(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
2024年3月21日(21.03.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/057435 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 31/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/034374

(22) 国際出願日： 2022年9月14日(14.09.2022)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 株式会社京都セミコンダクター (**KYOTO SEMICONDUCTOR CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒5530003 大阪府大阪市福島区福島５－６－１６ ラグザ大阪ノースオフィス６Ｆ 西日本オフィス Osaka (JP).

(72) 発明者: 磯村 尚友 (**ISOMURA Takatomo**); 〒5530003 大阪府大阪市福島区福島５－６－１６ ラグザ大阪ノースオフィス６Ｆ 株式会社京都セミコンダクター 西日本オフィス内 Osaka (JP). 臼井 健(**USUI Ken**); 〒5530003 大阪府大阪市福島区福島５－６－１６ ラグザ大阪ノースオフィス６Ｆ 株式会社京都セミコンダクター 西日本オフィス内 Osaka (JP). 大村 悦司(**OMURA Etsuji**); 〒5530003 大阪府大阪市福島区福島５－６－１６ ラグザ大阪ノースオフィス６Ｆ 株式会社京都セミコンダクター 西日本オフィス内 Osaka (JP).

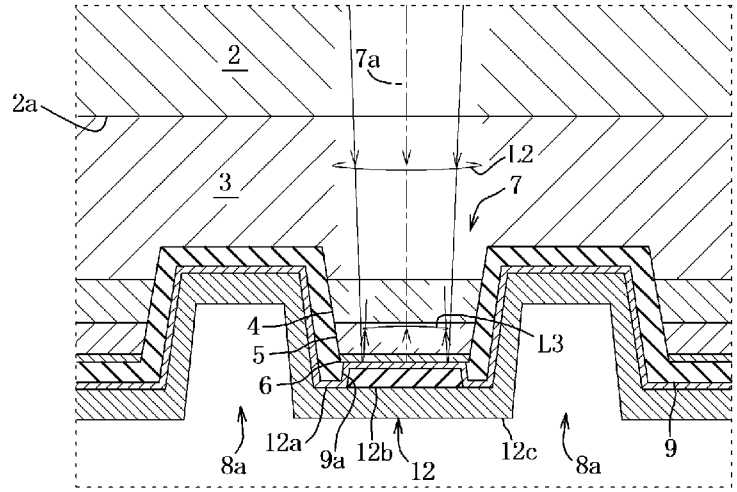
(74) 代理人: 岡村 俊雄 (**OKAMURA Toshio**); 〒5300055 大阪府大阪市北区野崎町６番７号 大阪北野ビル１０階 岡村特許事務所 Osaka (JP).

(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,

(54) **Title:** BACKSIDE INCIDENT-TYPE SEMICONDUCTOR LIGHT RECEIVING ELEMENT

(54) 発明の名称： 裏面入射型半導体受光素子

[図2]



3 First semiconductor layer
4 Light absorption layer
5 Second semiconductor layer
6 Third semiconductor layer
7 Photodiode
12 Second electrode
12a First metal layer
12b Dielectric layer
12c Second metal layer
L2 Incident light
L3 Reflected light

(57) **Abstract:** [Problem] To provide a backside incident-type semiconductor light receiving element having a high-reflectance electrode suited to an increase in response speed. [Solution] This backside incident-type semiconductor light receiving element (1) comprises a photodiode (7) having a first semiconductor layer (3), a light absorption layer (4), a second semiconductor layer (5), and a third semiconductor layer (6) laminated in this order on a front surface (2a) side of a semiconductor substrate (2) that is transparent to incident light (L1), wherein light enters the photodiode (7) from the rear surface (2b) side of the semiconductor substrate (2). The backside incident-type semiconductor light receiving element comprises an electrode (12) connected to the majority of a front surface (6a) of the third semiconductor layer (6)

WO 2024/057435 A1

[続葉有]

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, 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, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, SC, 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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

of the photodiode (7), wherein: the electrode (12) has, in order from the third semiconductor layer (6) side, a first metal layer (12a) for which the value of the real part n of the complex refractive index is smaller than the refractive index of the third semiconductor layer (6) and the value of the imaginary part k is at least 10, a dielectric layer (12b), and a second metal layer (12c) connected to the first metal layer (12a) on the outer peripheral side of the dielectric layer (12b); and light that has entered the photodiode (7) from the rear surface (2b) side and passed through the light absorption layer (4) is reflected at the electrode (12) and re-enters the light absorption layer (4).

(57) 要約：【課題】応答速度の高速化に適した高反射率の電極を有する裏面入射型半導体受光素子を提供すること。 【解決手段】入射光(L1)に対して透明な半導体基板(2)の表面(2a)側に、順に積層された第１半導体層(3)と光吸収層(4)と第２半導体層(5)と第３半導体層(6)を有するフォトダイオード(7)を備え、このフォトダイオード(7)に対して半導体基板(2)の裏面(2b)側から光が入射される裏面入射型半導体受光素子(1)は、フォトダイオード(7)の第３半導体層(6)の表面(6a)の大部分に接続された電極(12)を備え、この電極(12)は、第３半導体層(6)側から順に、複素屈折率の実部ｎの値が第３半導体層(6)の屈折率よりも小さく且つ虚部ｋの値が１０以上である第１金属層(12a)と、誘電体層(12b)と、誘電体層(12b)の外周側で第１金属層(12a)に接続された第２金属層(12c)を有し、裏面(2b)側からフォトダイオード(7)に入射され光吸収層(4)を透過した光が電極(12)で反射されて光吸収層(4)に再入射するように構成された。

明　細　書

発明の名称 ： 裏面入射型半導体受光素子

技術分野

[0001] 本発明は、裏面入射型半導体受光素子に関し、特に高速応答が要求される裏面入射型半導体受光素子に関する。

背景技術

[0002] 光通信分野では、近年の通信量の急増に対応するため、伝送速度を高速化する開発が行われている。光通信は、送信側から光ファイバケーブル等を介して光パルス信号を送信し、受信側では半導体受光素子が受信した光パルス信号を電気信号に変換している。受信側における伝送速度の高速化は、半導体受光素子の応答速度の高速化により実現されるが、そのためには素子容量と素子抵抗で定まる応答速度の上限を向上させる必要がある。

[0003] 半導体受光素子の応答速度の高速化には、素子容量を小さくすることが有効である。例えば半導体受光素子が異なる導電型の２つの半導体層で光吸収層を挟持したＰＩＮ型のフォトダイオードを有する場合に、光パルス信号を受けて光電変換によって２種類の電荷キャリアを生成する光吸収層の面積が小さいほど素子容量は小さくなる。そして、２０ＧＨｚ程度の応答周波数帯域が要求される場合、光吸収層を直径２０μｍ程度の円形とすれば、素子容量が許容できる程度に小さくなる。

[0004] このような小径のフォトダイオードに光を十分に導入して感度低下を抑制するために、例えば特許文献１のように光が入射する半導体基板の裏面に、半導体基板と一体的に形成された集光レンズ（凸レンズ）を備えた裏面入射型半導体受光素子が知られている。

[0005] 一方、半導体受光素子の応答速度の高速化には、光吸収層で生成された電荷キャリアの光吸収層におけるドリフト走行時間を短縮することも有効である。例えばＰＩＮ型のフォトダイオードにおいて、２つの半導体層の間の光吸収層を薄くすることによって、ドリフト走行距離を短くしてドリフト走行

時間を短縮することができる。しかし、光吸収層が薄い場合には、入射した光が電荷キャリアに変換される機会が減少し、半導体受光素子の感度が低下する。

[0006] このような感度低下を抑えるため、例えば特許文献２のように、フォトダイオードにＳｉＮ膜を介してミラー電極が形成され、半導体基板の裏面側から入射してフォトダイオードのＩｎＧａＡｓ光吸収層を透過した光が、ミラー電極で反射されてＩｎＧａＡｓ光吸収層に再入射する裏面入射型半導体受光素子が知られている。また、感度向上のために、例えば特許文献３のように、ｎ－ＩｎＧａＡｓ層（光吸収層）を２回透過した光が、半導体基板裏面側に形成された反射膜によって反射されて光吸収層に再入射する裏面入射型半導体受光素子が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平２－１０５５８５号公報

特許文献2：特開２０１８－１５２３６９号公報

特許文献3：特開平６－７７５１８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献２では、ＳｉＮ膜を貫通するリング状のコンタクト部を介して、Ｔｉ（チタン）膜とＡｕ（金）膜で形成されたミラー電極がフォトダイオードの半導体層に接続されている。しかし、ミラー電極の反射面積を大きくするとコンタクト部の面積が小さくなるので、素子抵抗の構成要素の１つであるコンタクト部の抵抗が大きくなって、応答速度の高速化が阻害される。また、コンタクト部の抵抗を小さくするためにコンタクト部の面積大きくすると、ミラー電極の反射面積が小さくなって反射される光が少なくなり、感度が低下する。

