤ（Light Emitting Diode）チッ

プである。このような波長の深紫外光を出力するため、半導体発光素子１０は、バンドギャップが約３．４ｅＶ以上となる窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）系半導体材料で構成される。本実施の形態では、特に、中心波長λが約２４０ｎｍ～３５０ｎｍの深紫外光を発する場合について示す。

[0022] 本明細書において、「ＡｌＧａＮ系半導体材料」とは、主に窒化アルミニウム（ＡｌＮ）と窒化ガリウム（ＧａＮ）を含む半導体材料のことをいい、窒化インジウム（ＩｎＮ）などの他の材料を含有する半導体材料を含むものとする。したがって、本明細書にいう「ＡｌＧａＮ系半導体材料」は、例えば、$In_{1-x-y}Al_xGa_yN$（０≦ｘ＋ｙ≦１、０≦ｘ≦１、０≦ｙ≦１）の組成で表すことができ、ＡｌＮ、ＧａＮ、ＡｌＧａＮ、窒化インジウムアルミニウム（ＩｎＡｌＮ）、窒化インジウムガリウム（ＩｎＧａＮ）、窒化インジウムアルミニウムガリウム（ＩｎＡｌＧａＮ）を含むものとする。

[0023] また「ＡｌＧａＮ系半導体材料」のうち、ＡｌＮを実質的に含まない材料を区別するために「ＧａＮ系半導体材料」ということがある。「ＧａＮ系半導体材料」には、主にＧａＮやＩｎＧａＮが含まれ、これらに微量のＡｌＮを含有する材料も含まれる。同様に、「ＡｌＧａＮ系半導体材料」のうち、ＧａＮを実質的に含まない材料を区別するために「ＡｌＮ系半導体材料」ということがある。「ＡｌＮ系半導体材料」には、主にＡｌＮやＩｎＡｌＮが含まれ、これらに微量のＧａＮが含有される材料も含まれる。

[0024] 半導体発光素子１０は、基板２０と、バッファ層２２と、ｎ型クラッド層２４と、活性層２６と、電子ブロック層２８と、ｐ型クラッド層３０と、ｎ側電極３２と、ｐ側電極３４とを有する。

[0025] 基板２０は、半導体発光素子１０が発する深紫外光に対して透光性を有する基板であり、例えば、サファイア（Al_2O_3）基板である。基板２０は、第１主面２０ａと、第１主面２０ａの反対側の第２主面２０ｂを有する。第１主面２０ａは、バッファ層２２より上の各層を成長させるための結晶成長面となる一主面である。第２主面２０ｂは、活性層２６が発する深紫外光を外部に取り出すための光取出面となる一主面である。変形例において、基板

２０は、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）基板であってもよいし、窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）基板であってもよい。

[0026] バッファ層２２は、基板２０の第１主面２０ａの上に形成される。バッファ層２２は、ｎ型クラッド層２４より上の各層を形成するための下地層（テンプレート層）である。バッファ層２２は、例えば、アンドープのＡｌＮ層であり、具体的には高温成長させたＡｌＮ（ＨＴ－ＡｌＮ；High Temperature AlN）層である。バッファ層２２は、ＡｌＮ層上に形成されるアンドープのＡｌＧａＮ層を含んでもよい。変形例において、基板２０がＡｌＮ基板またはＡｌＧａＮ基板である場合、バッファ層２２は、アンドープのＡｌＧａＮ層のみで構成されてもよい。つまり、バッファ層２２は、アンドープのＡｌＮ層およびＡｌＧａＮ層の少なくとも一方を含む。

[0027] ｎ型クラッド層２４は、バッファ層２２の上に形成される。ｎ型クラッド層２４は、ｎ型のＡｌＧａＮ系半導体材料層であり、例えば、ｎ型の不純物としてシリコン（Ｓｉ）がドープされるＡｌＧａＮ層である。ｎ型クラッド層２４は、活性層２６が発する深紫外光を透過するように組成比が選択され、例えば、ＡｌＮのモル分率が２５％以上、好ましくは、４０％以上または５０％以上となるように形成される。ｎ型クラッド層２４は、活性層２６が発する深紫外光の波長よりも大きいバンドギャップを有し、例えば、バンドギャップが４．３ｅＶ以上となるように形成される。ｎ型クラッド層２４は、ＡｌＮのモル分率が８０％以下、つまり、バンドギャップが５．５ｅＶ以下となるように形成されることが好ましく、ＡｌＮのモル分率が７０％以下（つまり、バンドギャップが５．２ｅＶ以下）となるように形成されることがより望ましい。ｎ型クラッド層２４は、１μｍ～３μｍ程度の厚さを有し、例えば、２μｍ程度の厚さを有する。

[0028] ｎ型クラッド層２４は、不純物であるシリコン（Ｓｉ）の濃度が1×10^{18}／cm^3以上5×10^{19}／cm^3以下となるように形成される。ｎ型クラッド層２４は、Ｓｉ濃度が5×10^{18}／cm^3以上3×10^{19}／cm^3以下となるように形成されることが好ましく、7×10^{18}／cm^3以上2×10^{19}／cm

