(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
2016 年 10 月 27 日(27.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/171009 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 31/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/061524

(22) 国際出願日: 2016 年 4 月 8 日(08.04.2016)

(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 2015-087850 2015 年 4 月 22 日(22.04.2015) JP
特願 2015-087851 2015 年 4 月 22 日(22.04.2015) JP

(71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒 5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 冬木 琢真 (FUYUKI, Takuma); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 有方 卓 (ARIKATA, Suguru); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 京野 孝史 (KYONO, Takashi); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 善積 祐介 (YOSHIZUMI, Yusuke); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 秋田 勝史 (AKITA, Katsushi); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP).

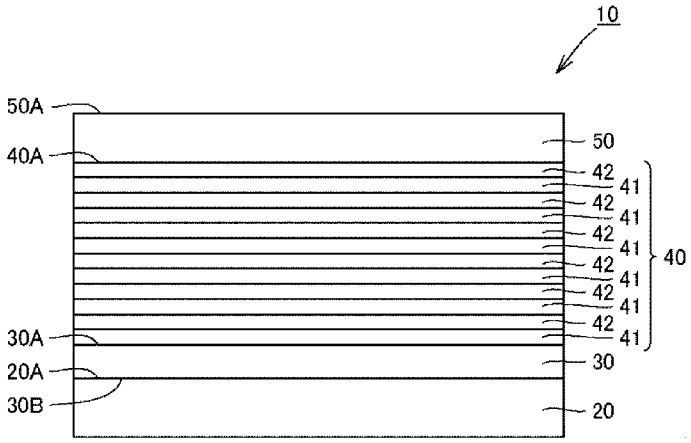
(74) 代理人: 中田 元己, 外 (NAKATA, Motomi et al.); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).

(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, BN, 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, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) **Title**: SEMICONDUCTOR LAMINATE, LIGHT-RECEIVING ELEMENT AND METHOD OF MANUFACTURING SEMICONDUCTOR LAMINATE

(54) 発明の名称 : 半導体積層体、受光素子および半導体積層体の製造方法



(57) **Abstract**: Provided is a semiconductor laminate comprising: a first-conductivity-type layer made from a group III-V compound semiconductor, the conductivity type of which is a first conductivity type; a quantum-well light-receiving layer made from a group III-V compound semiconductor; and a second-conductivity-type layer made from a group III-V compound semiconductor, the conductivity type of which is a second conductivity type that is different from the first conductivity type. The first-conductivity-type layer, the quantum-well light-receiving layer and the second-conductive-type layer are laminated in that order. The thickness of the quantum-well light-receiving layer is 0.5 μm or more. The carrier concentration in the quantum-well light-receiving layer is 1×10^{16} cm^{-3} or less.

(57) 要約: ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型である第１導電型層と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層と、を備える半導体積層体である。第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層は、この順に積層される。量子井戸受光層の厚みは０．５μｍ以上である。量子井戸受光層において、キャリア濃度は１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。

WO 2016/171009 A1

(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:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

半導体積層体、受光素子および半導体積層体の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体積層体、受光素子および半導体積層体の製造方法に関するものである。

本出願は、２０１５年４月２２日出願の日本出願第２０１５－０８７８５０号、及び２０１５年４月２２日出願の日本出願第２０１５－０８７８５１号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる基板上に、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を形成した構造を含む半導体積層体は、赤外域の光に対応した受光素子の製造に用いることができる。具体的には、たとえばＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる基板上に、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなるバッファ層、量子井戸受光層、コンタクト層を順次積層し、さらに適切な電極を形成することにより赤外線用の受光素子を得ることができる。このような受光素子に関して、カットオフ波長が２μｍ～５μｍであるフォトダイオードについての報告がある（たとえば、非特許文献１参照）。また、感度の向上等を目的として、量子井戸受光層から見て基板とは反対側にｎ型層を配置してｎ型層に接触する第１電極を形成するとともに、基板側にｐ型層を配置してｐ型層に接触する第２電極を形成する構造（ｎｉｐ構造）が提案されている（たとえば、特許文献１～３参照）。受光素子の暗電流の構成成分について、理論的な計算がなされた文献も存在する（たとえば、非特許文献２参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１１－１９２８３８号公報

特許文献2：特開２００２－３１４１１８号公報

特許文献3：特開２００６－２４５１６３号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Ｒ．Ｓｉｄｈｕ，ｅｔ ａｌ．、“Ａ Ｌｏｎｇ－Ｗａｖｅｌｅｎｇｔｈ Ｐｈｏｔｏｄｉｏｄｅ ｏｎ ＩｎＰ Ｕｓｉｎｇ Ｌａｔｔｉｃｅ－Ｍａｔｃｈｅｄ ＧａＩｎＡｓ－ＧａＡｓＳｂ Ｔｙｐｅ－ＩＩ Ｑｕａｎｔｕｍ Ｗｅｌｌｓ”、ＩＥＥＥ ＰＨＯＴＯＮＩＣＳ ＴＥＣＨＮＯＬＯＧＹ ＬＥＴＴＥＲＳ、ＶＯＬ．１７，ＮＯ．１２、ＤＥＣＥＭＢＥＲ ２００５、ｐ．２７１５－２７１７

非特許文献2：Ｓ．Ｒ．ＦＯＲＲＥＳＴ、“Ｐｅｒｆｏｒｍａｎｃｅ ｏｆ ＩｎｘＧａ１－ｘＡｓｙＰ１－ｙ Ｐｈｏｔｏｄｉｏｄｅｓ ｗｉｔｈ Ｄａｒｋ Ｃｕｒｒｅｎｔ Ｌｉｍｉｔｅｄ ｂｙ Ｄｉｆｆｕｓｉｏｎ，Ｇｅｎｅｒａｔｉｏｎ Ｒｅｃｏｍｂｉｎａｔｉｏｎ，ａｎｄ Ｔｕｎｎｅｌｉｎｇ”、ＩＥＥＥ ＪＯＵＲＮＡＬ ＯＦ ＱＵＡＮＴＵＭ ＥＬＥＣＴＲＯＮＩＣＳ、ＶＯＬ．ＱＥ－１７，ＮＯ．２、ＦＥＢＲＵＡＲＹ １９８１、ｐ．２１７－２２６

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子においては、感度が十分に向上せず、かつ暗電流が増加するという問題が生じる場合がある。そこで、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を低減することが可能な半導体積層体、受光素子および半導体積層体の製造方法を提供することを目的の１つとする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明に従った半導体積層体は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導

電型が第１導電型である第１導電型層と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層と、を備える。第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層は、この順に積層される。量子井戸受光層の厚みは０．５μｍ以上である。量子井戸受光層におけるキャリア濃度は１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。

[0007] 本発明に従った半導体積層体の製造方法は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型である第１導電型層を形成する工程と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層を形成する工程と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層を形成する工程と、を備える。第１導電型層を形成する工程、量子井戸受光層を形成する工程および第２導電型層を形成する工程は、この順で実施され、第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層は、この順に積層される。量子井戸受光層は、厚みが０．５μｍ以上であり、キャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となるように形成される。

発明の効果

[0008] 上記半導体積層体および上記半導体積層体の製造方法によれば、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態１における半導体積層体の構造を示す概略断面図である。

[図2]実施の形態１における受光素子の構造を示す概略断面図である。

[図3]実施の形態１における半導体積層体および受光素子の製造方法の概略を示すフローチャートである。

[図4]動作層形成工程の手順の概略を示すフローチャートである。

[図5]動作層形成工程の手順の第１変形例を示すフローチャートである。

[図6]動作層形成工程の手順の第２変形例を示すフローチャートである。

[図7]動作層形成工程の手順の第３変形例を示すフローチャートである。

[図8]実施の形態１における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

[図9]実施の形態１における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

[図10]実施の形態１における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

[図11]実施の形態１における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

[図12]実施の形態２における半導体積層体の構造を示す概略断面図である。

[図13]実施の形態２における受光素子の構造を示す概略断面図である。

[図14]実施の形態４における受光素子およびセンサの構造を示す概略断面図である。

[図15]量子井戸受光層におけるキャリア濃度を変化させた場合の電圧と空乏層幅との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] ［本願発明の実施形態の説明］

最初に本願発明の実施態様を列記して説明する。本願の半導体積層体は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型である第１導電型層と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層と、を備える。第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層は、この順に積層される。量子井戸受光層の厚みは０．５μｍ以上である。量子井戸受光層におけるキャリア濃度は１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。

[0011] 本発明者らは、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子において感度が十分に向上せず、かつ暗電流が増加する原因について検討を行った。その結果、感度の低下および暗電流の増加は、量子井戸受光層の厚みと量子井戸受光層におけるキャリア濃度とに依存しているとの知見を得た。具体的には、キャリア濃度を１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下とすることにより暗

電流を許容可能な範囲に抑制することができる。また、上記キャリア濃度が達成されると、通常の動作電圧の下において十分な空乏層幅が確保される。そして、十分な空乏層幅が確保されている条件下において量子井戸受光層の厚みを０．５μｍ以上とすることにより、感度を許容可能な範囲とすることができる。

[0012] 本願の半導体積層体においては、量子井戸受光層におけるキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であり、かつ受光層の厚みは０．５μｍ以上である。そのため、本願の半導体積層体によれば、これを用いて受光素子を製造することにより、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を低減することができる。

[0013] 上記半導体積層体において、量子井戸受光層の厚みは１．５μｍ以上であってもよい。量子井戸受光層におけるキャリア濃度は１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下であってもよい。このようにすることにより、一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0014] 上記半導体積層体において、量子井戸受光層の厚みは２．０μｍ以上であってもよい。量子井戸受光層におけるキャリア濃度は７×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$以下であってもよい。このようにすることにより、一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0015] 上記半導体積層体の上記量子井戸受光層において、第１導電型のキャリアを生成する第１導電型不純物の濃度および第２導電型のキャリアを生成する第２導電型不純物の濃度は、いずれも１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であってもよい。

[0016] キャリア濃度は、ｐ型不純物濃度とｎ型不純物濃度の差となるため、キャリア濃度が不純物濃度を超えることはない。第１導電型不純物の濃度および第２導電型不純物の濃度を、いずれも１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下とすることにより、量子井戸受光層における上記キャリア濃度を容易に達成することができる。その結果、受光素子の感度をさらに向上させ、暗電流を低減することができる