[0009] 一方、特許文献３では、半導体基板の表面側のフォトダイオードと裏面側

のＴｉ膜とＡｕ膜で形成された反射膜の間を光が往復するのにかかる時間は、半導体基板の厚さによるが数マイクロ秒になる。それ故、先に入射した光パルス信号の裏面側の反射膜による反射光と後続の光パルス信号とが重なって光吸収層に入射して信号を分離できなくなるので、応答速度の高速化が要求される場合にはこの技術を利用することができない。

[0010] また、Ｔｉ膜とＡｕ膜によって形成された電極は、相互拡散により合金化してオーミック接触になる。そして、例えば外部との接合時に加熱されて合金化が促進され、この合金化によって高い反射率が得られない虞がある。そこで、特許文献２のバリア電極のように、Ｔｉ膜とＡｕ膜の間にバリア膜としてＰｔ（白金）膜を有する３層構造（図１３参照）とした場合、図１４のように高い反射率が得られない。

[0011] そこで、本発明は、応答速度の高速化に適した高反射率の電極を有する裏面入射型半導体受光素子を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0012] 請求項１の発明は、入射光に対して透明な半導体基板の表面側に、この半導体基板側から順に積層された第１半導体層と光吸収層と第２半導体層と第３半導体層を有するフォトダイオードを備え、前記フォトダイオードに対して前記半導体基板の裏面側から光が入射される裏面入射型半導体受光素子において、前記フォトダイオードは、前記第３半導体層の表面の大部分に接続された電極を備え、前記電極は、前記第３半導体層側から順に、複素屈折率の実部ｎの値が前記第３半導体層の屈折率よりも小さく且つ虚部ｋの値が１０以上である第１金属層と、誘電体層と、前記誘電体層の外周側で前記第１金属層に接続された第２金属層を有し、前記裏面側から前記フォトダイオードに入射されて前記光吸収層を透過した光が、前記電極で反射されて前記光吸収層に再入射するように構成されたことを特徴としている。

[0013] 上記構成によれば、半導体基板の裏面側からフォトダイオードに入射して光吸収層を透過した光が、このフォトダイオードの電極で反射されて光吸収層に再入射する。この電極は、フォトダイオードの第３半導体層の表面の大

部分に接続された第１金属層を有するので、電極の反射面を大きくすると共に接触面積を大きくしてコンタクト抵抗を小さくすることができ、応答速度の高速化に有利である。そして、この電極は、複素屈折率の実部ｎの値が第３半導体層の屈折率よりも小さく且つ複素屈折率の虚部ｋの値が１０以上である第１金属層を有し、この第１金属層と第２金属層との間に誘電体層を備えた構造によって、高い反射率を得ることができる。従って、光吸収層を透過した光の大部分をフォトダイオードに近接する電極で反射して光吸収層に再入射させることができるので、感度を向上させることができる。それ故、感度の低下を抑制しながら光吸収層を薄くして、応答速度の高速化を図ることができる。

[0014] 請求項２の発明の裏面入射型半導体受光素子は、請求項１の発明において、前記第１金属層は、Ａｕ、Ａｇ、Ｃｒ及びＡｌからなる群から選択される金属によって形成されたことを特徴としている。

上記構成によれば、第１金属層は、複素屈折率の実部ｎの値が第３半導体層の屈折率よりも小さく且つ複素屈折率の虚部ｋの値が１０以上の金属であるＡｕ（金）、Ａｇ（銀）、Ｃｒ（クロム）又はＡｌ（アルミニウム）によって形成される。これらの金属は、半導体素子の材料として一般的に使用されているので、反射率が高い電極を容易に形成することができる。

[0015] 請求項３の発明の裏面入射型半導体受光素子は、請求項１の発明において、前記誘電体層と前記第２金属層の間にＴｉを主成分とする密着層を有することを特徴としている。

上記構成によれば、誘電体層との密着性が良好ではない金属によって第２金属層が形成された場合に懸念される第２金属層の膜浮き又は膜剥がれを、密着層によって防止することができ、膜浮き又は膜剥がれによる電極の機能の低下を防ぐことができる。

[0016] 請求項４の発明の裏面入射型半導体受光素子は、請求項１の発明において、前記フォトダイオードは、前記光吸収層の直径が２０μｍ以下となる円錐台状に形成され、前記半導体基板の裏面に、円錐台状の前記フォトダイオー

ドの中心軸線にレンズ光軸を一致させた集光レンズ部を有することを特徴としている。

上記構成によれば、光吸収層の直径が２０μｍ以下なので、フォトダイオードの面積を小さくして素子容量を小さくすることができ、応答速度を高速化することができる。そして、この面積が小さいフォトダイオードに対して、集光レンズ部によって集光して入射させることによって感度の低下を抑制することができる。

発明の効果

[0017] 本発明の裏面入射型半導体受光素子によれば、高反射率の電極によって感度の低下を抑制しながら応答速度の高速化を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の実施例に係る裏面入射型半導体受光素子の断面図である。

[図2]図１のフォトダイオードと電極を示す要部拡大断面図である。

[図3]円錐台状のフォトダイオードの形成工程を示す断面図である。

[図4]フォトダイオードの電極の形成工程を示す断面図である。

[図5]電極の第１金属層の複素屈折率に対するこの電極の反射率の計算結果を等高線状に示すグラフである。

[図6]電極の第１金属層がＴｉである場合に、誘電体層の厚さと第１金属層の厚さと電極の反射率の関係を示すグラフである。

[図7]電極の第１金属層がＴａである場合に、誘電体層の厚さと第１金属層の厚さと電極の反射率の関係を示すグラフである。

[図8]電極の第１金属層がＡｇである場合に、誘電体層の厚さと第１金属層の厚さと電極の反射率の関係を示すグラフである。

[図9]電極の第１金属層がＡｌである場合に、誘電体層の厚さと第１金属層の厚さと電極の反射率の関係を示すグラフである。

[図10]電極の第１金属層がＣｒである場合に、誘電体層の厚さと第１金属層の厚さと電極の反射率の関係を示すグラフである。

[図11]誘電体膜と第２金属膜の間に密着層を有する電極を備えたフォトダイ

オードの例を示す断面図である。

[図12]図１１の電極の第１金属層がＣｒである場合に、誘電体層の厚さと第１金属層の厚さと電極の反射率の関係を示すグラフである。

[図13]電極の従来例を示す断面図である。

[図14]図１３の電極のＴｉの厚さとＰｔの厚さとこの電極の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

[0019] 以下、本発明を実施するための形態について実施例１、２に基づいて説明する。

実施例 1

[0020] 図１、図２に示すように、裏面入射型半導体受光素子１は、半導体基板２の表面２ａ側に、この半導体基板２側から順に積層された第１半導体層３と光吸収層４と第２半導体層５と第３半導体層６を有するＰＩＮ型のフォトダイオード７を備えている。フォトダイオード７は、このフォトダイオード７の外周に形成された溝８ａによって円錐台状に形成されている。フォトダイオード７は、光吸収層４の直径が例えば２０μｍ以下となるように形成され、面積を小さくして素子容量を小さくしている。

[0021] 半導体基板２は、光ファイバケーブルＯＣから出射される赤外線領域（例えば１３００～１６００ｎｍ）の波長の出射光Ｌ１に対して透明な例えば半絶縁性のＩｎＰ基板である。第１半導体層３は第１導電型の例えばｎ－ＩｎＰ層である。光吸収層４は例えばＩｎＧａＡｓ層である。第２半導体層５は第２導電型の例えばｐ－ＩｎＰ層である。第３半導体層６は、光吸収層４よりも薄く形成された例えばＩｎＧａＡｓ層であり、後述する電極（第２電極１２）とのオーミック接触のために形成されている。

[0022] 溝８ａは、例えば反応性イオンエッチングによって、第３半導体層６と第２半導体層５と光吸収層４を貫通して第１半導体層３の途中までエッチングすることにより形成される。このとき、フォトダイオード７の外側で第１半導体層３に到達する開口部８ｂ（穴又は溝）も同時に形成される。そして、

図３に示すように、絶縁膜９が、フォトダイオード７の第３半導体層６の表面６ａの大部分と図示外の開口部８ｂの底部とを除いた領域を覆うように公知の方法によって選択的に形成され、絶縁膜９にコンタクト孔９ａ，９ｂが形成される。絶縁膜９には、例えばＳｉＯ２膜、ＳｉＮ膜等が用いられる。

[0023] 次に図４に示すように、例えば公知のリフトオフ法によって、コンタクト孔９ａを介して第３半導体層６に接続する第１金属層１２ａが、溝８ａの外側まで延びるように選択的に形成される。そして、この第１金属層１２ａ上のフォトダイオード７に対応する領域に、公知の方法（成膜、フォト、エッチング）によって誘電体層１２ｂが選択的に形成される。