^{3}以下となるように形成されることが好ましい。ある実施例において、ｎ型クラッド層２４のＳｉ濃度は、１×１０^{19}／ｃｍ^{3}前後であり、８×１０^{18}／ｃｍ^{3}以上１．５×１０^{19}／ｃｍ^{3}以下の範囲である。

[0029] 活性層２６は、ＡｌＧａＮ系半導体材料で構成され、ｎ型クラッド層２４と電子ブロック層２８の間に挟まれてダブルヘテロ接合構造を形成する。活性層２６は、単層または多層の量子井戸構造を有してもよく、例えば、アンドープのＡｌＧａＮ系半導体材料で形成されるバリア層と、アンドープのＡｌＧａＮ系半導体材料で形成される井戸層の積層体で構成されてもよい。活性層２６は、波長３５５ｎｍ以下の深紫外光を出力するためにバンドギャップが３．４ｅＶ以上となるように構成され、例えば、波長３１０ｎｍ以下の深紫外光を出力できるようにＡｌＮ組成比が選択される。活性層２６は、ｎ型クラッド層２４の第１上面２４ａに形成され、第１上面２４ａの隣の第２上面２４ｂには形成されない。活性層２６は、ｎ型クラッド層２４の全面に形成されず、ｎ型クラッド層２４の一部領域（露出領域３８とは異なる領域）にのみ形成される。

[0030] 電子ブロック層２８は、活性層２６の上に形成される。電子ブロック層２８は、ｐ型のＡｌＧａＮ系半導体材料層であり、例えば、ＡｌＮのモル分率が４０％以上、好ましくは、５０％以上となるように形成される。電子ブロック層２８は、ＡｌＮのモル分率が８０％以上となるように形成されてもよく、実質的にＧａＮを含まないＡｌＮ系半導体材料で形成されてもよい。電子ブロック層は、１ｎｍ～１０ｎｍ程度の厚さを有し、例えば、２ｎｍ～５ｎｍ程度の厚さを有する。電子ブロック層２８は、ｐ型ではなく、アンドープの半導体層であってもよい。

[0031] ｐ型クラッド層３０は、電子ブロック層２８の上に形成されるｐ型半導体層である。ｐ型クラッド層３０は、ｐ型のＡｌＧａＮ系半導体材料層であり、例えば、ｐ型の不純物としてマグネシウム（Ｍｇ）がドープされるＡｌＧａＮ層である。ｐ型クラッド層３０は、３００ｎｍ～７００ｎｍ程度の厚さを有し、例えば、４００ｎｍ～６００ｎｍ程度の厚さを有する。ｐ型クラッ

ド層３０は、実質的にＡｌＮを含まないｐ型ＧａＮ系半導体材料で形成されてもよい。

[0032] ｎ側電極３２は、ｎ型クラッド層２４の第２上面２４ｂに形成される。ｎ側電極３２は、第２上面２４ｂの上に第１金属層３２ａおよび第２金属層３２ｂが積層された多層膜で形成される。ｎ側電極３２は、いわゆるＴｉ／Ａｌ系電極であり、第１金属層３２ａがチタン（Ｔｉ）を含み、第２金属層３２ｂがアルミニウム（Ａｌ）を含む。

[0033] ｐ側電極３４は、ｐ型クラッド層３０の上に形成される。ｐ側電極３４は、ｐ型クラッド層３０の上に順に積層されるニッケル（Ｎｉ）／金（Ａｕ）の多層膜で形成される。

[0034] つづいて、半導体発光素子１０の製造方法について説明する。図２は、半導体発光素子１０の製造工程を概略的に示す図である。まず、基板２０の第１主面２０ａの上にバッファ層２２、ｎ型クラッド層２４、活性層２６、電子ブロック層２８、ｐ型クラッド層３０が順に形成される。

[0035] 基板２０は、サファイア（Al_2O_3）基板であり、ＡｌＧａＮ系半導体材料を形成するための成長基板である。例えば、サファイア基板の（０００１）面上にバッファ層２２が形成される。バッファ層２２は、例えば、高温成長させたＡｌＮ（ＨＴ－ＡｌＮ）層と、アンドープのＡｌＧａＮ（ｕ－ＡｌＧａＮ）層とを含む。ｎ型クラッド層２４、活性層２６、電子ブロック層２８およびｐ型クラッド層３０は、ＡｌＧａＮ系半導体材料、ＡｌＮ系半導体材料またはＧａＮ系半導体材料で形成される層であり、有機金属化学気相成長（ＭＯＶＰＥ）法や、分子線エピタキシ（ＭＢＥ）法などの周知のエピタキシャル成長法を用いて形成できる。

[0036] 次に、ｐ型クラッド層３０の上にマスク４０が形成され、マスク４０が形成されていない露出領域３８のｐ型クラッド層３０、電子ブロック層２８、活性層２６およびｎ型クラッド層２４の一部が除去される。これにより、露出領域３８にｎ型クラッド層２４の第２上面２４ｂ（露出面）が形成される。ｎ型クラッド層２４の露出面を形成する工程では、ドライエッチングによ

り各層を除去できる。例えば、エッチングガスのプラズマ化による反応性イオンエッチングを用いることができ、例えば、誘導結合型プラズマ（ＩＣＰ；Inductive Coupled Plasma）エッチングを用いることができる。