[0017] 上記半導体積層体において、第１導電型不純物がｐ型不純物の場合、第１導電型層はｐ型層となる。このｐ型層の量子井戸受光層側の主面である第１主面を含む領域には、ｐ型不純物の濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下である低ｐ型濃度領域が形成されており、低ｐ型濃度領域の厚みは５０ｎｍ以上であってもよい。厚み５０ｎｍ以上の上記低ｐ型濃度領域を形成することにより、量子井戸受光層内へのｐ型不純物の混入を抑制でき、さらに一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0018] 第１導電型をｐ型、第２導電型をｎ型として半導体積層体を製造する場合、基板上にｐ型層を形成した後、量子井戸受光層を形成することとなる。ｐ型層および量子井戸受光層の形成は、同一の炉内において原料ガスを変更することにより引き続いて実施することができる。そして、ｐ型層に添加する目的でｐ型層形成時に導入されたｐ型不純物が炉内に残存し、量子井戸受光層形成時に量子井戸受光層にｐ型不純物が混入し易い。また、量子井戸受光層の形成後には、引き続きｎ型層が形成される。このとき、ｐ型層上に量子井戸受光層が形成された積層体がｎ型層の形成に適した温度に加熱される。この加熱に伴い、ｐ型層から量子井戸受光層へｐ型不純物が拡散し易い。ｐ型層の量子井戸受光層側の主面である第１主面を含む領域に、ｐ型不純物の濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下で厚みが５０ｎｍ以上の低ｐ型濃度領域を形成することにより、量子井戸受光層内へのｐ型不純物の混入や拡散を抑制できる。たとえば、量子井戸受光層内のｐ型不純物の濃度を５×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下にすることが容易となる。その結果、より一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0019] 上記半導体積層体の上記量子井戸受光層において、第１導電型のキャリアを生成する第１導電型不純物および第２導電型のキャリアを生成する第２導電型不純物の一方が、１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$を超える濃度で含まれ、第１導電型不純物および第２導電型不純物の他方が、上記一方の濃度との差が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下の濃度で含まれてもよい。

[0020] 量子井戸受光層においてｐ型不純物およびｎ型不純物の一方が１×１０^{16}

ｃｍ$^{-3}$を超えている場合でも、ｐ型不純物およびｎ型不純物の他方を量子井戸受光層内に導入することにより、量子井戸受光層における上記キャリア濃度を達成することができる。

[0021] 上記半導体積層体において、第１導電型不純物および第２導電型不純物の一方はＳｉ（珪素）、Ｓ（硫黄）、Ｓｅ（セレン）、Ｇｅ（ゲルマニウム）およびＴｅ（テルル）からなる群から選択される一種以上であり、他方はＺｎ（亜鉛）、Ｂｅ（ベリリウム）、Ｍｇ（マグネシウム）およびＣ（炭素）からなる群から選択される一種以上であってもよい。これらの不純物は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる第１導電型層および第２導電型層に含まれるｐ型不純物またはｎ型不純物として好適である。

[0022] 上記半導体積層体において、量子井戸受光層はタイプＩＩ型の量子井戸構造であってもよい。このようにすることにより、半導体積層体を赤外域の光に対応する受光素子に適したものとすることが容易となる。

[0023] 上記半導体積層体において、量子井戸受光層は、$In_xGa_{1-x}As$（インジウムガリウム砒素；ｘは０．３８以上１以下）層と$GaAs_{1-y}Sb_y$（ガリウム砒素アンチモン；ｙは０．３６以上１以下）層とのペア、または$Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$（ガリウムインジウム窒素砒素；ｕは０．４以上０．８以下、ｖは０を超え０．２以下）層と$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上０．６２以下）層とのペアを含む多重量子井戸構造であってもよい。このようにすることにより、半導体積層体を、近赤外域から中赤外域の光に対応する受光素子に適したものとすることが容易となる。

[0024] 上記半導体積層体は、第１導電型層から見て量子井戸受光層とは反対側に位置する基板をさらに含んでいてもよい。この基板は、ＧａＡｓ（ガリウム砒素）、ＧａＰ（ガリウムリン）、ＧａＳｂ（ガリウムアンチモン）、ＩｎＰ（インジウムリン）、ＩｎＡｓ（インジウム砒素）、ＩｎＳｂ（インジウムアンチモン）、ＡｌＳｂ（アルミニウムアンチモン）、またはＡｌＡｓ（アルミニウム砒素）からなっていてもよい。これにより、近赤外域から中赤外域の光の検知に適した上記多重量子井戸構造を量子井戸受光層として採用

することが容易となる。

[0025] 上記半導体積層体において、第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層が再成長界面を形成することなく積層されていてもよい。これにより、暗電流をより確実に抑制することができる。なお、再成長界面は、酸素、水素および炭素から選択される少なくとも一種の元素が集積した界面である。

[0026] 上記半導体積層体において、第１導電型層と量子井戸受光層との界面、および量子井戸受光層と第２導電型層との界面における、酸素の濃度、炭素の濃度および水素の濃度は、いずれも１×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下であってもよい。これにより、暗電流をより確実に抑制することができる。

[0027] 本願の受光素子は、上記半導体積層体と、半導体積層体上に形成された電極と、を備える。本願の受光素子は、上記本願の半導体積層体を含んでいる。そのため、本願の受光素子によれば、感度を向上させるとともに、暗電流を低減することができる。

[0028] 本願の半導体積層体の製造方法は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型である第１導電型層を形成する工程と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層を形成する工程と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層を形成する工程と、を備える。第１導電型層を形成する工程、量子井戸受光層を形成する工程および第２導電型層を形成する工程は、この順で実施され、第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層は、この順に積層される。量子井戸受光層は、その厚みが０．５μｍ以上であり、キャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となるように形成される。

[0029] 本願の半導体積層体の製造方法においては、量子井戸受光層が、その厚みが０．５μｍ以上であり、キャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となるように形成される。そのため、本願の半導体積層体の製造方法によれば、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を低減することが可能な半導体積層体を製造することができ

る。

[0030] 上記半導体積層体の製造方法において、第１導電型層を形成する工程、量子井戸受光層を形成する工程および第２導電型層を形成する工程は、第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層が再成長界面を形成することなく積層されるように実施されてもよい。これにより、暗電流をより確実に抑制することができる。

[0031] 上記半導体積層体の製造方法において、第１導電型層を形成する工程、量子井戸受光層を形成する工程および第２導電型層を形成する工程は、有機金属気相成長法により実施されてもよい。このようにすることにより、優れた品質の結晶からなる第１導電型層、量子井戸受光層および第２導電型層を形成することが容易となる。

[0032] 上記半導体積層体の製造方法は、量子井戸受光層を形成する工程よりも前に、量子井戸受光層を形成する工程を実施するための成長室の内部をコーティングする工程をさらに備えていてもよい。このようにすることにより、成長室を構成する部材から離脱した不純物が量子井戸受光層内に混入することを抑制することができる。

[0033] 上記半導体積層体の製造方法は、量子井戸受光層を形成する工程よりも前に、量子井戸受光層を形成する工程を実施するための成長室の内部を６００℃以上に加熱してベーキングする工程をさらに備えていてもよい。このようにすることにより、成長室を構成する部材から離脱した不純物が量子井戸受光層内に混入することを抑制することができる。

[0034] 上記半導体積層体の製造方法は、量子井戸受光層を形成する工程よりも前に、量子井戸受光層を形成する工程を実施するための成長室の内部に配置される部材を洗浄する工程をさらに備えていてもよい。このようにすることにより、成長室を構成する部材から離脱した不純物が量子井戸受光層内に混入することを抑制することができる。

[0035] ［本願発明の実施形態の詳細］

（実施の形態１）

次に、本発明にかかる半導体積層体の一実施の形態である実施の形態１を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

[0036] 図１を参照して、本実施の形態における半導体積層体１０は、基板２０と、第１導電型層としてのバッファ層３０と、量子井戸受光層としての量子井戸構造４０と、第２導電型層としてのコンタクト層５０とを備えている。

[0037] 基板２０は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなっている。また、基板２０の直径は５０ｍｍ以上であり、たとえば３インチである。基板２０を構成するＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体としては、たとえばＧａＡｓ、ＧａＰ、ＧａＳｂ、ＩｎＰ、ＩｎＡｓ、ＩｎＳｂ、ＡｌＳｂ、ＡｌＡｓなどを採用することができる。これらのＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる基板２０を採用することにより、赤外光用の受光素子の製造に適した半導体積層体１０を得ることができる。具体的には、たとえば導電型がｎ型であるＩｎＰ（ｎ－ＩｎＰ）が、基板２０を構成する化合物半導体として採用される。基板２０に含まれるｎ型不純物としては、たとえばＳ（硫黄）などを採用することができる。基板２０の直径は、半導体積層体１０を用いた半導体装置（受光素子）の生産効率および歩留りの向上を目的として、８０ｍｍ以上（たとえば４インチ）とすることができ、さらに１０５ｍｍ以上（たとえば５インチ）、さらに１３０ｍｍ以上（たとえば６インチ）とすることができる。

[0038] バッファ層３０は、基板２０の一方の主面２０Ａ上に接触するように配置された半導体層である。バッファ層３０は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなっている。バッファ層３０を構成するＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体としては、たとえばＧａＳｂ、ＡｌＳｂ（アルミニウムアンチモン）、ＩｎＳｂ（インジウムアンチモン）といった２元系、およびＩｎＧａＡｓ（インジウムガリウム砒素）、ＩｎＧａＳｂ（インジウムガリウムアンチモン）、ＡｌＩｎＳｂ（アルミニウムインジウムアンチモン）、ＡｌＧａＳｂ（アルミニウムガリウムアンチモン）といった３元系の材料などを採用することができる。具体的には、たとえば導電型がｐ型であるＩｎＧａＡｓ（ｐ－ＩｎＧａＡｓ

）が、バッファ層３０を構成する化合物半導体として採用される。バッファ層３０に含まれるｐ型不純物としては、たとえばＣ（炭素）、Ｂｅ（ベリリウム）、Ｍｇ（マグネシウム）、Ｚｎ（亜鉛）などを採用することができる。

[0039] 量子井戸構造４０は、バッファ層３０の、基板２０に面する側とは反対側の第１主面３０Ａ上に接触するように配置されている。量子井戸構造４０は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる２つの要素層が交互に積層された構造を有している。より具体的には、量子井戸構造４０は、第１要素層４１と第２要素層４２とが交互に積層された構造を有している。第１要素層４１を構成する材料としては、たとえば$In_xGa_{1-x}As$（ｘは０．３８以上１以下）を採用することができる。また、第２要素層４２を構成する材料としては、たとえばＶ族元素としてＳｂを含む$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上１以下）（ガリウム砒素アンチモン）を採用することができる。なお、第１要素層４１および第２要素層４２を構成する材料は、上記材料に限られず、たとえば第１要素層４１を構成する材料としては、$Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$（ｕは０．４以上０．８以下、ｖは０を超え０．２以下）（ガリウムインジウム窒素砒素）を採用し、第２要素層４２を構成する材料としては、たとえばＶ族元素としてＳｂを含む$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上０．６２以下）を採用することができる。