[0024] さらに、例えば公知のリフトオフ法によって、第１金属層１２ａと誘電体層１２ｂを覆うように第２金属層１２ｃが選択的に形成されて、図１、図２のように第２電極１２が形成される。第２金属層１２ｃは、誘電体層１２ｂの外周側で第１金属層１２ａに接続されている。開口部８ｂにおいても、コンタクト孔９ｂを介して第１半導体層３に接続する第１金属層１２ａと第２金属層１２ｃが、開口部８ｂの外側に延びるように選択的に形成されて、第２電極１２と同時に第１電極１１が形成される。第１、第２電極１１，１２は、外部の例えばプリント基板の配線部に夫々接合される。

[0025] このように形成された第２電極１２は、フォトダイオード7に対応する部分に、第３半導体層６側から順に第１金属層１２ａと誘電体層１２ｂと第２金属層１２ｃが積層された構造を有する。第１金属層１２ａは、複素屈折率の実部ｎ（屈折率）の値が第３半導体層６の屈折率よりも小さく且つ複素屈折率の虚部ｋ（消衰係数）の値が１０以上の金属で形成されている。この第１金属層１２ａは、Ａｕ（金）、Ａｇ（銀）、Ａｌ（アルミニウム）及びＣｒ（クロム）からなる群から択一的に選択された金属の薄膜である。第１金属層１２ａは、フォトダイオード７の第３半導体層６の表面６ａの大部分に接続されているので、第２電極１２のコンタクト抵抗を低くすることができる。第２金属層１２ｃには、外部との接合が容易且つ酸化し難いＡｕが用いられる場合が多い。

[0026] 半導体基板２の裏面２ｂ側には、半導体基板２と一体的に形成された凸レンズ状の集光レンズ部２ｃを有する。この集光レンズ部２ｃは、レンズ光軸が円錐台状のフォトダイオード７の中心軸線７ａと一致するように形成されている。光ファイバケーブルＯＣから出射された出射光Ｌ１（光パルス信号）は、その光軸が中心軸線７ａと一致するように出射されて円錐状に広がりながら集光レンズ部２ｃに入射する。集光レンズ部２ｃに入射して半導体基板２を進行する入射光Ｌ２は、集光レンズ部２ｃの集光作用によってフォトダイオード７に集光される。

[0027] 図２のように、入射光Ｌ２がフォトダイオード７に入射し、その一部が光吸収層４で２種類の電荷キャリア（電子、ホール）に変換される。そして、一方の電荷キャリアが第１半導体層３に移動し、他方の電荷キャリアが第２半導体層５に移動して、光電流として第１、第２電極１１，１２を介して外部に出力される。また、入射光Ｌ２のうち、光電変換されずに光吸収層４を透過して第２電極１２で反射された反射光Ｌ３が、光吸収層４に再入射するように構成されている。光吸収層４に再入射した反射光Ｌ３の一部は光電変換され、入射光Ｌ２から光電変化された電荷キャリアと共に光電流として第１、第２電極１１，１２を介して外部に出力される。

[0028] このように、反射光Ｌ３が光吸収層４に再入射するので、光吸収層４の実効的な厚さが大きくなり、裏面入射型半導体受光素子１の感度が向上する。それ故、感度の低下を抑制しながら光吸収層４を薄く形成することが可能になり、電荷キャリアの走行時間を短縮して応答速度を高速化することができる。そして、第２電極１２は、フォトダイオード７に近接しているので、光が光吸収層４と第２電極１２の間を往復する時間が短くなり、後続の光パルス信号と分離することができるので、高速通信に対応することができる。その上、フォトダイオード７の面積が小さいため、素子容量を小さくして応答速度を高速化できると共に、小さい面積のフォトダイオード７に集光レンズ部２ｃによって入射光Ｌ２を入射させるので、入射光Ｌ２を無駄なく利用して感度の低下を抑制することができる。

[0029] 次に、光の波長λが１５５０ｎｍの場合を例に、第２電極１２の反射率について説明する。

入射光Ｌ２の一部は、光吸収層４を透過し、第２半導体層５と第３半導体層６を通って第２電極１２の第１金属層１２ａに到達する。第２半導体層５がｐ－ＩｎＰ、第３半導体層６がＩｎＧａＡｓである場合に、第２、第３半導体層５，６の屈折率は夫々３．２２である。

[0030] 図５には、第２電極１２を構成する第１金属層１２ａの金属の複素屈折率の実部ｎ（屈折率）と虚部ｋ（消衰係数）をパラメータとして第２電極１２の反射率の計算結果が等高線状に示されている。第１金属層１２ａの厚さは２０ｎｍであり、誘電体層１２ｂは、厚さが１００ｎｍのＳｉＯ２膜で形成されている。第２金属層１２ｃは、図５以降のグラフにおいても厚さが６００ｎｍのＡｕ膜である。

[0031] 図５によれば、第１金属層１２ａの複素屈折率の実部ｎ（屈折率）の値が小さいほど且つ虚部ｋの値が大きいほど、即ちグラフの左上の領域において反射率が高くなる傾向がある。そして、フォトダイオード７に入射する光を有効に利用するためには、第２電極１２の反射率が高いほど好ましい。半導体素子の材料として一般的に使用される金属を図５にプロットすると、８０％を超える高い反射率が得られるのはＡｕ（金）、Ａｇ（銀）、Ｃｕ（銅）、Ａｌ（アルミニウム）及びＣｒ（クロム）である。これらの金属は、第３半導体層６（ＩｎＧａＡｓ）の屈折率よりも複素屈折率の実部ｎの値が小さい。

[0032] 一方、低い反射率になるＮｉ（ニッケル）、Ｔｉ（チタン）、Ｐｔ（白金）は、第３半導体層６の屈折率よりも複素屈折率の実部ｎの値が大きい。Ｔａ（タンタル）は、第３半導体層６の屈折率よりも複素屈折率の実部ｎの値が小さいが、Ａｇ等と比べて複素屈折率の虚部ｋの値が小さいため入射した光が界面から深く進入し、反射率が低くなっていると考えられる。尚、Ｃｕは、Ａｕ、Ａｇ、Ａｌ及びＣｒと比べて加工し難く、他の材料中に拡散し易い性質を有するため、第１金属層１２ａとして使用することが困難である。

[0033] 図６には、第１金属層１２ａがＴｉで形成された場合に、誘電体層１２ｂ（ＳｉＯ２膜）の厚さと第１金属層１２ａ厚さをパラメータとして計算した第２電極１２の反射率が、等高線状に示されている。この図６によれば、第１金属層１２ａが薄いほど且つ誘電体層１２ｂが薄いほど反射率が高くなる。第１金属層１２ａが薄いほど、この第１金属層１２ａを透過する光が増え、第１金属層１２ａと誘電体層１２ｂの界面及び誘電体層１２ｂと第２金属層１２ｃの界面での反射が増加するためであると考えられる。

[0034] しかし、第１金属層１２ａが薄いほど第２電極１２のコンタクト抵抗が高くなり、応答速度の高速化を阻害する。また、形成する膜が薄いほど、その膜の厚さの制御が困難になる。それ故、コンタクト抵抗を低く且つ厚さの制御が容易なように、例えば誘電体層１２ｂの厚さを１００ｎｍ且つ第１金属層１２ａ厚さを２０ｎｍとした場合には、第２電極１２の反射率は２０％未満の低い値になり、Ｔｉは第１金属層１２ａとして適していない。

[0035] 図７には、第１金属層１２ａがＴａで形成された場合に、誘電体層１２ｂ（ＳｉＯ２膜）の厚さと第１金属層１２ａ厚さをパラメータとして計算した第２電極１２の反射率が、等高線状に示されている。誘電体層１２ｂの厚さが例えば１００ｎｍ、第１金属層１２ａ厚さが例えば２０ｎｍの場合には反射率が８０％未満になる。反射率を９０％に近づけるためには、第１金属層１２ａと誘電体層１２ｂの少なくとも一方を薄くする必要があり、容易ではない。

[0036] 図８～図１０には、誘電体層１２ｂ（ＳｉＯ２膜）の厚さと第１金属層１２ａ厚さをパラメータとして計算した第２電極１２の反射率が、等高線状に示されている。図８は、第１金属層１２ａがＡｇで形成された場合である。図９は、第１金属層１２ａがＡｌで形成された場合である。図１０は、第１金属層１２ａがＣｒで形成された場合である。

[0037] 図８～図１０の何れの場合も、誘電体層１２ｂの厚さが例えば１００ｎｍ且つ第１金属層１２ａ厚さが例えば２０ｎｍのときには、反射率が８５％を超える。従って、第１金属層１２ａがＡｇ又はＡｌ又はＣｒで形成された場