[0037] ｎ型クラッド層２４の露出面を形成する工程では、ドライエッチングによる第２上面２４ｂの結晶性低下を低減するため、エッチレートを５０ｎｍ／分以下とすることが好ましく、より好ましくはエッチレートを１３ｎｍ／分以下または２ｎｍ／分以下とすることが好ましい。なお、ｐ型クラッド層３０からｎ型クラッド層２４までの全ての層のエッチレートを低くする必要はなく、例えば、ｐ型クラッド層３０、電子ブロック層２８および活性層２６について高エッチレート（例えば１００ｎｍ／分以上）でドライエッチングし、ｎ型クラッド層２４のみ低エッチレート（例えば１００ｎｍ／分以下）でドライエッチングしてもよい。

[0038] 上述の高エッチレートでのドライエッチング工程では、反応性ガスと不活性ガスとを組み合わせてドライエッチングしてもよい。例えば、反応性ガスとして塩素（Cl_2）、三塩化ホウ素（BCl_3）、四塩化ケイ素（$SiCl_4$）などの塩素（Ｃｌ）を含むガスを用いることができ、不活性ガスとしてアルゴン（Ａｒ）などの希ガスを用いることができる。一方、低エッチレートのドライエッチング工程では、反応性ガスのみを使用し、不活性ガスを使用しないことで、不活性ガスによる物理的な除去作用に起因する結晶性低下を低減させてもよい。

[0039] 次に、ｎ型クラッド層２４の第２上面２４ｂ（露出面）にＴｉ層である第１金属層３２ａを形成し、次にＡｌ層である第２金属層３２ｂを形成する。第１金属層３２ａの厚さは１ｎｍ～１０ｎｍ程度であり、第２金属層３２ｂの厚さは２０ｎｍ～１０００ｎｍ程度である。第１金属層３２ａおよび第２金属層３２ｂは、スパッタリング法や電子ビーム（ＥＢ）蒸着法により形成できる。

[0040] 第１金属層３２ａおよび第２金属層３２ｂを形成した後、ｎ側電極３２にアニール処理を施す。ｎ側電極３２のアニール処理は、Ａｌの融点（約６６

０℃）未満の温度で実行され、例えば５００℃以上６５０℃以下のアニール温度で実行される。アニール温度を５００℃以上６５０℃以下とすることで、ｎ側電極３２のコンタクト抵抗を０．１Ω・ｃｍ^{2}程度またはそれ以下にでき、かつ、アニール後のｎ側電極３２の平坦性および紫外光反射率を高めることができる。さらに、ＡｌＩの融点未満の温度でアニールすることにより、１分以上のアニール処理、例えば、５分～３０分程度のアニール処理をしても好適なコンタクト抵抗が得られる。一枚の基板上に複数の素子部分が形成される場合、アニール時間を長く（１分以上に）することでアニール時の基板内の温度均一性を高め、特性のばらつきの少ない半導体発光素子を複数同時形成できる。

[0041] つづいて、マスク４０を除去した後、ｐ型クラッド層３０の上にｐ側電極３４を形成する。ｐ側電極３４は、電子ビーム蒸着法やスパッタリング法などの周知の方法により形成することができる。以上により、図１に示す半導体発光素子１０を形成できる。

[0042] 図３は、ｎ側電極３２のアニール温度とコンタクト抵抗の関係を示すグラフであり、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さを２ｎｍおよび１０ｎｍにした場合を示す。第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが２ｎｍの場合、５７５℃のアニール温度で０．０１Ω・ｃｍ^{2}以下の低コンタクト抵抗を実現でき、５６０℃以上６４０℃以下のアニール温度で０．１Ω・ｃｍ^{2}以下の低コンタクト抵抗を実現できる。第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが１０ｎｍの場合、５５０℃以上６００℃以下のアニール温度で０．０１Ω・ｃｍ^{2}程度の低コンタクト抵抗を実現でき、５１５℃以上６５０℃以下のアニール温度で０．１Ω・ｃｍ^{2}以下の低コンタクト抵抗を実現できる。したがって、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さを２ｎｍにすることで、０．１Ω・ｃｍ^{2}以下のより低いコンタクト抵抗を実現できる。一方、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さを１０ｎｍにすることで、より広い温度範囲で０．１Ω・ｃｍ^{2}以下の好適なコンタクト抵抗を実現できる。

[0043] 図４は、ｎ側電極３２のアニール時間とコンタクト抵抗の関係を示すグラ

フである。本グラフは、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが１０ｎｍであり、アニール温度が５００℃および６００℃の場合を示す。アニール温度が５００℃の場合、アニール時間を長くするにつれてコンタクト抵抗が低下する傾向が見られ、アニール時間を３０分にすることで０．１Ω・ｃｍ^{2}程度の低コンタクト抵抗が実現される。一方、アニール温度が６００℃の場合、１分～３０分のアニール時間の範囲でコンタクト抵抗の数値がそれほど変化せず、おおむね０．０１Ω・ｃｍ^{2}程度の低コンタクト抵抗を実現できる。