[0040] このように、量子井戸受光層として$In_xGa_{1-x}As$（ｘは０．３８以上１以下）層と$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上１以下）層とのペア、または$Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$（ｕは０．４以上０．８以下、ｖは０を超え０．２以下）層と$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上０．６２以下）層とのペアを含む多重量子井戸構造を採用することにより、近赤外域から中赤外域の光の検知に適した受光素子の製造に使用可能な半導体積層体１０を得ることができる。

[0041] また、第１要素層４１を構成する材料としてＩｎＡｓを採用し、第２要素層４２を構成する材料としてＧａＳｂを採用してもよい。このように量子井

戸受光層としてＩｎＡｓ層とＧａＳｂ層とのペアを含む多重量子井戸構造を採用することにより、波長４～１２μｍの赤外線の検知に適した受光素子の製造に使用可能な半導体積層体１０を得ることができる。

[0042] なお、量子井戸構造４０の歪を補償するために、量子井戸構造４０を構成する単位構造を、第１要素層４１および第２要素層４２に歪補償層を加えたものとしてもよい。また、本実施の形態においては、量子井戸構造４０は多重量子井戸構造であるが、これに代えて単一量子井戸構造を採用することもできる。

[0043] 図１を参照して、コンタクト層５０は、量子井戸構造４０の、バッファ層３０に面する側とは反対側の主面４０Ａ上に接触するように配置されている。コンタクト層５０は、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなっている。

[0044] コンタクト層５０を構成するＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体としては、たとえばＩｎＰ、ＩｎＡｓ、ＧａＳｂ、ＧａＡｓ、ＩｎＧａＡｓ（インジウムガリウム砒素）などを採用することができる。具体的には、たとえば導電型がｎ型であるＩｎＰ（ｎ－ＩｎＰ）が、コンタクト層５０を構成する化合物半導体として採用される。コンタクト層５０に含まれるｎ型不純物としては、たとえばＳｉ、Ｓ、Ｓｅ、Ｇｅ、Ｔｅなどを採用することができる。

[0045] そして、本実施の形態の半導体積層体１０の量子井戸受光層である量子井戸構造４０の厚みは０．５μｍ（５００ｎｍ）以上である。具体的には、第１要素層４１および第２要素層４２の厚みは、たとえばそれぞれ３ｎｍとすることができる。そして、量子井戸構造４０は、第１要素層４１と第２要素層４２とからなる単位構造が、たとえば１００組積層されたものとすることができる。すなわち、量子井戸構造４０の厚みは、たとえば６００ｎｍとすることができる。量子井戸構造４０は、このような構造を有するタイプＩＩ量子井戸とすることができる。さらに、量子井戸構造４０において、キャリア濃度は$1\times10^{16}cm^{-3}$以下である。そのため、本実施の形態の半導体積層体１０を用いて受光素子を製造することにより、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を

低減することができる。

[0046] また、本実施の形態の半導体積層体１０の量子井戸構造４０において、ｐ型のキャリアを生成するｐ型不純物の濃度およびｎ型のキャリアを生成するｎ型不純物の濃度は、いずれも１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。これにより、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となっている。

[0047] 半導体積層体１０において、量子井戸構造４０の厚みは１．５μｍ以上であることが好ましい。また、量子井戸構造４０において、キャリア濃度は１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。このようにすることにより、一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0048] 量子井戸構造４０において、ｐ型のキャリアを生成するｐ型不純物の濃度およびｎ型のキャリアを生成するｎ型不純物の濃度は、いずれも１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。これにより、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度を１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下とすることが容易となる。

[0049] 半導体積層体１０において、量子井戸構造４０の厚みは２．０μｍ以上であることが好ましい。また、量子井戸構造４０において、キャリア濃度は７×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。このようにすることにより、一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0050] 量子井戸構造４０において、ｐ型のキャリアを生成するｐ型不純物の濃度およびｎ型のキャリアを生成するｎ型不純物の濃度は、いずれも７×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。これにより、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度を７×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$以下とすることが容易となる。

[0051] 半導体積層体１０において、バッファ層３０、量子井戸構造４０およびコンタクト層５０が再成長界面を形成することなく基板２０上に積層されていることが好ましい。これにより、暗電流をより確実に抑制することができる。

[0052] 半導体積層体１０において、バッファ層３０と量子井戸構造４０との界面、および量子井戸構造４０とコンタクト層５０との界面における、酸素の濃

度、炭素の濃度および水素の濃度は、いずれも１×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。これにより、暗電流をより確実に抑制することができる。

[0053] また、半導体積層体１０において、バッファ層３０、量子井戸構造４０およびコンタクト層５０は有機金属気相成長法により形成されていることが好ましい。これにより、高品質な結晶からなる半導体積層体１０を得ることが容易となる。

[0054] 次に、上記半導体積層体１０を用いて作製される受光素子の一例である赤外線受光素子（フォトダイオード）について説明する。図２を参照して、本実施の形態における赤外線受光素子１は、上記本実施の形態の半導体積層体１０を用いて作製されたものであって、半導体積層体１０と同様に積層された基板２０と、バッファ層３０と、量子井戸構造４０と、コンタクト層５０とを備えている。そして、赤外線受光素子１には、コンタクト層５０および量子井戸構造４０を貫通し、バッファ層３０に到達するトレンチ９９が形成されている。すなわち、トレンチ９９の側壁９９Ａにおいて、コンタクト層５０および量子井戸構造４０が露出している。また、トレンチ９９の底壁９９Ｂは、バッファ層３０内に位置している。つまり、トレンチ９９の底壁９９Ｂにおいてバッファ層３０が露出している。

[0055] さらに、赤外線受光素子１は、パッシベーション膜８０と、ｐ側電極９１と、ｎ側電極９２とを備えている。パッシベーション膜８０はトレンチ９９の底壁９９Ｂ、トレンチ９９の側壁９９Ａおよびコンタクト層５０において量子井戸構造４０に面する側とは反対側の主面５０Ａを覆うように配置されている。パッシベーション膜８０は、窒化珪素、酸化珪素などの絶縁体からなっている。

[0056] トレンチ９９の底壁９９Ｂを覆うパッシベーション膜８０には、パッシベーション膜８０を厚み方向に貫通するように開口部８１が形成されている。そして、開口部８１を充填するようにｐ側電極９１が配置されている。ｐ側電極９１は、開口部８１から露出するバッファ層３０に接触するように配置されている。ｐ側電極９１は金属などの導電体からなっている。より具体的

には、ｐ側電極９１は、たとえばＴｉ（チタン）／Ｐｔ（白金）／Ａｕ（金）からなるものとすることができる。ｐ側電極９１は、バッファ層３０に対してオーミック接触している。

[0057] コンタクト層５０の主面５０Ａを覆うパッシベーション膜８０には、パッシベーション膜８０を厚み方向に貫通するように開口部８２が形成されている。そして、開口部８２を充填するようにｎ側電極９２が配置されている。ｎ側電極９２は、開口部８２から露出するコンタクト層５０に接触するように配置されている。ｎ側電極９２は金属などの導電体からなっている。より具体的には、ｎ側電極９２は、たとえばＴｉ／Ｐｔ／Ａｕからなるものとすることができる。ｎ側電極９２は、コンタクト層５０に対してオーミック接触している。

[0058] この赤外線受光素子１に赤外線が入射すると、量子井戸構造４０内の量子準位間で赤外線が吸収され、電子と正孔とのペアが生成する。そして、生成した電子と正孔とが光電流信号として赤外線受光素子１から取り出されることにより、赤外線が検出される。

[0059] なお、上記ｎ側電極９２は画素電極である。そして、上記赤外線受光素子１は、図２に示すように画素電極であるｎ側電極９２が１つだけ含まれるものであってもよいし、複数の画素電極（ｎ側電極９２）を含むものであってもよい。具体的には、赤外線受光素子１は、図２に示す構造を単位構造とし、当該単位構造が、図２において基板２０の一方の主面２０Ａが延在する方向に複数繰り返される構造を有していてもよい。この場合、赤外線受光素子１は、画素に対応する複数のｎ側電極９２を有する一方で、ｐ側電極９１については１つだけ配置される。このような構造については、後述の実施の形態４において説明する。

[0060] 本実施の形態の赤外線受光素子１は、上記本実施の形態の半導体積層体１０を含んでいる。そのため、赤外線受光素子１は、感度が向上するとともに暗電流が低減された受光素子となっている。

[0061] 次に、図３～図１１を参照して、本実施の形態における半導体積層体１０

および赤外線受光素子１の製造方法の概要について説明する。

[0062] 図３を参照して、本実施の形態における半導体積層体１０および赤外線受光素子１の製造方法では、まず工程（Ｓ１０）として基板準備工程が実施される。この工程（Ｓ１０）では、図８を参照して、たとえば直径２インチ（５０．８ｍｍ）のＩｎＰからなる基板２０が準備される。より具体的には、ＩｎＰからなるインゴットをスライスすることにより、ＩｎＰからなる基板２０が得られる。この基板２０の表面が研磨された後、洗浄等のプロセスを経て主面２０Ａの平坦性および清浄性が確保された基板２０が準備される。

[0063] 次に、工程（Ｓ２０）として動作層形成工程が実施される。この工程（Ｓ２０）では、工程（Ｓ１０）において準備された基板２０の主面２０Ａ上に、動作層であるバッファ層３０、量子井戸構造４０およびコンタクト層５０が形成される。この動作層の形成は、たとえば有機金属気相成長により実施することができる。有機金属気相成長による動作層の形成は、たとえば基板加熱用のヒータを備えた回転テーブル上に基板２０を載置し、基板２０をヒータにより加熱しつつ基板上に原料ガスを供給することにより実施することができる。工程（Ｓ２０）は、図４を参照して、バッファ層形成工程（Ｓ２１）、量子井戸受光層形成工程（Ｓ２２）およびコンタクト層形成工程（Ｓ２３）を含む。