合には、高い反射率を容易に得ることができる。第１金属層１２ａの厚さを例えば２５ｎｍよりも厚くすることによって、コンタクト抵抗を小さくすると共に９０％以上の反射率を得ることもできる。また、図３によれば、第１金属層１２ａがＡｕの場合にも同様に高い反射率を得ることができる。これらＡｕ、Ａｇ、Ａｌ、Ｃｒは、複素屈折率の虚部ｋの値が１０以上であり、複素屈折率の実部ｎの値が第３半導体層６の屈折率よりも小さいので、高い反射率の第２電極１２を形成することができる。

[0038] ここで、誘電体層１２ｂは、第１金属層１２ａと第２金属層１２ｃの相互拡散による合金化を防ぐことによって、第１金属層１２ａの合金化による複素屈折率の変化を防止する。そして、誘電体層１２ｂの外周側で第１金属層１２ａと第２金属層１２ｃが接続されているので、第２電極１２は導電性と高い反射率を有する。尚、第２電極１２による反射は、コンタクト抵抗が小さくなる第１金属層１２ａの厚さのときには、第３半導体層６と第１金属層１２ａの界面での反射が支配的であり、誘電体層１２ｂはＳｉＯ２膜以外の例えばＳｉＯＮ膜、ＳｉＮ膜等で形成されてもよい。

[0039] 第２金属層１２ｃがＡｕで形成される場合、誘電体層１２ｂ（ＳｉＯ２膜）との密着性が良好ではないので、第２金属層１２ｃが誘電体層１２ｂから浮き上がってしまい、第２電極１２の機能（例えば導電性、外部との接合性）が損なわれる虞がある。そこで、図１１に示すように、第２電極１２は、少なくとも誘電体層１２ｂと第２金属層１２ｃの間にＴｉを主成分とする密着層１２ｄを備えていてもよい。尚、一般的に用いられる密着層１２ｄの厚さは、１０ｎｍ程度である。

[0040] 図１２に示すように、第１金属層１２ａがＣｒである場合に、Ｔｉの密着層１２ｄを備えた第２電極１２は高い反射率を得ることができる。例えば誘電体層１２ｂの厚さが１００ｎｍ、第１金属層１２ａ厚さが２０ｎｍの場合には、反射率が８５％を超え、密着層１２ｄが無い図１０の第２電極１２と同程度の反射率が得られる。そして、密着層１２ｄによって第２金属層１２ｃの膜剥がれ又は膜浮きを防止して、第２電極１２Ａの機能が損なわれない

ようにすることができる。

[0041] 図１３には、第２電極１２を従来の構造を有する従来電極２２に変更したフォトダイオード７を示している。従来電極２２は、第３半導体層６側から順にＴｉ層２２ａと、外部との接合時に合金化を防ぐバリア層としてＰｔ層２２ｂと、Ａｕ層２２ｃが積層されて形成されている。上述のように、Ｔｉ層２２ａの複素屈折率の実部ｎの値は第３半導体層６の屈折率よりも大きく、Ｐｔ層２２ｂの複素屈折率の実部ｎの値はＴｉ層２２ａの複素屈折率の実部ｎの値よりも大きい（図５参照）。そして図１４に示すように、この従来電極２２では、Ｐｔ層２２ｂの厚さとＴｉ層２２ａの厚さを調整しても反射率が低く、本発明の第２電極１２のように高い反射率を得ることができない。

[0042] 上記の裏面入射型半導体受光素子１の作用、効果について説明する。

半導体基板２の裏面２ｂ側からフォトダイオード７に入射して光吸収層４を透過した光が、このフォトダイオード７の電極である第２電極１２で反射されて光吸収層４に再入射する。この第２電極１２は、フォトダイオード７の第３半導体層６の表面６ａの大部分に接続された第１金属層１２ａを有するので、第２電極１２の反射面を大きくすると共に第２電極１２のコンタクト部の抵抗を小さくすることができ、応答速度の高速化に有利である。そして、第２電極１２は、複素屈折率の実部ｎの値が第３半導体層６の屈折率よりも小さく、且つ複素屈折率の虚部ｋの値が１０以上である金属によって形成された第１金属層１２ａを有する。この第１金属層１２ａと第２金属層１２ｃの間に誘電体層１２ｂを備えた構造によって、従来よりも高い反射率を得ることができる。従って、光吸収層４を透過した光の大部分をフォトダイオード7に近接する第２電極１２で反射して光吸収層４に再入射させることができる。それ故、裏面入射型半導体受光素子１の感度の低下を抑制しながら光吸収層４を薄くして、応答速度の高速化を図ることができる。

[0043] 第１金属層１２ａは、複素屈折率の実部ｎの値が第３半導体層６の屈折率よりも小さく且つ複素屈折率の虚部ｋの値が１０以上の金属であるＡｕ、Ａ

ｇ、Ｃｒ及びＡｌからなる群から選択された金属によって形成されている。これらの金属は、半導体素子の材料として一般的に使用されているので、反射率が高い第２電極１２を容易に形成することができる。

[0044] 第２電極１２が、誘電体層１２ｂと第２金属層１２ｃの間にＴｉを主成分とする密着層１２ｄを有していてもよい。これにより、第２金属層１２ｃと誘電体層１２ｂとの密着性が良好ではない場合に懸念される第２金属層１２ｃの膜浮き又は膜剥がれを、密着層１２ｄによって防止することができる。従って、膜浮き又は膜剥がれによる第２電極１２の機能の低下を防ぐことができる。

[0045] フォトダイオード７は、光吸収層４の直径が２０μｍ以下となる円錐台状に形成され、半導体基板２の裏面２ｂに、円錐台状のフォトダイオード７の中心軸線７ａにレンズ光軸を一致させた集光レンズ部２ｃを有する。フォトダイオード７の面積が小さいため素子容量を小さくすることができるので、応答速度を高速化することができる。そして、この面積が小さいフォトダイオード７に対して、集光レンズ部２ｃによって集光して入射させることによって、裏面入射型半導体受光素子１の感度の低下を抑制することができる。尚、光吸収層４の直径は、要求される応答周波数帯域に応じて適宜設定することができる。

[0046] その他、当業者であれば、本発明の趣旨を逸脱することなく、上記実施形態に種々の変更を付加した形態で実施可能であり、本発明はその種の変更形態も包含するものである。

符号の説明

[0047] １ ：裏面入射型半導体受光素子

２ ：基板

２ａ ：表面

２ｂ ：裏面

２ｃ ：集光レンズ部

３ ：第１半導体層

４　　：光吸収層

５　　：第２半導体層

６　　：第３半導体層

７　　：フォトダイオード

７ａ　：中心軸線

８ａ　：溝

８ｂ　：開口部

９　　：絶縁膜

１１　：第１電極

１２　：第２電極（電極）

１２ａ：第１金属層

１２ｂ：誘電体層

１２ｃ：第２金属層

１２ｄ：密着層

２２　：従来電極

２２ａ：Ｔｉ層

２２ｂ：Ｐｔ層

２２ｃ：Ａｕ層

Ｌ１　：出射光

Ｌ２　：入射光

Ｌ３　：反射光

ＯＣ　：光ファイバケーブル

請求の範囲

[請求項1] 入射光に対して透明な半導体基板の表面側に、この半導体基板側から順に積層された第１半導体層と光吸収層と第２半導体層と第３半導体層を有するフォトダイオードを備え、前記フォトダイオードに対して前記半導体基板の裏面側から光が入射される裏面入射型半導体受光素子において、

前記フォトダイオードは、前記第３半導体層の表面の大部分に接続された電極を備え、

前記電極は、前記第３半導体層側から順に、複素屈折率の実部ｎの値が前記第３半導体層の屈折率よりも小さく且つ虚部ｋの値が１０以上である第１金属層と、誘電体層と、前記誘電体層の外周側で前記第１金属層に接続された第２金属層を有し、

前記裏面側から前記フォトダイオードに入射されて前記光吸収層を透過した光が、前記電極で反射されて前記光吸収層に再入射するように構成されたことを特徴とする裏面入射型半導体受光素子。