[0044] 図５は、ｎ側電極３２のアニール温度とコンタクト抵抗および平坦性の関係を示すグラフである。本グラフは、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが１０ｎｍであり、アニール時間が１０分の場合を示す。本グラフで示すｎ側電極３２の平坦性は、第２金属層３２ｂ（ＡｌＩ層）の上面の表面粗さであり、二乗平均平方根高さ（Ｒｑ，Ｒｒｍｓ）である。図示されるように、ｎ側電極３２の平坦性は、５００℃～６５０℃のアニール温度の範囲で５ｎｍ以下であり、５００℃～６００℃のアニール温度の範囲では１ｎｍ以下のより好適な値となる。なお、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが２ｎｍの場合には、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが１０ｎｍである場合よりも好適な平坦性が得られる。

[0045] 図６は、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さと紫外光反射率の関係を示すグラフであり、第１金属層３２ａの厚さとアニール温度を変化させた場合のｎ側電極３２の紫外光反射率の変化を示している。図示されるように、加熱前に比べて加熱後においてｎ側電極３２の反射率が低下する傾向が見られ、特にＡｌＩの融点を超える７００℃のアニール後では紫外光反射率が顕著に低下することが分かる。また、第１金属層３２ａの厚さを２ｎｍ程度とすることにより、紫外光反射率のより高いｎ側電極３２が得られることが分かる。ｎ側電極３２の紫外光反射率が高いほどｎ側電極３２の平坦性が高まる傾向が見られることから、アニール温度を低くすることにより平坦性の高いｎ側電極３２が得られる。また、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さを小さくすることによっても平坦性の高いｎ側電極３２が得られる。

[0046] 図３～図６のグラフより、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが１０ｎｍであれば、５１５℃以上６５０℃以下のアニール温度で０．１Ω・ｃｍ^{2}以下のコンタクト抵抗、表面粗さ（Ｒｑ）が５ｎｍ以下の平坦性および４０％以上の紫外光反射率の全てを実現しうるｎ側電極３２が得られる。さらに、５５０℃以上６００℃以下のアニール温度であれば、０．０１Ω・ｃｍ^{2}程度のコンタクト抵抗および表面粗さ（Ｒｑ）が１ｎｍ以下の平坦性を実現できる。

[0047] また、第１金属層３２ａ（Ｔｉ層）の厚さが２ｎｍであれば、５６０℃以上６４０℃以下のアニール温度で０．１Ω・ｃｍ^{2}以下のコンタクト抵抗、表面粗さ（Ｒｑ）が５ｎｍ以下の平坦性および４０％以上の紫外光反射率の全てを実現しうるｎ側電極３２が得られる。さらに、５７５℃程度のアニール温度であれば、０．０１Ω・ｃｍ^{2}以下のコンタクト抵抗および表面粗さ（Ｒｑ）が１ｎｍ以下の平坦性を実現できる。

[0048] 本実施の形態によれば、好適なコンタクト抵抗および紫外光反射率を両立するｎ側電極３２を提供できるため、半導体発光素子１０の光取出効率を高めることができる。

[0049] 本実施の形態によれば、ｎ側電極３２の平坦性を改善することにより、半導体発光素子１０の信頼性を高めることができる。ｎ側電極３２の上には、ｎ側電極３２を保護するための酸化物電極層や、半導体発光素子１０の外部端子とｎ側電極３２の間を電気的に接続するためのパッド電極や配線層、配線層間を絶縁するための絶縁層などが形成されることがある。仮にｎ側電極３２の上面の平坦性が低く、１０ｎｍや１００ｎｍを超えるような凹凸が形成されている場合、ｎ側電極３２の上に形成される積層構造の平坦性に影響を与え、積層構造の厚みが不均一となったり、積層構造の一部に局所的な応力が加わったりするおそれがある。また、ｎ側電極３２の形成後にｎ側電極３２の上面の平坦性を高めるような物理化学的な処理（研磨など）を加えることは容易ではない。本実施の形態によれば、ｎ側電極３２のアニール後にｎ側電極３２の上面の平坦性を高めることができるため、ｎ側電極３２の上

に厚みの均一な積層構造を形成することが容易となり、不均一な積層構造に起因する信頼性低下を抑制できる。

[0050] 以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。本発明は上記実施の形態に限定されず、種々の設計変更が可能であり、様々な変形例が可能であること、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは、当業者に理解されるところである。

符号の説明

[0051] １０…半導体発光素子、２４…ｎ型クラッド層、２６…活性層、３２…ｎ側電極、３２ａ…第１金属層、３２ｂ…第２金属層。

産業上の利用可能性

[0052] 本発明によれば、半導体発光素子のｎ側電極のコンタクト抵抗および紫外光反射率を改善できる。

請求の範囲

[請求項1] ｎ型窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）系半導体材料のｎ型クラッド層と、

前記ｎ型クラッド層の第１上面に設けられるＡｌＧａＮ系半導体材料の活性層と、

前記ｎ型クラッド層の前記第１上面の隣の第２上面に設けられるｎ側電極と、を備え、

前記ｎ側電極は、前記第２上面上のチタン（Ｔｉ）を含む第１金属層と、前記第１金属層上のアルミニウム（Ａｌ）を含む第２金属層と、を備え、

前記第２金属層の上面は、二乗平均平方根粗さ（Ｒｑ）が５ｎｍ以下であることを特徴とする半導体発光素子。

[請求項2] 前記ｎ側電極は、前記ｎ型クラッド層とのコンタクト抵抗が０．１Ω・ｃｍ^{2}以下であることを特徴とする請求項１に記載の半導体発光素子。

[請求項3] 前記第１金属層の厚さは、１０ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１または２に記載の半導体発光素子。