[0064] 工程（Ｓ２０）においては、まず工程（Ｓ２１）が実施される。具体的には、図８を参照して、まず基板２０の主面２０Ａ上に接触するように、たとえばＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体であるｐ－ＩｎＧａＡｓからなるバッファ層３０が有機金属気相成長により形成される。ｐ－ＩｎＧａＡｓからなるバッファ層３０の形成では、Ｉｎの原料としてたとえばＴＭＩｎ（トリメチルインジウム）、ＴＥＩｎ（トリエチルインジウム）などを用いることができ、Ｇａの原料としてたとえばＴＥＧａ（トリエチルガリウム）、ＴＭＧａ（トリメチルガリウム）などを用いることができ、Ａｓの原料としてたとえばＴＢＡｓ（ターシャリーブチルアルシン）、ＴＭＡｓ（トリメチル砒素）などを用いることができる。また、ｐ型不純物としてＣを添加する場合、たとえ

ばＣＢｒ$_4$（四臭化炭素）、ＣＣｌ$_4$（四塩化炭素）などを原料ガスに添加することができる。ｐ型不純物としてＺｎを添加する場合、たとえばＤＭＺｎ（ジメチル亜鉛）、ＤＥＺｎ（ジエチル亜鉛）を原料ガスに添加することができる。

[0065] 次に、工程（Ｓ２２）が実施される。具体的には、図８および図９を参照して、バッファ層３０の、基板２０に面する側とは反対側の第１主面３０Ａ上に接触するように、たとえばＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体である$In_xGa_{1-x}As$（ｘは０．３８以上１以下）からなる第１要素層４１と、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体である$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上１以下）からなる第２要素層４２とが交互に積層して形成されることにより、量子井戸構造４０が形成される。量子井戸構造４０の形成は、上記バッファ層３０の形成に引き続いて有機金属気相成長により実施することができる。すなわち、量子井戸構造４０の形成は、バッファ層３０の形成の際に用いた装置内に基板２０を配置した状態で、原料ガスを変更することにより実施することができる。量子井戸構造４０は、厚みが０．５μｍ以上、キャリア濃度が$1\times10^{16}cm^{-3}$以下となるように形成される。

[0066] $In_xGa_{1-x}As$（ｘは０．３８以上１以下）からなる第１要素層４１の形成では、Ｉｎの原料としてたとえばＴＭＩｎ、ＴＥＩｎなどを用いることができ、Ｇａの原料としてたとえばＴＥＧａ、ＴＭＧａなどを用いることができ、Ａｓの原料としてたとえばＴＢＡｓ、ＴＭＡｓなどを用いることができる。$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上１以下）からなる第２要素層４２の形成では、Ｇａの原料としてたとえばＴＥＧａ、ＴＭＧａなどを用いることができ、Ａｓの原料としてたとえばＴＢＡｓ、ＴＭＡｓなどを用いることができ、Ｓｂの原料としてたとえばＴＭＳｂ（トリメチルアンチモン）、ＴＥＳｂ（トリエチルアンチモン）、ＴＩＰＳｂ（トリイソプロピルアンチモン）、ＴＤＭＡＳｂ（トリジメチルアミノアンチモン）、ＴＴＢＳｂ（トリターシャリーブチルアンチモン）などを用いることができる。第１要素層４１および第２要素層４２は、たとえばそれぞれ厚みを３ｎｍとし、第１要

素層４１と第２要素層４２とからなる単位構造が、たとえば１００組積層するように形成することができる。これにより、タイプＩＩ量子井戸である量子井戸構造４０を形成することができる。

[0067] 次に、工程（Ｓ２３）が実施される。具体的には、図９および図１を参照して、量子井戸構造４０の、バッファ層３０に面する側とは反対側の主面４０Ａ上に接触するように、たとえばＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体であるｎ－ＩｎＰからなるコンタクト層５０が形成される。コンタクト層５０の形成は、上記量子井戸構造４０の形成に引き続いて有機金属気相成長により実施することができる。すなわち、コンタクト層５０の形成は、量子井戸構造４０の形成の際に用いた装置内に基板２０を配置した状態で、原料ガスを変更することにより実施することができる。ｎ型不純物としてＳｉを添加する場合、たとえばＴｅＥＳｉ（テトラエチルシラン）を原料ガスに添加することができる。

[0068] 以上の手順により、本実施の形態における半導体積層体１０が完成する。上述のように、工程（Ｓ２０）を有機金属気相成長により実施することにより、半導体積層体１０の生産効率を向上させることができる。なお、工程（Ｓ２０）は有機金属原料のみを用いた有機金属気相成長法（全有機金属気相成長法）に限られず、たとえばＡｓの原料にAsH_3（アルシン）、Ｓｉの原料にSiH_4（シラン）などの水素化物を用いた有機金属気相成長法で実施してもよいが、全有機金属気相成長法を採用することにより、高品質な結晶からなる半導体積層体１０を得ることができる。また、有機金属気相成長以外の方法により実施することも可能であって、たとえばＭＢＥ（Ｍｏｌｅｃｕｌａｒ Ｂｅａｍ Ｅｐｉｔａｘｙ）法を用いてもよい。

[0069] また、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）は、上述のように、装置内に基板２０を配置した状態で、原料ガスを変更することにより連続的に実施されることが好ましい。すなわち、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）は、バッファ層３０、量子井戸構造４０およびコンタクト層５０が再成長界面を形成することなく積層されるように実施されることが好ましい。これにより、暗電流をより確

実に抑制することができる。

[0070] なお、工程（Ｓ２０）において量子井戸構造４０におけるｐ型不純物の濃度およびｎ型不純物の濃度をいずれも１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下とすることを容易にする観点から、工程（Ｓ２０）を以下の変形例に従って実施してもよい。

[0071] ＜変形例１＞

図５を参照して、変形例１においては、まず工程（Ｓ２１Ａ）としてコーティング工程が実施される。この工程（Ｓ２１Ａ）では、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）を実施するための成長室の内部がコーティングされる。具体的には、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）を実施する前に、成長室に、たとえばＧａＡｓの原料ガスを流して成長室内をＧａＡｓによりコーティングする。その後、上述のように工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）が実施される。このようにすることにより、成長室の内部に配置される部材および成長室の内壁を構成する材料であるＣ、ＳｉO_2（二酸化珪素）、Ａｌ$_2O_3$（酸化アルミニウム）に由来するＣ、Ｓｉ、Ｏなどの不純物が量子井戸構造４０に混入することが抑制される。その結果、量子井戸構造４０におけるｐ型不純物の濃度およびｎ型不純物の濃度をいずれも１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下とすることが容易となる。ｐ型不純物およびｎ型不純物の濃度が低減されることで、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度を容易に１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下とすることができる。なお、コーティング材料は上記ＧａＡｓに限られず、たとえばＩｎＰ、ＩｎＧａＡｓ、ＡｌＧａＡｓ、ＩｎＡｓ、ＧａＰ、ＧａＳｂなど種々の材料を採用することができる。

[0072] ＜変形例２＞

図６を参照して、変形例２においては、まず工程（Ｓ２１Ｂ）としてベーキング工程が実施される。この工程（Ｓ２１Ｂ）では、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）を実施するための成長室の内部が６００℃以上に加熱されてベーキングされる。具体的には、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）を実施する前に、成長室内が工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）における温度よりも高い温度、たとえ

ば６５０℃に加熱される。このとき、成長室内には、たとえばＡｒなどの不活性ガスが導入される。その後、上述のように工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）が実施される。このようにすることにより、成長室の内部に配置される部材および成長室の内壁に付着している不純物が工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）において離脱して量子井戸構造４０に混入することが抑制される。その結果、量子井戸構造４０におけるｐ型不純物の濃度およびｎ型不純物の濃度をいずれも$1\times10^{16}cm^{-3}$以下とすることが容易となる。ｐ型不純物およびｎ型不純物の濃度が低減されることで、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度を容易に$1\times10^{16}cm^{-3}$以下とすることができる。

[0073] ＜変形例３＞

図７を参照して、変形例３においては、まず工程（Ｓ２１Ｃ）として洗浄工程が実施される。この工程（Ｓ２１Ｃ）では、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）を実施するための成長室の内部に配置される部材が洗浄される。具体的には、工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）を実施する前に、成長室内において原料ガスと接触する部材（サセプタ等）を王水、塩酸、リン酸等で洗浄する。その後、上述のように工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）が実施される。このようにすることにより、成長室の内部に配置される部材に付着している不純物が工程（Ｓ２１）～（Ｓ２３）において離脱して量子井戸構造４０に混入することが抑制される。その結果、量子井戸構造４０におけるｐ型不純物の濃度およびｎ型不純物の濃度をいずれも$1\times10^{16}cm^{-3}$以下とすることが容易となる。ｐ型不純物およびｎ型不純物の濃度が低減されることで、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度を容易に$1\times10^{16}cm^{-3}$以下とすることができる。

[0074] 次に、図３を参照して、工程（Ｓ３０）としてトレンチ形成工程が実施される。この工程（Ｓ３０）では、図１および図１０を参照して、上記工程（Ｓ１０）～（Ｓ２０）において作製された半導体積層体１０に、コンタクト層５０および量子井戸構造４０を貫通し、バッファ層３０に到達するトレンチ９９が形成される。トレンチ９９は、たとえばコンタクト層５０の主面５

０Ａ上にトレンチ９９の形状に対応する開口を有するマスク層を形成した上で、エッチングを実施することにより形成することができる。

[0075] 次に、工程（Ｓ４０）としてパッシベーション膜形成工程が実施される。この工程（Ｓ４０）では、図１０および図１１を参照して、工程（Ｓ３０）においてトレンチ９９が形成された半導体積層体１０に対し、パッシベーション膜８０が形成される。具体的には、たとえばＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖａｐｏｒ Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）により酸化珪素、窒化珪素などの絶縁体からなるパッシベーション膜８０が形成される。パッシベーション膜８０は、トレンチ９９の底壁９９Ｂ、トレンチ９９の側壁９９Ａおよびコンタクト層５０において量子井戸構造４０に面する側とは反対側の主面５０Ａを覆うように形成される。

[0076] 次に、工程（Ｓ５０）として電極形成工程が実施される。この工程（Ｓ５０）では、図１１および図２を参照して、工程（Ｓ４０）においてパッシベーション膜８０が形成された半導体積層体１０に、ｐ側電極９１およびｎ側電極９２が形成される。具体的には、たとえばｐ側電極９１およびｎ側電極９２を形成すべき領域に対応する位置に開口を有するマスクをパッシベーション膜８０上に形成し、当該マスクを用いてパッシベーション膜８０に開口部８１，８２を形成する。その後、たとえば蒸着法により適切な導電体からなるｐ側電極９１およびｎ側電極９２を形成する。以上の工程により、本実施の形態における赤外線受光素子１が完成する。その後、たとえばダイシングにより各素子に分離される。