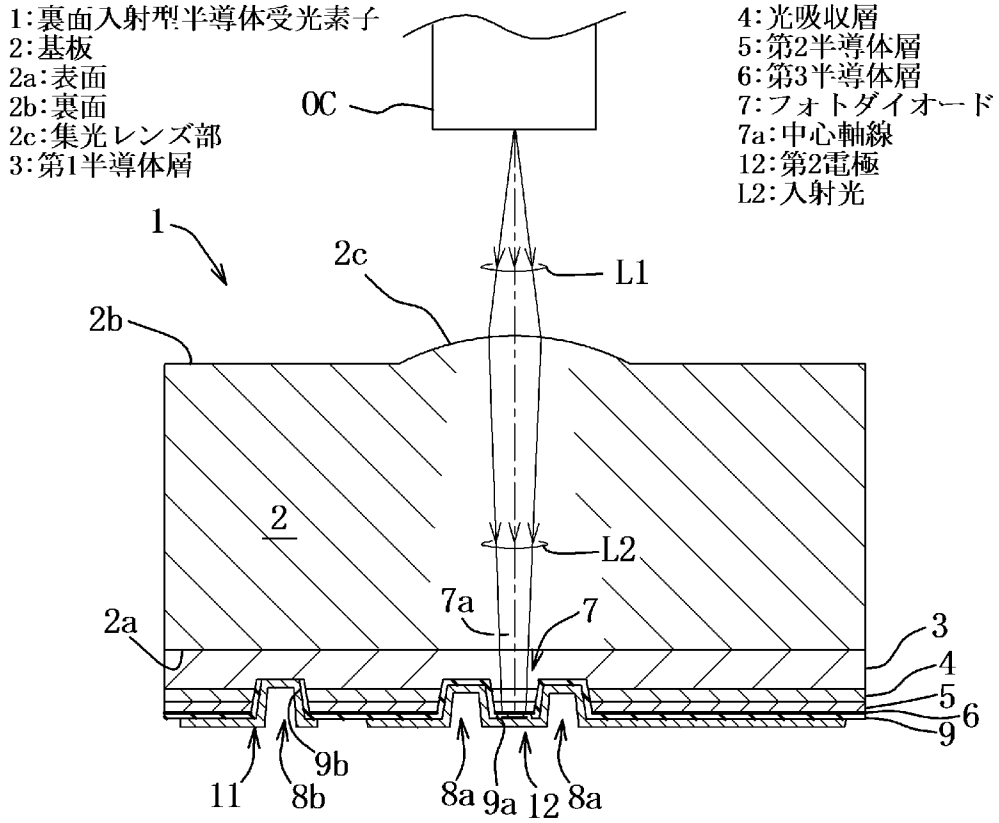
[請求項2] 前記第１金属層は、Ａｕ、Ａｇ、Ｃｒ及びＡｌからなる群から選択される金属によって形成されたことを特徴とする請求項１に記載の裏面入射型半導体受光素子。

[請求項3] 前記誘電体層と前記第２金属層の間にＴｉを主成分とする密着層を有することを特徴とする請求項１に記載の裏面入射型半導体受光素子。

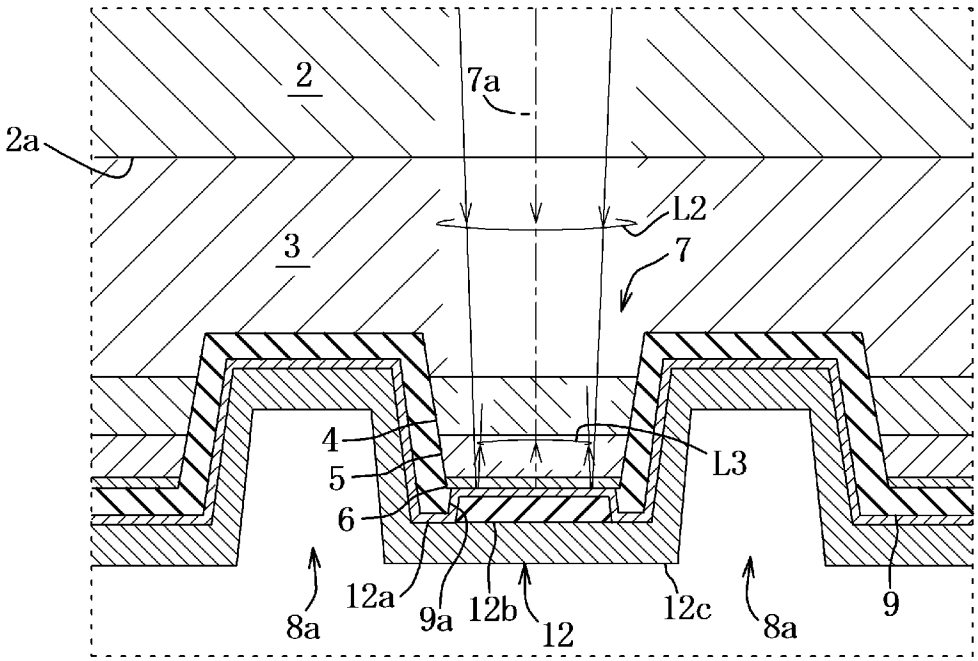
[請求項4] 前記フォトダイオードは、前記光吸収層の直径が２０μｍ以下となる円錐台状に形成され、

前記半導体基板の裏面に、円錐台状の前記フォトダイオードの中心軸線にレンズ光軸を一致させた集光レンズ部を有することを特徴とする請求項１に記載の裏面入射型半導体受光素子。

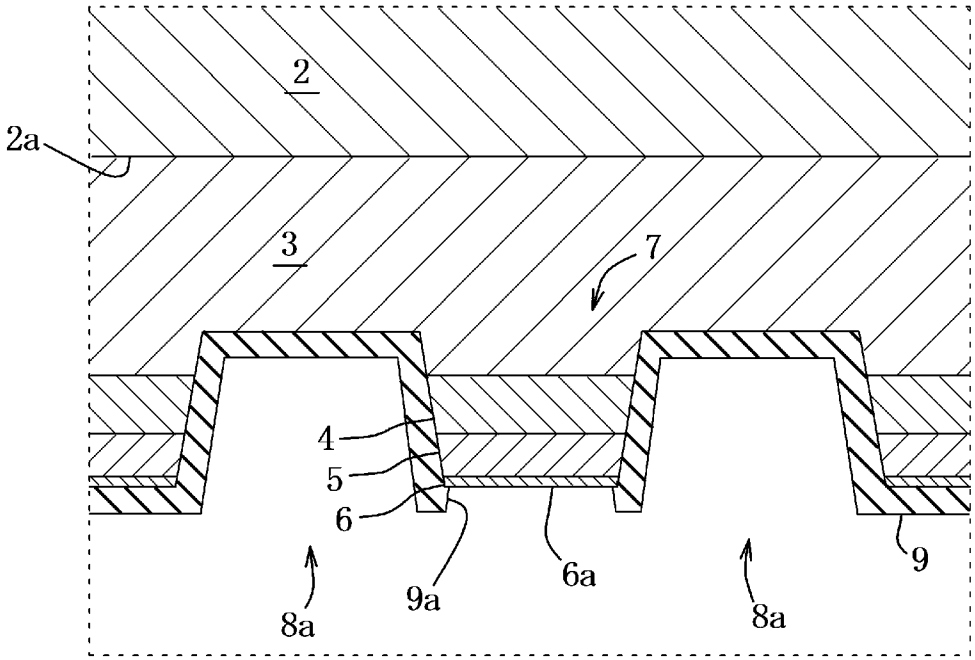
[図1]


1:裏面入射型半導体受光素子
2:基板
2a:表面
2b:裏面
2c:集光レンズ部
3:第1半導体層
4:光吸収層
5:第2半導体層
6:第3半導体層
7:フォトダイオード
7a:中心軸線
12:第2電極
L2:入射光
OC
1
2c
L1
2b
2
L2
7a
7
2a
3
4
5
6
9
11
8b
9b
8a
9a
12
8a

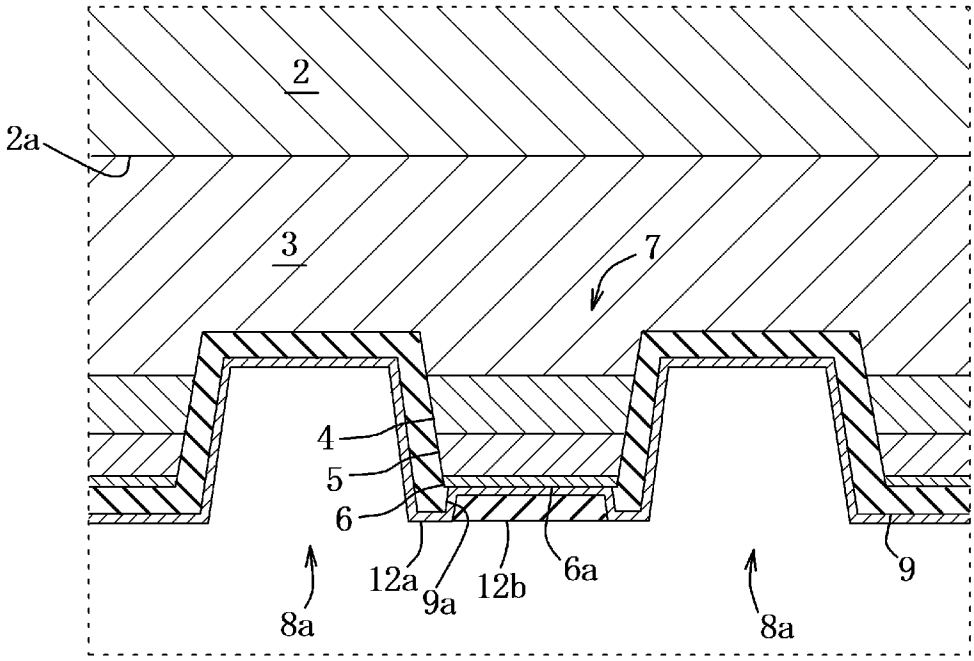
[図2]