[請求項4] 前記ｎ型クラッド層は、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）のモル分率が２０％以上であり、１×１０^{18}／ｃｍ^{3}以上の濃度のシリコン（Ｓｉ）を含み、

前記活性層は、波長３５０ｎｍ以下の紫外光を発するよう構成されることを特徴とする請求項１から３のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

[請求項5] 前記ｎ側電極は、前記ｎ型クラッド層から入射する紫外光の反射率が４０％以上となるよう構成されることを特徴とする請求項１から４のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

[請求項6] ｎ型窒化アルミニウムガリウム（ＡｌＧａＮ）系半導体材料のｎ型クラッド層上にＡｌＧａＮ系半導体材料の活性層を形成する工程と、

前記ｎ型クラッド層の一部が露出するように前記活性層および前記ｎ型クラッド層の一部をドライエッチングにより除去する工程と、

前記ｎ型クラッド層の露出面上にチタン（Ｔｉ）を含む第１金属層を形成し、前記第１金属層上にアルミニウム（ＡｌＩ）を含む第２金属層を形成する工程と、

前記第１金属層および前記第２金属層を５００℃以上６５０℃以下の温度でアニールしてｎ側電極を形成する工程と、を備えることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

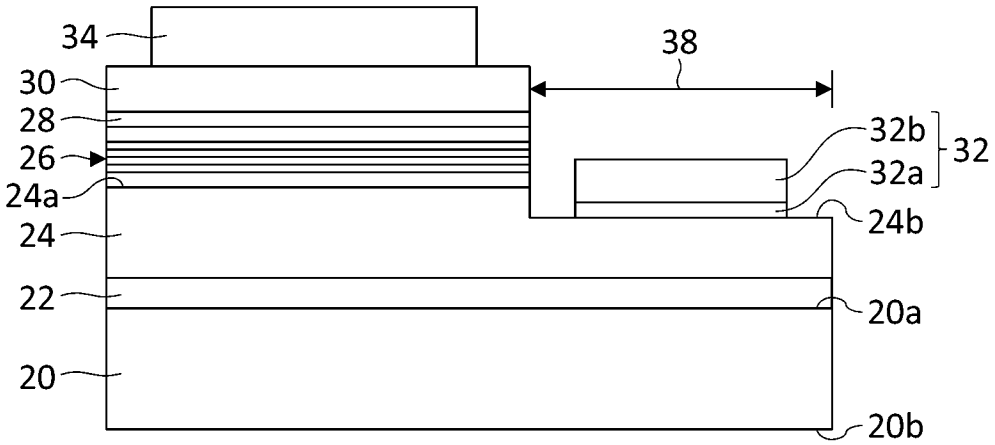
[請求項7] 前記第１金属層の厚さは、１０ｎｍ以下であり、前記ｎ側電極は、前記ｎ型クラッド層とのコンタクト抵抗が０．１Ω・ｃｍ^{2}以下であることを特徴とする請求項６に記載の半導体発光素子の製造方法。

[請求項8] 前記第１金属層および前記第２金属層は、１分以上アニールされることを特徴とする請求項６または７に記載の半導体発光素子の製造方法。

[請求項9] 前記第１金属層および前記第２金属層は、６００℃の温度で５分以上アニールされることを特徴とする請求項６から８のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。

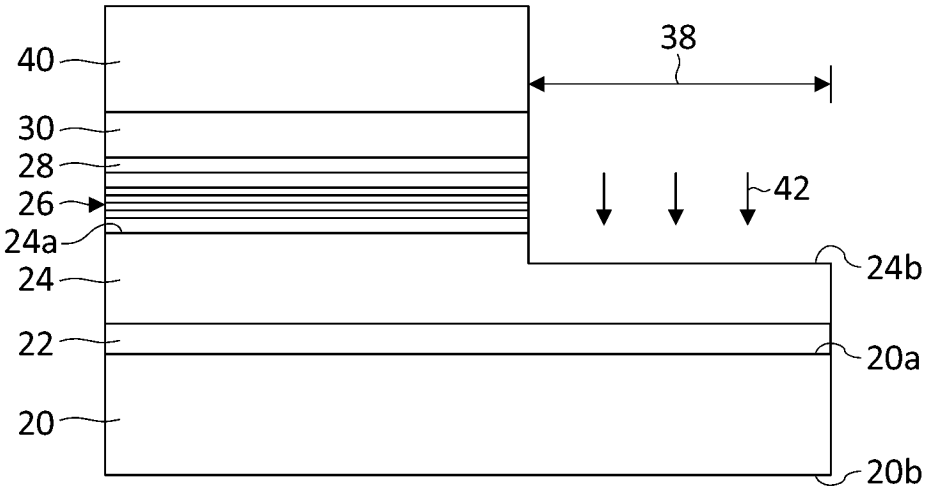
[請求項10] 前記ｎ型クラッド層の一部は、５０ｎｍ／分以下のエッチレートで除去されることを特徴とする請求項６から９のいずれか一項に記載の半導体発光素子の製造方法。