[0077] （実施の形態２）

次に、本発明にかかる半導体積層体および受光素子の他の実施の形態である実施の形態２について説明する。図１２は、実施の形態２における半導体積層体１０の構造を示す概略断面図である。また、図１３は、実施の形態２における赤外線受光素子１の構造を示す概略断面図である。図１２および図１３、ならびに図１および図２を参照して、本実施の形態の半導体積層体１０および赤外線受光素子１は、基本的には実施の形態１の場合と同様の構

造を有し、同様の効果を奏する。しかし、本実施の形態の半導体積層体１０および赤外線受光素子１は、バッファ層３０の構造において実施の形態１の場合とは異なっている。

[0078] 図１２および図１３を参照して、本実施の形態２における半導体積層体１０は、基板２０と、第１導電型層としてのｐ型バッファ層３０と、量子井戸受光層としての量子井戸構造４０と、第２導電型層としてのｎ型コンタクト層５０とを備えている。さらに、ｐ型バッファ層３０の量子井戸構造４０側の主面である第１主面３０Ａを含む領域に、ｐ型不純物の濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下で、かつ厚み５０ｎｍ以上の低ｐ型濃度領域３１を備える。上記低ｐ型濃度領域３１を形成することにより、量子井戸構造４０内へのｐ型不純物の混入や拡散を容易に抑制できる。たとえば、量子井戸構造４０内のｐ型不純物濃度を５×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下にすることが容易となる。その結果、さらに一層受光素子の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

また、図１３を参照して、トレンチ９９は低ｐ型濃度領域３１を貫通している。別の観点から説明すると、低ｐ型濃度領域３１は、隣り合うトレンチ９９に挟まれる領域に位置している。すなわち、トレンチ９９の底壁９９Ｂには低ｐ型濃度領域３１は露出しない。このようにすることにより、ｐ側電極９１とバッファ層３０とのオーミックコンタクトの確保が容易となる。なお、低ｐ型濃度領域３１は、バッファ層３０の形成の末期においてｐ型不純物を導入するための原料ガスの流量を低下させることにより形成することができる。

[0079] （実施の形態３）

次に、本発明にかかる半導体積層体および受光素子の他の実施の形態である実施の形態３について説明する。実施の形態３における半導体積層体および受光素子は、基本的には実施の形態１の場合と同様の構成を有し、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態３における半導体積層体および受光素子は、以下の構成を有することにより実施の形態１の場合とは異なっている。

[0080] 図１および図２を参照して、実施の形態３の半導体積層体１０および赤外

線受光素子１の量子井戸構造４０において、ｐ型不純物およびｎ型不純物の一方が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$を超える濃度で含まれ、ｐ型不純物およびｎ型不純物の他方が、上記一方の濃度との差が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下の濃度で含まれる。これにより、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度は１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となっている。

[0081] 量子井戸構造４０においてｐ型不純物およびｎ型不純物の一方が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$を超えている場合でも、ｐ型不純物およびｎ型不純物の他方が量子井戸構造４０内に存在することでキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となっている場合、暗電流を許容可能な範囲に抑制することができる。また、上記キャリア濃度が達成されると、通常の動作電圧の下において十分な空乏層幅が確保される。そして、十分な空乏層幅が確保されている条件下において量子井戸構造４０の厚みを０．５μｍ以上とすることにより、感度を許容可能な範囲とすることができる。

[0082] 本実施の形態の半導体積層体１０および赤外線受光素子１においては、量子井戸構造４０のキャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であり、かつ量子井戸構造４０の厚みは０．５μｍ以上である。そのため、本実施の形態の半導体積層体１０および赤外線受光素子１によれば、感度を向上させるとともに、暗電流を低減することができる。

[0083] 本実施の形態の半導体積層体１０および赤外線受光素子１において、量子井戸構造４０の厚みは１．５μｍ以上であることが好ましい。また、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度は１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。このようにすることにより、一層赤外線受光素子１の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0084] 本実施の形態の半導体積層体１０および赤外線受光素子１において、量子井戸構造４０の厚みは２．０μｍ以上であることが好ましい。また、量子井戸構造４０におけるキャリア濃度は７×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$以下であることが好ましい。このようにすることにより、一層赤外線受光素子１の感度を向上させ、暗電流を低減することができる。

[0085] なお、本実施の形態の量子井戸構造４０は、たとえば製造条件等の制約によりｐ型不純物の量子井戸構造４０への混入が不可避である場合、量子井戸構造４０の形成時に意図的にｎ型不純物を導入することにより形成することができる。

[0086] （実施の形態４）

次に、本発明にかかる受光素子の他の実施の形態である実施の形態４における受光素子およびセンサについて説明する。図１４および図２を参照して、実施の形態４の赤外線受光素子１は、図２に示す構造を単位構造とし、当該単位構造が、基板２０の一方の主面２０Ａが延在する方向に複数繰り返される構造を有している。そして、赤外線受光素子１は、画素に対応する複数のｎ側電極９２を有する。一方、ｐ側電極９１は１つだけ配置される。

[0087] より具体的には、図１４を参照して、実施の形態４の赤外線受光素子１のｐ側電極９１は、基板２０が延在する方向における末端に位置するトレンチ９９の底壁に形成されている。また、当該末端に位置するトレンチ９９に隣接するコンタクト層５０上のｎ側電極９２は省略される。本実施の形態における赤外線センサ１００は、このような構造を有する赤外線受光素子１と、赤外線受光素子１に電気的に接続された読み出し回路（Ｒｅａｄ－Ｏｕｔ Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｃｉｒｃｕｉｔ；ＲＯＩＣ）７０とを含んでいる。読み出し回路７０は、たとえばＣＭＯＳ（Ｃｏｍｐｌｅｍｅｎｔａｒｙ Ｍｅｔａｌ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）回路である。

[0088] 読み出し回路７０の本体７１に設けられた複数の読み出し電極（図示しない）と赤外線受光素子１において画素電極として機能する複数のｎ側電極９２とが、一対一の関係となるようにバンプ７３を介して電気的に接続されている。また、赤外線受光素子１には、ｐ側電極９１に接触し、ｐ側電極９１が位置するトレンチ９９の底壁および側壁に沿って延在するとともに、コンタクト層５０上にまで到達する配線７５が形成される。そして、配線７５と読み出し回路７０の本体７１に設けられた接地電極（図示しない）とがバンプ７２を介して電気的に接続されている。このような構造を有することによ

り、赤外線受光素子１の画素ごとの受光情報が各ｎ側電極９２（画素電極）から読み出し回路７０の読み出し電極へと出力され、当該受光情報が読み出し回路７０において集約されて、たとえば二次元の画像を得ることができる。

実施例 １

[0089] 量子井戸受光層における不純物濃度（キャリア濃度）および量子井戸受光層の厚みと暗電流および感度との関係を調査する実験を行った。実験の手順は以下の通りである。

[0090] 上記実施の形態１と同様の構造を有する赤外線受光素子１を作製した。基板２０を構成する化合物半導体はｎ－ＩｎＰ（不純物Ｓ）、バッファ層３０を構成する化合物半導体はｐ－ＩｎＧａＡｓ（不純物Ｚｎ）、量子井戸構造４０の第１要素層４１を構成する化合物半導体はＩｎＧａＡｓ、第２要素層４２を構成する化合物半導体はＧａＡｓＳｂ、コンタクト層５０を構成する化合物半導体はｎ－ＩｎＧａＡｓ（不純物Ｓｉ）とした。赤外線受光素子１において量子井戸受光層である量子井戸構造４０の厚みを変化させるとともに、量子井戸構造４０に含まれる不純物濃度を変化させた。不純物としてはＳｉを採用した。そして、Ｓｉの濃度を変化させた場合の電圧と空乏層幅との関係を調査した。また、Ｓｉの濃度および量子井戸構造４０の厚みを変化させた場合の暗電流および感度を測定した。不純物濃度はＳＩＭＳ（Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｅｒ）を用いて測定した。空乏層幅およびキャリア濃度は容量電圧測定により導出した。暗電流測定における素子サイズ（電流の流路の電流が流れる方向に垂直な断面）は直径２０μｍの円形、測定電圧は１．０Ｖ、測定温度は－５０℃とした。また、測定電圧が１．０Ｖ、測定温度が－５０℃、の条件の下、基板２０側から波長２．２μｍの光を入射させて、感度を測定した。なお、量子井戸構造４０内におけるＳｉ以外の不純物であるＳ、Ｓｅ、Ｇｅ、Ｔｅ（ｎ型不純物）、およびＺｎ、Ｂｅ、Ｍｇ、Ｃ（ｐ型不純物）の濃度を測定した結果、いずれも測定限界以下であった。すなわち、本実験において、不純物濃度と

キャリア濃度とは、等しいとみなすことができる。

[0091] 図１５は、量子井戸受光層（量子井戸構造４０）における不純物濃度（キャリア濃度）を変化させた場合の電圧と空乏層幅との関係を示す図である。不純物濃度（キャリア濃度）は５×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$（図１３において実線）から５×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$（図１３において細破線）の範囲で変化させた。図１５を参照して、不純物（Ｓｉ）の濃度が低くなるにしたがって、空乏層幅は大きくなり、感度の上昇が期待される。また、不純物濃度を１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下とすることにより、電圧１．０Ｖにおける空乏層幅を０．５μｍ以上とすることが可能となっている。

[0092] 表１は、量子井戸受光層（量子井戸構造４０）における不純物濃度（キャリア濃度）および量子井戸受光層の厚みと暗電流および感度との関係を示している。

[0093]

[表1]

厚み（μm）																	
	0.3		0.5		1.0		1.5		2.0		2.5						
不純物濃度（cm^{-3}）	暗電流（pA）	感度（A/W）	暗電流（pA）	感度（A/W）	暗電流（pA）	感度（A/W）	暗電流（pA）	感度（A/W）	暗電流（pA）	感度（A/W）	暗電流（pA）	感度（A/W）					
5×10^{16}	600	0.1					600	0.1			600	0.1					
	D	D					D	D			D	D					
1×10^{16}	140	0.1	140	0.5													
	C	D	C	C													
5×10^{15}							60	0.7									
							C	C									
1×10^{15}	12				12	0.7	12	1.0									
	B				B	C	B	B									
7×10^{14}	5	0.1	5	0.5					5	1.3							
	A	D	A	C					A	A							
5×10^{14}											3	1.6					
											A	A					