2
7a
2a
L2
3
7
4
5
6
L3
8a
12a
9a
12b
12
12c
8a
9
3:第1半導体層
4:光吸収層
5:第2半導体層
6:第3半導体層
7:フォトダイオード
12:第2電極
12a:第1金属層
12b:誘電体層
12c:第2金属層
L2:入射光
L3:反射光

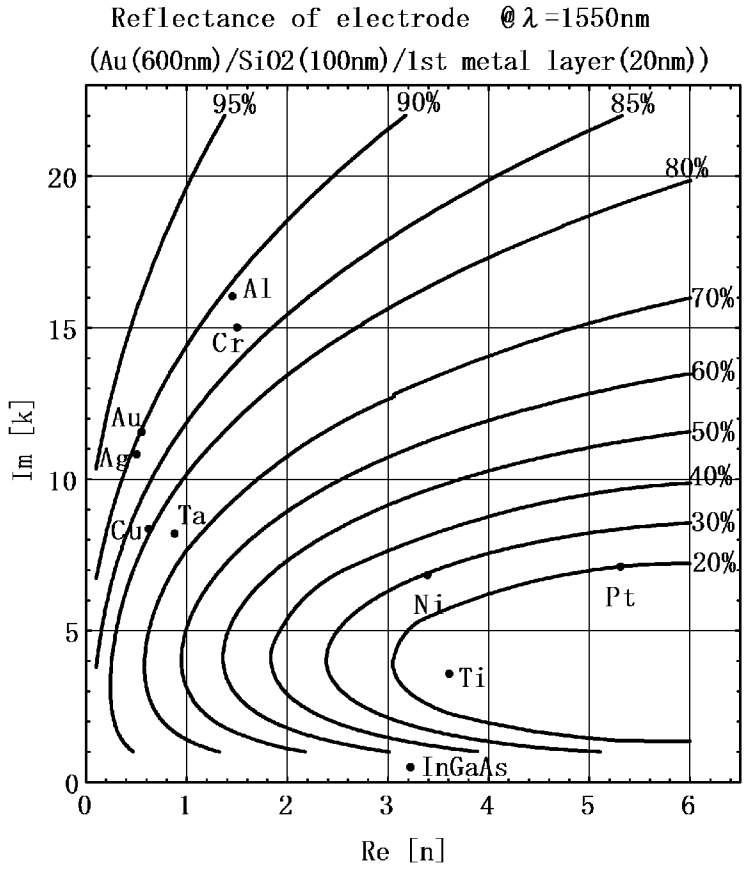
[図3]



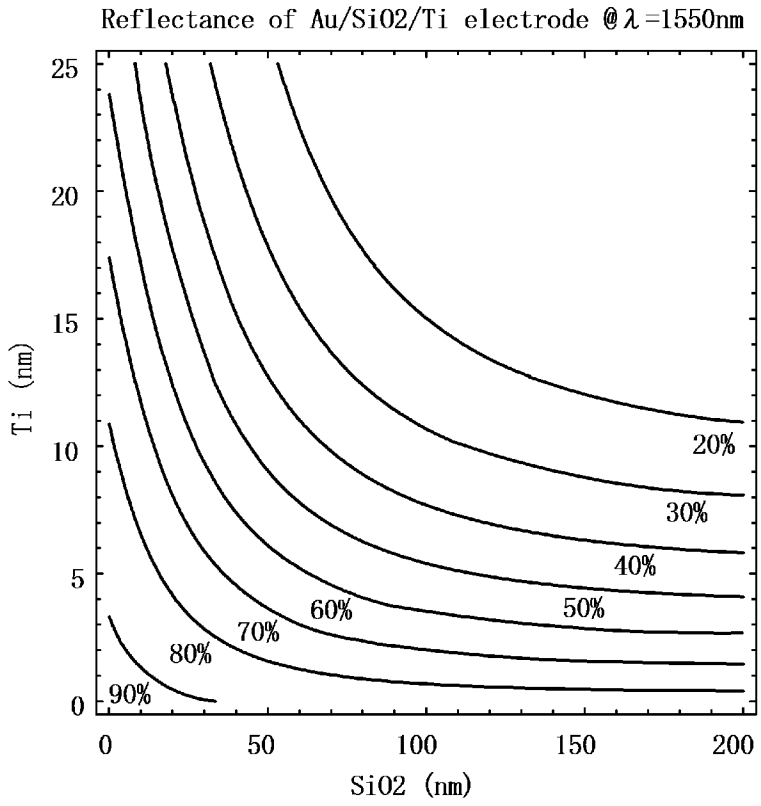
[図4]



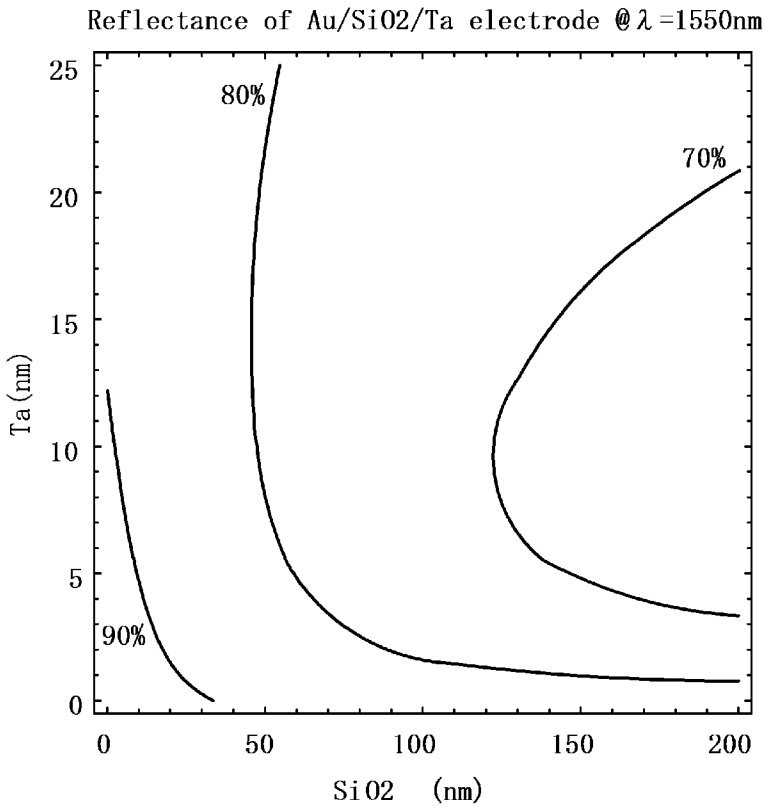
[図5]


Reflectance of electrode @λ=1550nm
(Au(600nm)/SiO2(100nm)/1st metal layer(20nm))
95%
90%
85%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
Al
Cr
Au
Ag
Cu
Ta
Ni
Pt
Ti
InGaAs
Im [k]
Re [n]
0
5
10
15
20
0
1
2
3
4
5
6

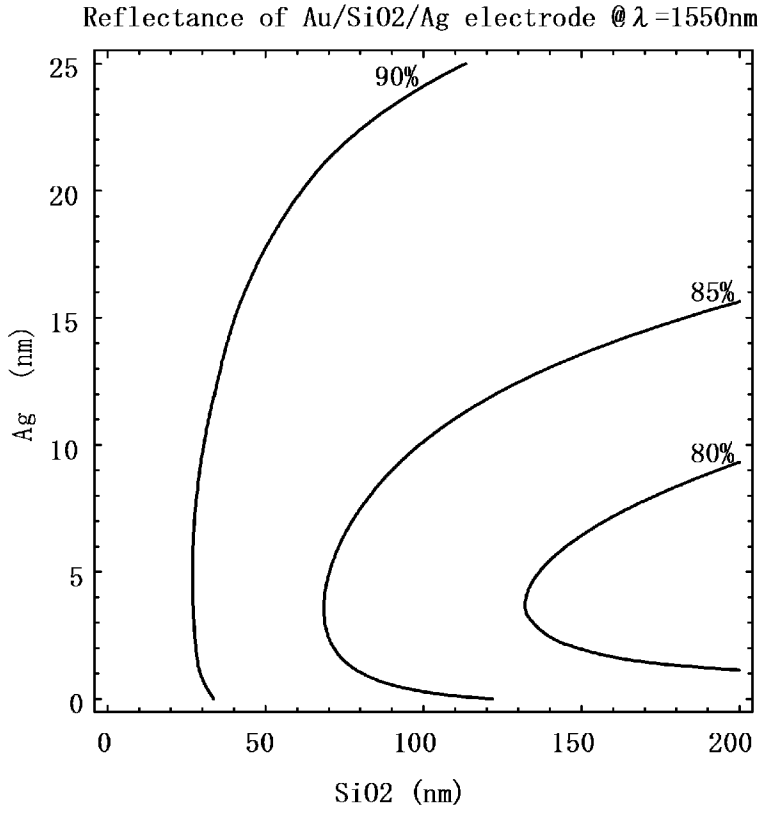
[図6]