[図1]


34
38
30
28
26
24a
24
22
20
32b
32a
32
24b
20a
20b

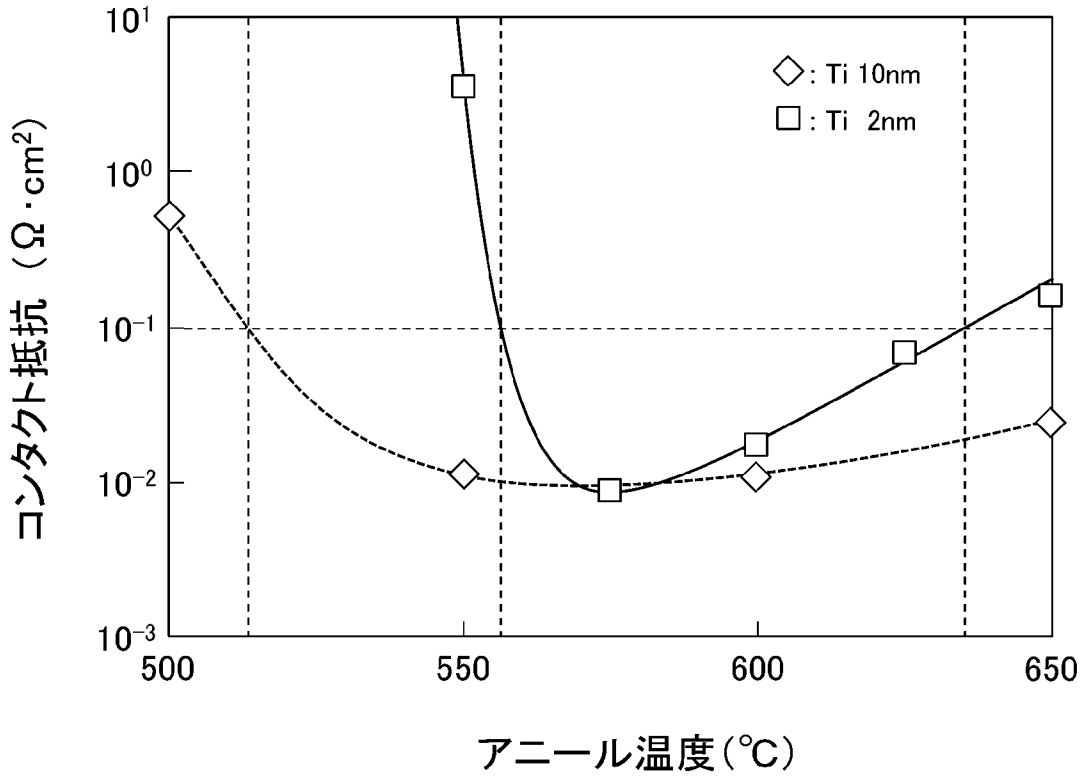
10

[図2]