表１において、Ａ、Ｂ、ＣおよびＤは、暗電流および感度の評価を表して

いる。特に好ましい値が得られたものをＡ、好ましい結果が得られたものをＢ、許容可能は結果が得られたものをＣ、許容できない結果であったものをＤと評価した。具体的には、暗電流については５ｐＡ以下であったものをＡ、５０ｐＡ以下であったものをＢ、１５０ｐＡ以下であったものをＣ、１５０ｐＡを超えるものをＤと評価した。また、感度については、１．２Ａ／Ｗ以上であったものをＡ、０．８Ａ／Ｗ以上であったものをＢ、０．５Ａ／Ｗ以上であったものをＣ、０．５Ａ／Ｗ未満であったものをＤと評価した。なお、空欄は、当該条件に対応する実験を行わなかったことを表している。

[0094] 表１を参照して、暗電流については、量子井戸構造４０の厚みに関係なく、量子井戸構造４０内の不純物濃度が下がれば低減されている。一方、感度については、量子井戸構造４０内の不純物濃度を低減しつつ、量子井戸構造４０の厚みを大きくすることで上昇している。より具体的には、量子井戸構造４０内の不純物濃度を低減して空乏層幅を大きくするとともに、当該空乏層幅と同等以上の量子井戸構造の厚みを確保することで感度が上昇している。

[0095] そして、量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の厚みを０．５μｍ以上、かつ量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の不純物濃度（キャリア濃度）を$1\times10^{16}cm^{-3}$以下とすることにより、暗電流および感度の評価をいずれもＣ以上とすることが可能となっている。また、量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の厚みを１．５μｍ以上、かつ量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の不純物濃度（キャリア濃度）を$1\times10^{15}cm^{-3}$以下とすることにより、暗電流および感度の評価をいずれもＢ以上とすることが可能となっている。さらに、量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の厚みを２．０μｍ以上、かつ量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の不純物濃度（キャリア濃度）を$7\times10^{14}cm^{-3}$以下とすることにより、暗電流および感度の評価をいずれもＡ以上とすることが可能となっている。以上の実験結果より、本願の半導体積層体および赤外線受光素子によれば、ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を低減す

ることができることが確認される。

実施例 2

[0096] 不純物が混入した量子井戸受光層に導電型の異なるキャリアを生成する不純物を意図的に導入し、キャリア濃度を低下させることの効果を確認する実験を行った。具体的には、上記実施例１において作製した不純物（Ｓｉ）濃度５×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$、厚み１．５μｍのサンプル（サンプルＡ）と同様の構成においてさらに量子井戸受光層（量子井戸構造４０）にＺｎを濃度４．５×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$で導入し、キャリア濃度を５×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$に低減したサンプル（サンプルＢ）を作製し、実施例１と同様の条件で感度および暗電流を測定してサンプルＡと比較した。実験結果を表２に示す。感度および暗電流の評価基準は実施例１と同様である。なお、表２において、「－」は不純物濃度が測定限界以下であったことを示す。

[0097] [表2]

	サンプルA	サンプルB
厚み(μm)	1.5	1.5
Si濃度(cm^{-3})	5×10^{16}	5×10^{16}
Zn濃度(cm^{-3})	—	4.5×10^{16}
キャリア濃度(cm^{-3})	5×10^{16}	5×10^{15}
感度(A/W)	0.1	0.7
	D	C
暗電流(pA)	600	60
	D	C

表２を参照して、不純物としてＺｎを導入したサンプルＢは、サンプルＡに比べて感度が上昇し、暗電流が低減されている。このことから、不純物の混入が不可避な場合、不純物が混入した量子井戸受光層に導電型の異なるキャリアを生成する不純物を意図的に導入し、キャリア濃度を低下させることで、感度および暗電流を改善可能であることが確認される。

実施例 3

[0098] 上記実施の形態１の変形例１～３における追加的工程を実施することの効果を確認する実験を行った。具体的には、変形例１のコーティング工程を実

施するプロセス（サンプルＤに対応）、変形例２のベーキング工程（６５０℃、１時間）を実施するプロセス（サンプルＥに対応）および変形例３の洗浄工程を実施するプロセス（サンプルＦに対応）を実施し、これらを実施しなかったもの（サンプルＣに対応；バッファ層３０形成前の加熱：５５０℃、１時間）との間で得られた赤外線受光素子１の感度および暗電流を比較した。また、サンプルＣ、Ｄ、ＥおよびＦについて、量子井戸構造４０内のＳｉ、Ｃ、Ｚｎの濃度を測定した。実験結果を表３に示す。感度および暗電流の評価基準は実施例１と同様である。なお、表３において、「－」は不純物濃度が測定限界以下であったことを示す。

[0099] [表3]

	サンプルC	サンプルD	サンプルE	サンプルF
追加的工程	なし	コーティング	ベーキング（650℃）	洗浄
膜厚（μm）	2.5	2.5	2.5	2.5
Si濃度（cm^{-3}）	4×10^{16}	—	—	—
C濃度（cm^{-3}）	1×10^{17}	—	—	—
Zn濃度（cm^{-3}）	6×10^{15}	—	—	—
感度（A/W）	0.1	1.8	1.7	1.9
	D	A	A	A
暗電流（pA）	570	2.0	2.5	1.5
	D	A	A	A

表３を参照して、感度、暗電流ともに評価Ｄとなる赤外線受光素子（サンプルＣ）が得られた条件において、変形例１～３のコーティング、ベーキング、洗浄を実施することにより、感度および暗電流が大幅に改善している。これは、これらの追加的工程の実施によりＳｉ、ＣおよびＺｎを含む不純物の量子井戸構造への混入が抑制されたためであると考えられる。このことから、変形例１～３の追加的工程を実施することにより、感度および暗電流の大幅な改善が達成可能であることが確認される。

実施例 4

[0100] 上記実施の形態２における低ｐ型濃度領域３１形成の効果について確認する実験を行った。具体的には、実施の形態１と同様の構造においてバッファ

層３０に含まれるｐ型不純物がＣ（炭素）である赤外線受光素子１のサンプル１を準備した。また、実施の形態１と同様の構造においてバッファ層３０に低ｐ型濃度領域３１を形成したサンプル２～４を作製した。これらのサンプル２～４では、低ｐ型濃度領域３１のＣの濃度および厚みを表４に示すように変化させた。なお、いずれのサンプル１～４も量子井戸受光層（量子井戸構造４０）の厚みは０．６μｍ、量子井戸受光層（量子井戸構造４０）のキャリア濃度は１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であった。これらのサンプル１～４について、感度および暗電流密度を確認した。感度の測定は、電圧１．０Ｖ、室温の条件の下、基板２０側から２．２μｍの光を入射させて実施した。サンプル１は、感度０．８Ａ／Ｗ、暗電流密度２μＡ／ｃｍ^{2}を示した。サンプル２～４の実験結果は表４に示す。

[0101] [表4]

	サンプル２	サンプル３	サンプル４
低p型濃度領域の濃度（cm^{-3}）	5×10^{18}	5×10^{17}	5×10^{17}
低p型濃度領域の厚み（nm）	200	25	50
感度（A/W）	0.8	0.8	1.2
暗電流密度（$\mu A/cm^2$）	2	1	0.8

サンプル１とサンプル２～４（表４）を比較して、低ｐ型濃度領域３１のＣの濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$を超える５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$の場合、その厚みが２００ｎｍであっても低ｐ型濃度領域がない場合（サンプル１）に比べて感度の向上および暗電流の低減に対する効果は得られていない（感度０．８Ａ／Ｗ、暗電流密度２μＡ／ｃｍ^{2}）。また、低ｐ型濃度領域３１のＣの濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$であっても、その厚みが５０ｎｍ未満である２５ｎｍの場合、感度の向上および暗電流の低減に対する効果は十分であるとはいえない（感度０．８Ａ／Ｗ、暗電流密度１μＡ／ｃｍ^{2}）。これに対し、低ｐ型濃度領域３１のＣの濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$であり、かつその厚みが５０ｎｍである場合、より高い感度と、低い暗電流が達成されている（感度１．２Ａ／Ｗ、暗電流密度０．８μＡ／ｃｍ^{2}）。このことから、濃度５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以

下かつ厚み５０ｎｍ以上の低ｐ型濃度領域３１を形成することにより、さらに受光素子の感度を向上させるとともに、暗電流を低減することが可能であることが確認される。なお、本発明者は、バッファ層３０に含まれるｐ型不純物がＢｅの場合、Ｚｎの場合およびＭｇの場合、ｐ型不純物がＣである場合と同様の傾向を示すことを確認している。

[0102] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、どのような面からも制限的なものではないと理解されるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなく、請求の範囲によって規定され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。たとえば、上記実施の形態１，３および実施例１～３においては、第１導電型がｐ型であり、第２導電型がｎ型である場合について主に説明したが、第１導電型がｎ型であり、第２導電型がｐ型であってもよい。

産業上の利用可能性

[0103] 本願の半導体積層体、受光素子および半導体積層体の製造方法は、感度の向上および暗電流の低減が求められる半導体積層体、受光素子および半導体積層体の製造方法に、特に有利に適用され得る。

符号の説明

[0104] １　赤外線受光素子　　１０　半導体積層体

２０　基板　　２０Ａ　基板の主面

３０　バッファ層　　３０Ａ　バッファ層の第１主面　　３１　低ｐ型濃度領域

４０　量子井戸構造　　４０Ａ　量子井戸構造の主面

４１　第１要素層　　４２　第２要素層

５０　コンタクト層　　５０Ａ　コンタクト層の主面　　７０　読み出し回路

７１　本体　　７２，７３　バンプ　　７５　配線

８０　パッシベーション膜　　８１　開口部　　８２　開口部

９１　ｐ側電極　　９２　ｎ側電極

９９　トレンチ　　９９Ａ　側壁　　９９Ｂ　底壁　　１００　赤外線センサ

請求の範囲

[請求項1] ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型である第１導電型層と、

ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、

ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が前記第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層と、を備え、

前記第１導電型層、前記量子井戸受光層および前記第２導電型層は、この順に積層され、

前記量子井戸受光層の厚みは０．５μｍ以上であり、

前記量子井戸受光層におけるキャリア濃度は１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である、半導体積層体。

[請求項2] 前記量子井戸受光層の厚みは１．５μｍ以上であり、

前記量子井戸受光層におけるキャリア濃度は１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以下である、請求項１に記載の半導体積層体。

[請求項3] 前記量子井戸受光層の厚みは２．０μｍ以上であり、

前記量子井戸受光層におけるキャリア濃度は７×１０^{14}ｃｍ$^{-3}$以下である、請求項１に記載の半導体積層体。

[請求項4] 前記量子井戸受光層において、前記第１導電型のキャリアを生成する第１導電型不純物の濃度および前記第２導電型のキャリアを生成する第２導電型不純物の濃度は、いずれも１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である、請求項１～３のいずれか１項に記載の半導体積層体。