Reflectance of Au/SiO2/Ti electrode @λ=1550nm
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
Ti (nm)
SiO2 (nm)
0
5
10
15
20
25
0
50
100
150
200

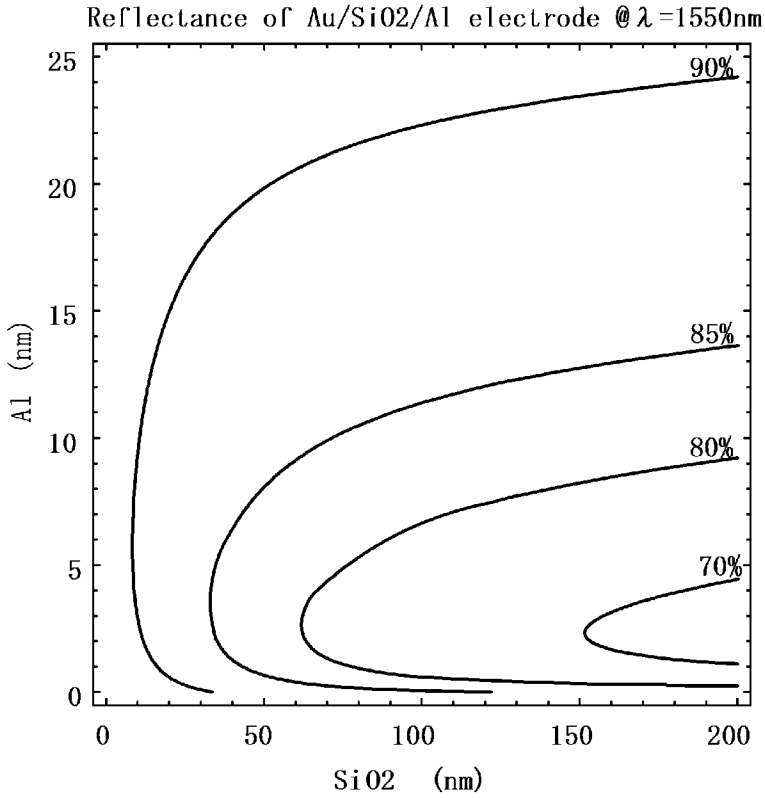
[図7]


Reflectance of Au/SiO2/Ta electrode @λ=1550nm
80%
70%
90%
Ta(nm)
SiO2 (nm)
0
5
10
15
20
25
0
50
100
150
200

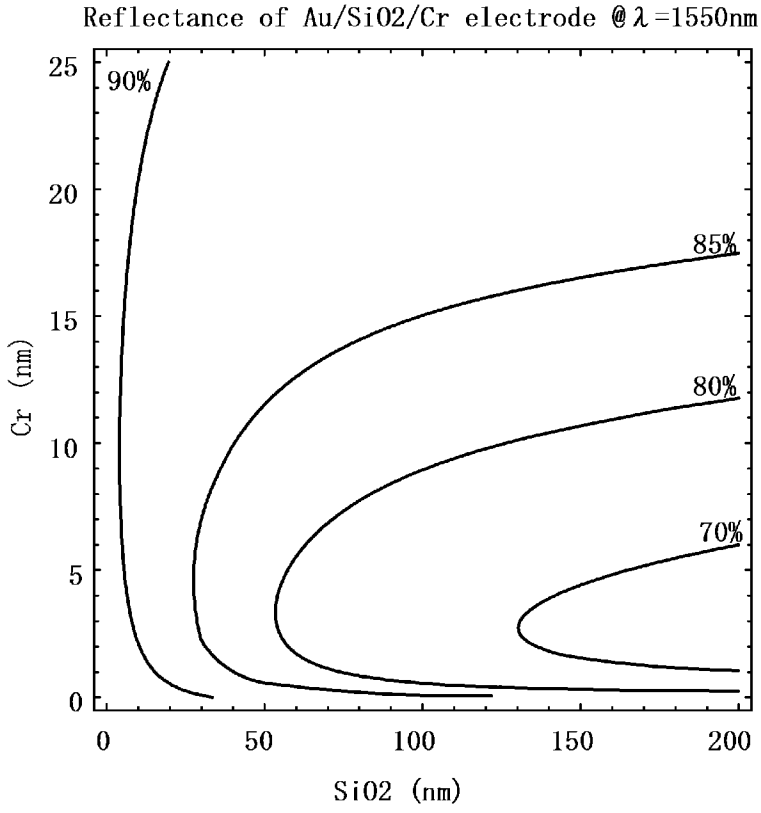
[図8]


Reflectance of Au/SiO2/Ag electrode @λ=1550nm
90%
85%
80%
Ag (nm)
SiO2 (nm)
0
5
10
15
20
25
0
50
100
150
200

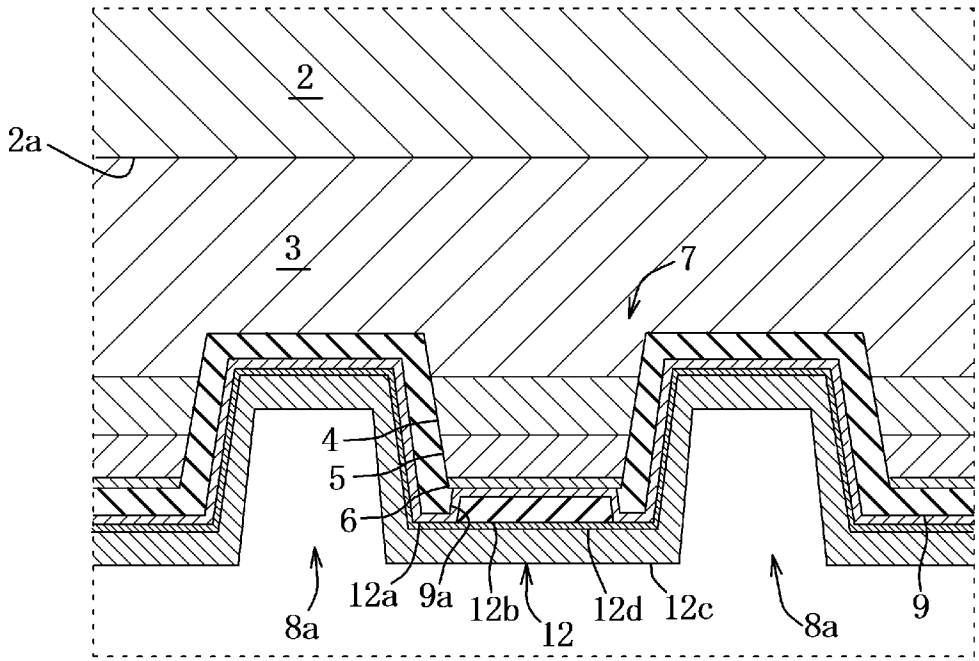
[図9]


Reflectance of Au/SiO2/Al electrode @λ=1550nm
90%
85%
80%
70%
Al (nm)
SiO2 (nm)
0
5
10
15
20
25
0
50
100
150
200

[図10]

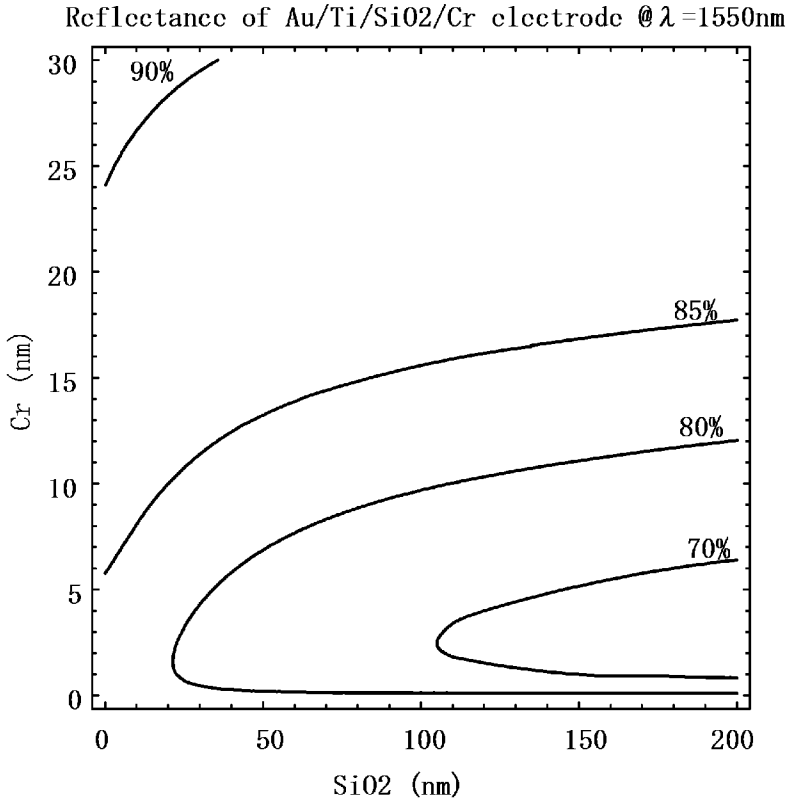

Reflectance of Au/SiO2/Cr electrode @λ=1550nm
90%
85%
80%
70%
Cr (nm)
SiO2 (nm)
0
5
10
15
20
25
0
50
100
150
200