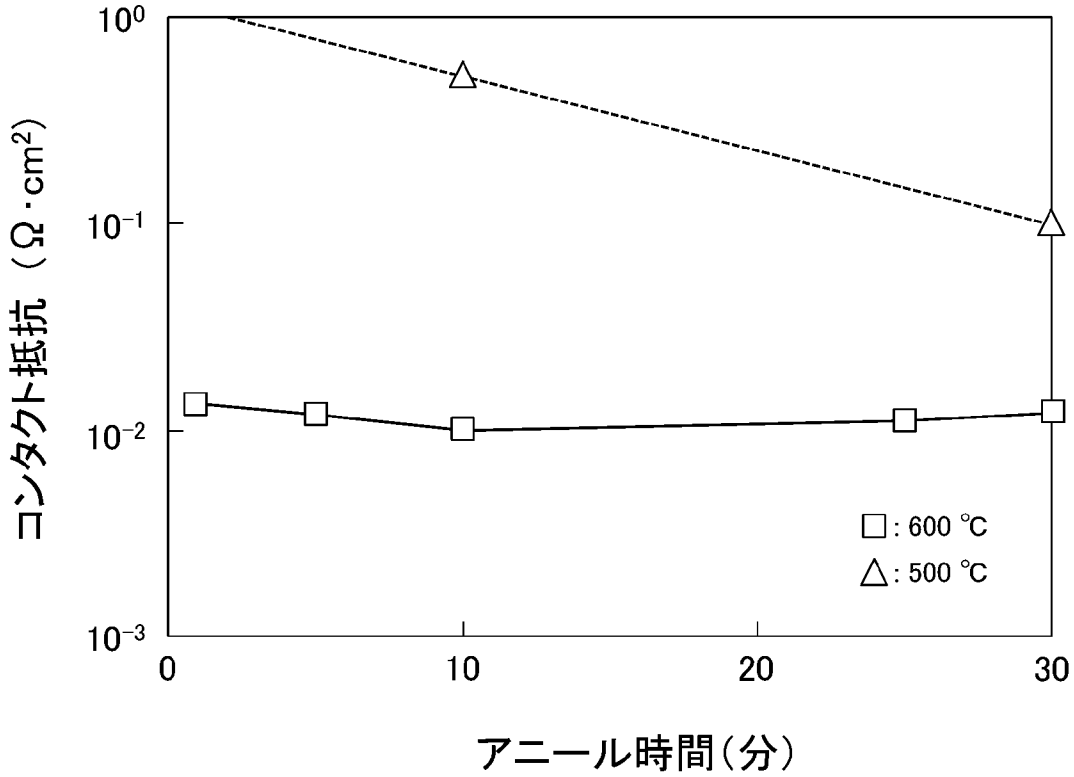

38
40
30
28
26
24a
24
22
20
42
24b
20a
20b

10

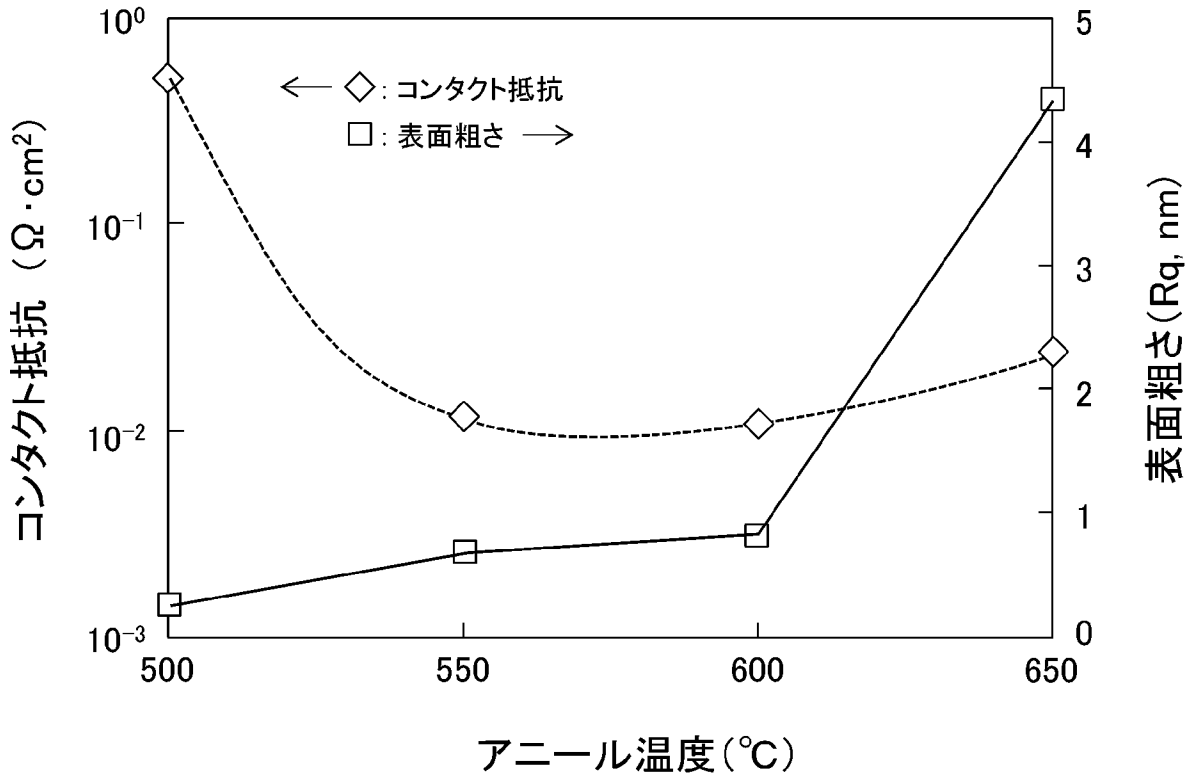
[図3]


◇: Ti 10nm
□: Ti 2nm
コンタクト抵抗（Ω・cm²）
10¹
10⁰
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
500
550
600
650
アニール温度（℃）

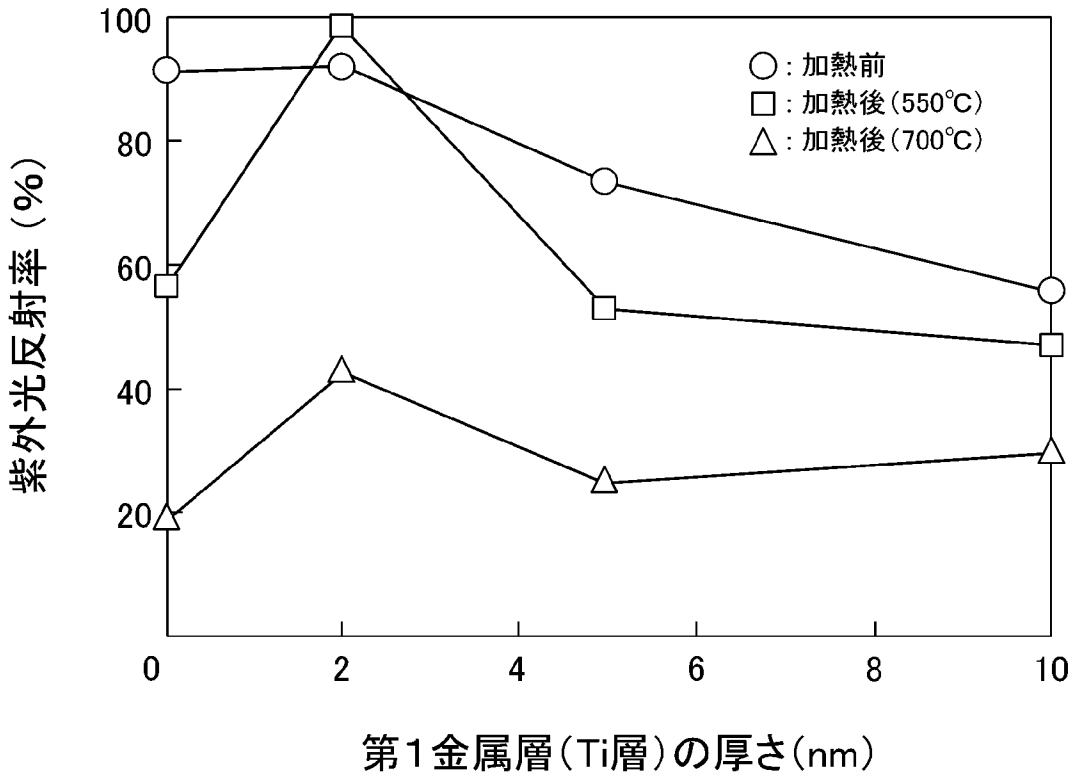
[図4]