[請求項5] 前記第１導電型不純物はｐ型不純物であり、前記第１導電型層の前記量子井戸受光層側の主面である第１主面を含む領域には、ｐ型不純物の濃度が５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下である低ｐ型濃度領域が形成されており、

前記低ｐ型濃度領域の厚みは５０ｎｍ以上である、請求項４に記載の半導体積層体。

[請求項6] 前記量子井戸受光層において、前記第１導電型のキャリアを生成す

る第１導電型不純物および前記第２導電型のキャリアを生成する第２導電型不純物の一方が、１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$を超える濃度で含まれ、前記第１導電型不純物および前記第２導電型不純物の他方が、前記一方の濃度との差が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下の濃度で含まれる、請求項１～３のいずれか１項に記載の半導体積層体。

[請求項7] 前記第１導電型不純物および前記第２導電型不純物の一方はＳｉ、Ｓ、Ｓｅ、ＧｅおよびＴｅからなる群から選択される一種以上であり、他方はＺｎ、Ｂｅ、ＭｇおよびＣからなる群から選択される一種以上である、請求項１～６のいずれか１項に記載の半導体積層体。

[請求項8] 前記量子井戸受光層はタイプＩＩ型の量子井戸構造である、請求項１～７のいずれか１項に記載の半導体積層体。

[請求項9] 前記量子井戸受光層は、$InxGa_{1-x}As$（ｘは０．３８以上１以下）層と$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上１以下）層とのペア、または$Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$（ｕは０．４以上０．８以下、ｖは０を超え０．２以下）層と$GaAs_{1-y}Sb_y$（ｙは０．３６以上０．６２以下）層とのペアを含む多重量子井戸構造である、請求項１～８のいずれか１項に記載の半導体積層体。

[請求項10] 前記第１導電型層から見て前記量子井戸受光層とは反対側に位置する基板をさらに含み、

前記基板は、ＧａＡｓ、ＧａＰ、ＧａＳｂ、ＩｎＰ、ＩｎＡｓ、ＩｎＳｂ、ＡｌＳｂ、またはＡｌＡｓからなる、請求項９に記載の半導体積層体。

[請求項11] 前記第１導電型層と前記量子井戸受光層との界面、および前記量子井戸受光層と前記第２導電型層との界面における、酸素の濃度、炭素の濃度および水素の濃度は、いずれも１×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以下である、請求項１～１０のいずれか１項に記載の半導体積層体。

[請求項12] 請求項１～１１のいずれか１項に記載の半導体積層体と、

前記半導体積層体上に形成された電極と、を備える、受光素子。

[請求項13] ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が第１導電型である第１導電型層を形成する工程と、

ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなる量子井戸受光層を形成する工程と、

ＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体からなり、導電型が前記第１導電型とは異なる第２導電型である第２導電型層を形成する工程と、を備え、

前記第１導電型層を形成する工程、前記量子井戸受光層を形成する工程および前記第２導電型層を形成する工程は、この順で実施されて、前記第１導電型層、前記量子井戸受光層および前記第２導電型層は、この順に積層され、

前記量子井戸受光層は、厚みが０．５μｍ以上であり、キャリア濃度が１×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下となるように形成される、半導体積層体の製造方法。

[請求項14] 前記第１導電型層を形成する工程、前記量子井戸受光層を形成する工程および前記第２導電型層を形成する工程は、前記第１導電型層、前記量子井戸受光層および前記第２導電型層が再成長界面を形成することなく積層されるように実施される、請求項１３に記載の半導体積層体の製造方法。

[請求項15] 前記第１導電型層を形成する工程、前記量子井戸受光層を形成する工程および前記第２導電型層を形成する工程は、有機金属気相成長法により実施される、請求項１３または１４に記載の半導体積層体の製造方法。

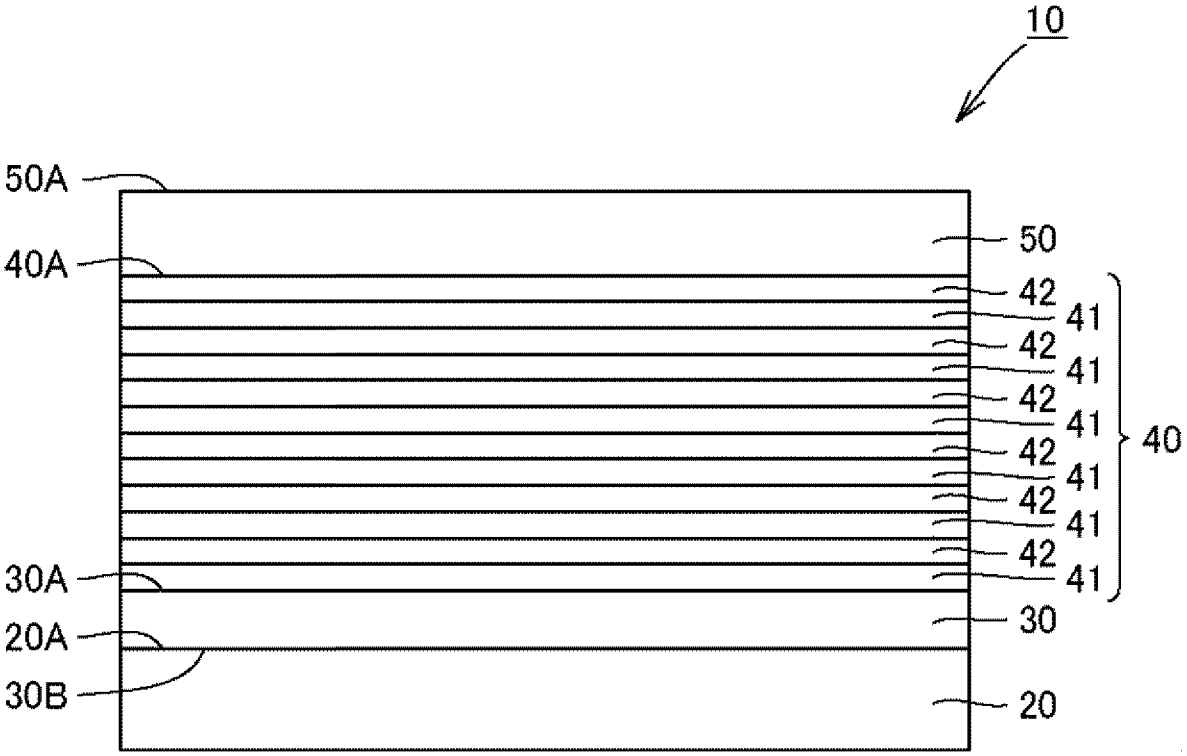
[請求項16] 前記量子井戸受光層を形成する工程よりも前に、前記量子井戸受光層を形成する工程を実施するための成長室の内部をコーティングする工程をさらに備える、請求項１３～１５のいずれか１項に記載の半導体積層体の製造方法。

[請求項17] 前記量子井戸受光層を形成する工程よりも前に、前記量子井戸受光層を形成する工程を実施するための成長室の内部を６００℃以上に加

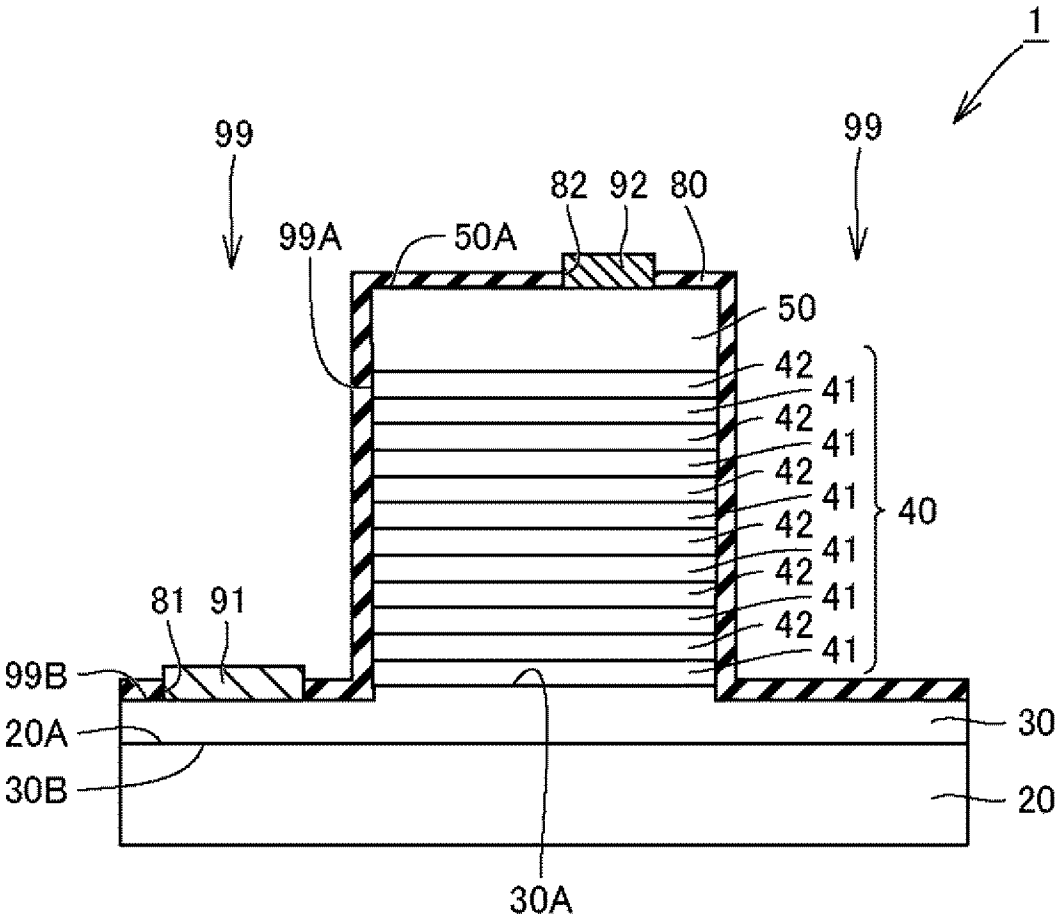
熱してベーキングする工程をさらに備える、請求項１３～１５のいずれか１項に記載の半導体積層体の製造方法。