[図11]

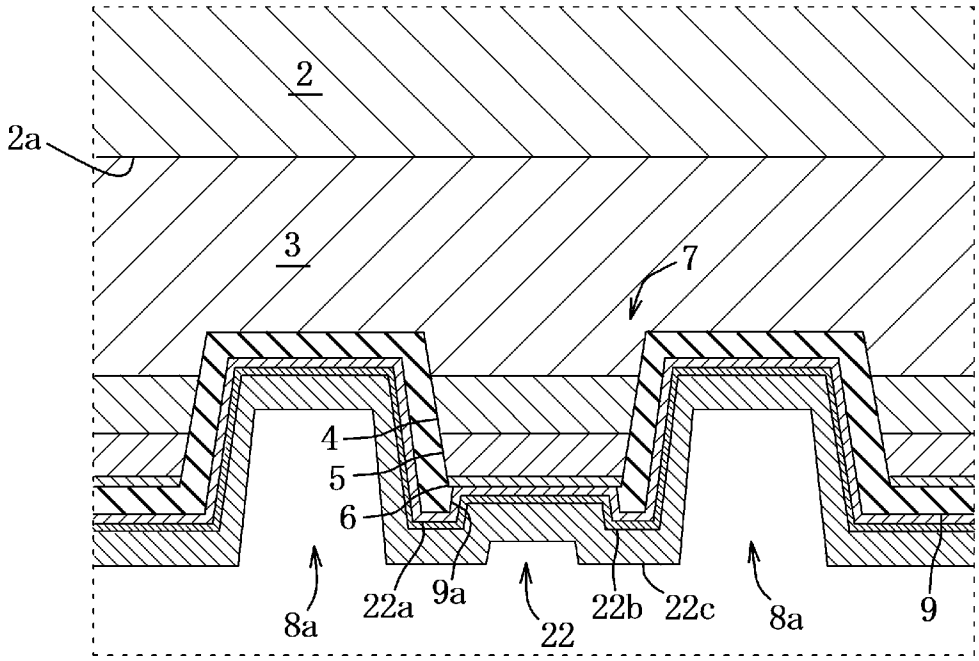


12:第2電極　12b:誘電体層　12d:密着層
12a:第1金属層　12c:第2金属層

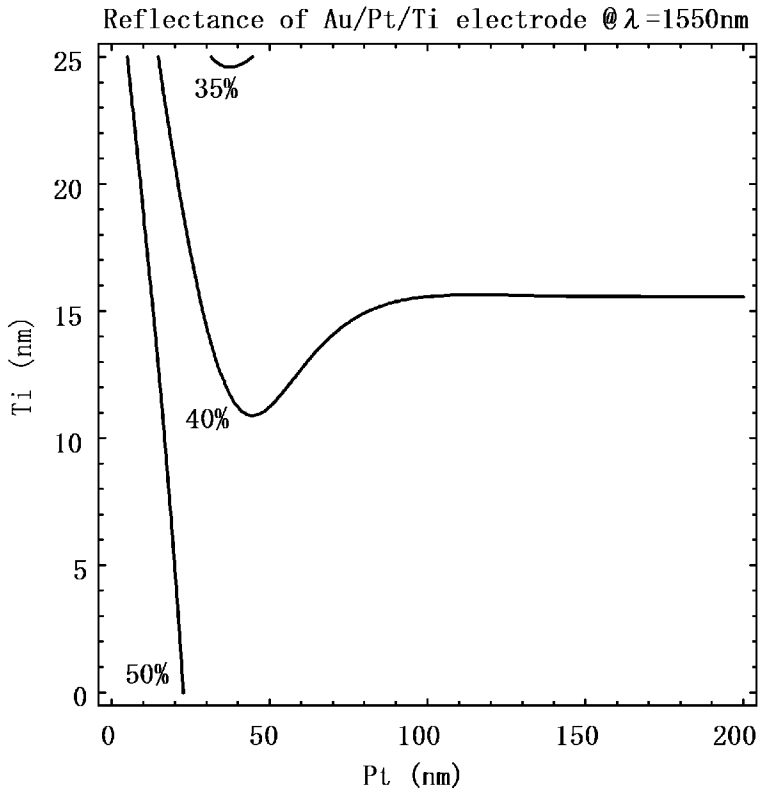
[図12]



[図13]


2
2a
3
7
4
5
6
8a
22a
9a
22
22b
22c
8a
9

[図14]


Reflectance of Au/Pt/Ti electrode @λ=1550nm
25
20
15
10
5
0
Ti (nm)
35%
40%
50%
0
50
100
150
200
Pt (nm)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/034374

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 31/10(2006.01)i
FI: H01L31/10 H

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)

H01L31/00-31/0392; H01L31/08-31/119; H01L51/42-51/48

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 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
A	JP 2013-131637 A (JAPAN OCLARO INCORPORATED) 04 July 2013 (2013-07-04) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2006-120913 A (TOYODA GOSEI COMPANY, LIMITED) 11 May 2006 (2006-05-11) entire text, all drawings	1-4
A	WO 2022/149253 A1 (KYOTO SEMICONDUCTOR COMPANY, LIMITED) 14 July 2022 (2022-07-14) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2014-7285 A (NIPPON TELEGR. & TELEPH. CORPORATION) 16 January 2014 (2014-01-16) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2002-252366 A (FUJITSU QUANTUM DEVICES LIMITED) 06 September 2002 (2002-09-06) entire text, all drawings	1-4

☑ 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
21 October 2022	**08 November 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/034374

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112768550 A (THE 44TH INSTITUTE OF CHINA ELECTRONICS TECHNOLOGY GROUP CORPORATION) 07 May 2021 (2021-05-07) entire text, all drawings	1-4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/034374

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2013-131637 A	04 July 2013	US 2013/0161497 A1 entire text, all drawings CN 103176249 A	
JP 2006-120913 A	11 May 2006	(Family: none)	
WO 2022/149253 A1	14 July 2022	(Family: none)	
JP 2014-7285 A	16 January 2014	(Family: none)	
JP 2002-252366 A	06 September 2002	US 2002/0113282 A1 entire text, all drawings CA 2365454 A1	
CN 112768550 A	07 May 2021	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/034374

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 31/10(2006.01)i
FI: H01L31/10 H

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））

H01L31/00-31/0392; H01L31/08-31/119; H01L51/42-51/48

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２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
A	JP 2013-131637 A (日本オクラロ株式会社) 04.07.2013 (2013-07-04) 全文、全図	1-4
A	JP 2006-120913 A (豊田合成株式会社) 11.05.2006 (2006-05-11) 全文、全図	1-4
A	WO 2022/149253 A1 (株式会社京都セミコンダクター) 14.07.2022 (2022-07-14) 全文、全図	1-4
A	JP 2014-7285 A (日本電信電話株式会社) 16.01.2014 (2014-01-16) 全文、全図	1-4
A	JP 2002-252366 A (富士通カンタムデバイス株式会社) 06.09.2002 (2002-09-06) 全文、全図	1-4
A	CN 112768550 A (THE 44TH INSTITUTE OF CHINA ELECTRONICS TECHNOLOGY GROUP CORPORATION) 07.05.2021 (2021-05-07) 全文、全図	1-4

☐ 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抵触するものではなく、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
21.10.2022	08.11.2022

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

桂城　厚 2K 1764

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/034374

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2013-131637 A	04.07.2013	US 2013/0161497 A1 全文、全図 CN 103176249 A	
JP 2006-120913 A	11.05.2006	（ファミリーなし）	
WO 2022/149253 A1	14.07.2022	（ファミリーなし）	
JP 2014-7285 A	16.01.2014	（ファミリーなし）	
JP 2002-252366 A	06.09.2002	US 2002/0113282 A1 全文、全図 CA 2365454 A1	
CN 112768550 A	07.05.2021	（ファミリーなし）	