□: 600 ℃
△: 500 ℃
コンタクト抵抗（Ω・cm²）
10⁰
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
0
10
20
30
アニール時間（分）

[図5]


10^0
10^-1
10^-2
10^-3
5
4
3
2
1
0
500
550
600
650
◇: コンタクト抵抗
□: 表面粗さ
コンタクト抵抗（Ω・cm²）
表面粗さ（Rq, nm）
アニール温度（℃）

[図6]


100
80
60
40
20
0
2
4
6
8
10
○: 加熱前
□: 加熱後（550℃）
△: 加熱後（700℃）
紫外光反射率（%）
第1金属層（Ti層）の厚さ（nm）

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/036565

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. H01L33/40(2010.01)i, H01L21/28(2006.01)i, 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)
Int. Cl. H01L33/00-33/64, H01L21/28, H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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	WO 2013/046419 A1 (SOKO KAGAKU CO., LTD.) 04 April 2013, paragraphs [0009]-[0012], [0034]-[0056], fig. 1, 4-9 & EP 2763192 A1 & KR 10-2014-0043163 A & US 2015/0048304 A1, paragraphs [0010]-[0012], [0044]-[0066], fig. 1, 4-9	6-9 1-5, 10
Y	JP 2012-227494 A (PANASONIC CORP.) 15 November 2012, paragraphs [0082]-[0087], [0105]-[0123], fig. 9-11, 13-19 & US 2012/0267664 A1, paragraphs [0106]-[0116], [0134]-[0152], fig. 10-12, 14-20 & US 2015/0318445 A1	1-5
Y	JP 2004-258219 A (SONY CORP.) 16 September 2004, paragraphs [0017]-[0032], fig. 8-16 (Family: none)	1-5

☒ 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	Date of mailing of the international search report
10.12.2018	25.12.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/036565

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 2015-103768 A (TOKUYAMA CORP.) 04 June 2015, paragraphs [0075]-[0087] (Family: none)	4-5
Y	JP 9-129930 A (TOSHIBA CORP.) 16 May 1997, paragraphs [0013]-[0026], fig. 1-13 & US 5789265 A, column 3, line 19 to column 8, line 9, fig. 2-6	10
A	US 2017/0098739 A1 (GAEVSKI et al.) 06 April 2017, paragraphs [0024]-[0062], fig. 1-10 & US 2018/0069154 A1	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０３６５６５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L33/40(2010.01)i, H01L21/28(2006.01)i, 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, H01L21/28, H01S5/00-5/50

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	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８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	WO 2013/046419 A1 (創光科学株式会社) 2013.04.04, 段落[0009]-[0012],[0034]-[0056],図 1,4-9	6-9
Y	& EP 2763192 A1 & KR 10-2014-0043163 A & US 2015/0048304 A1 段落[0010]-[0012],[0044]-[0066],FIG.1,4-9	1-5,10

☑　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	国際調査報告の発送日
１０．１２．２０１８	２５．１２．２０１８

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）　２Ｋ　４０８４
百瀬　正之
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
Y	JP 2012-227494 A (パナソニック株式会社) 2012.11.15, 段落[0082]-[0087],[0105]-[0123],図 9-11,13-19 & US 2012/0267664 A1 段落[0106]-[0116],[0134]-[0152], FIG.10-12,14-20 & US 2015/0318445 A1	1-5
Y	JP 2004-258219 A (ソニー株式会社) 2004.09.16, 段落[0017]-[0032],図 8-16 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2015-103768 A (株式会社トクヤマ) 2015.06.04, 段落[0075]-[0087] (ファミリーなし)	4-5
Y	JP 9-129930 A (株式会社東芝) 1997.05.16, 段落[0013]-[0026],図 1-13 & US 5789265 A 第 3 欄第 19 行-第 8 欄第 9 行,FIG.2-6	10
A	US 2017/0098739 A1 (GAEVSKI et al.) 2017.04.06, 段落[0024]-[0062],FIG.1-FIG.10 & US 2018/0069154 A1	1-10