[請求項18] 前記量子井戸受光層を形成する工程よりも前に、前記量子井戸受光層を形成する工程を実施するための成長室の内部に配置される部材を洗浄する工程をさらに備える、請求項１３～１５のいずれか１項に記載の半導体積層体の製造方法。

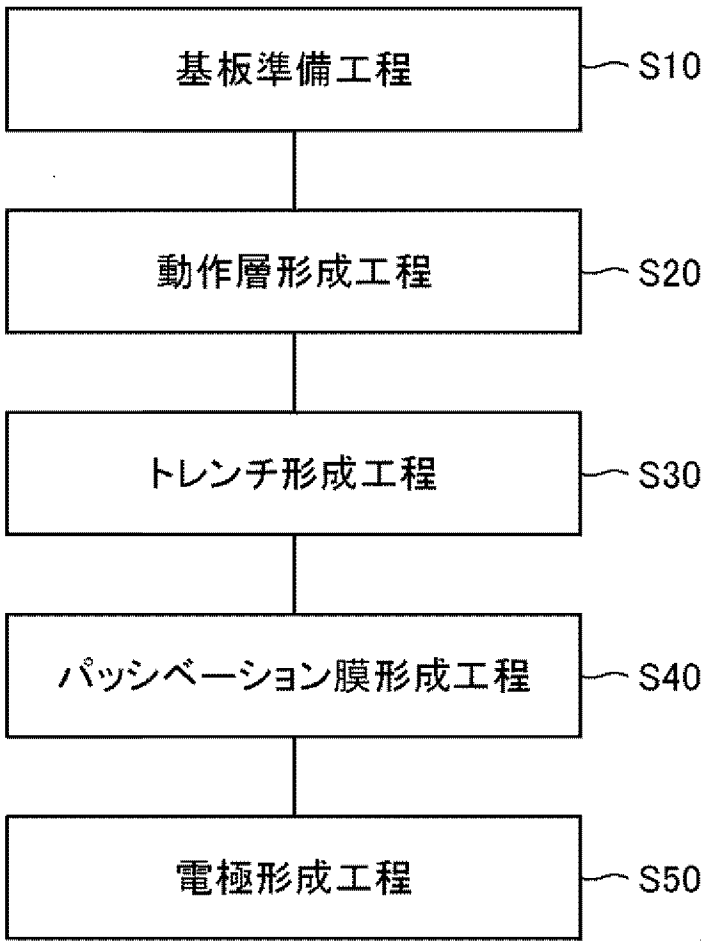
[図1]


10
50A
40A
50
42
41
40
30A
20A
30B
30
20

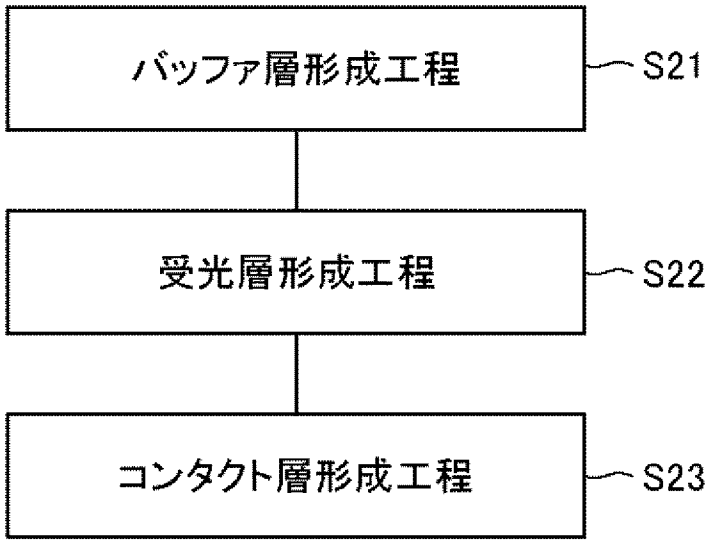
[図2]


1
99
99
82
92
80
99A
50A
50
42
41
40
81
91
99B
20A
30B
30
20
30A

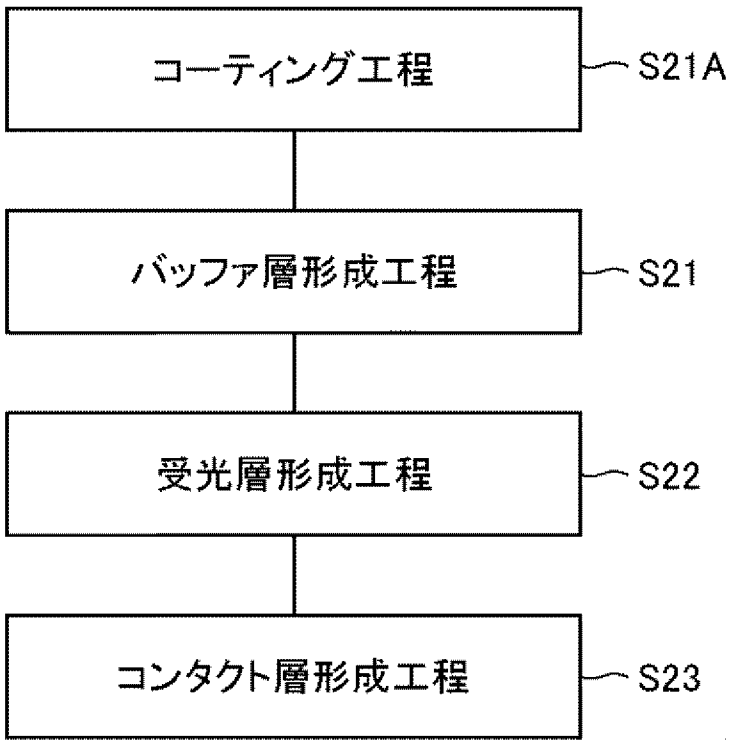
[図3]


基板準備工程
S10
動作層形成工程
S20
トレンチ形成工程
S30
パッシベーション膜形成工程
S40
電極形成工程
S50

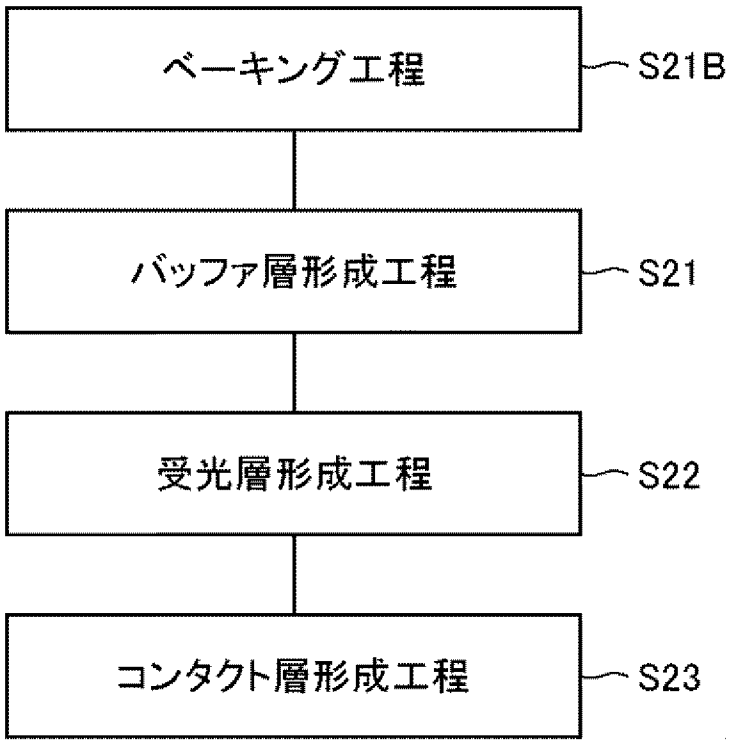
[図4]


バッファ層形成工程
S21
受光層形成工程
S22
コンタクト層形成工程
S23

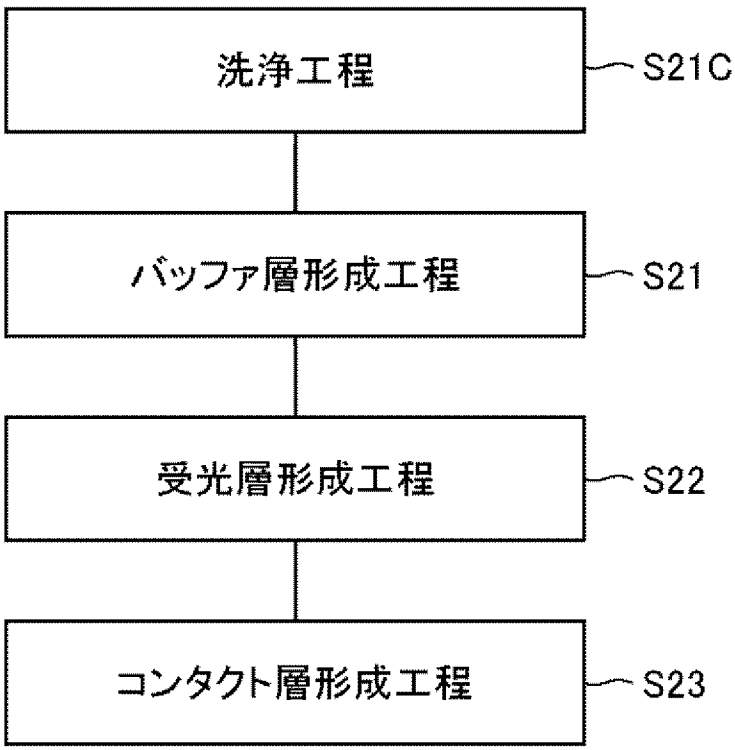
[図5]


コーティング工程
S21A
バッファ層形成工程
S21
受光層形成工程
S22
コンタクト層形成工程
S23

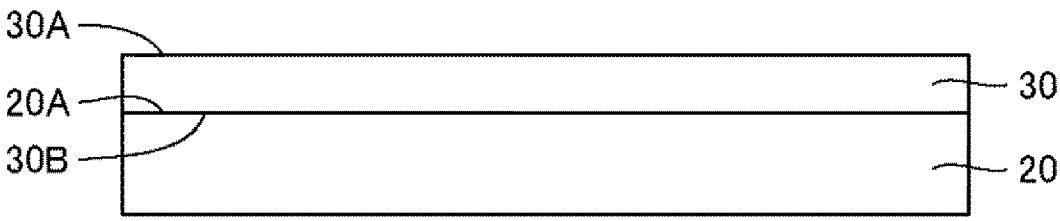
[図6]


ベーキング工程
S21B
バッファ層形成工程
S21
受光層形成工程
S22
コンタクト層形成工程
S23

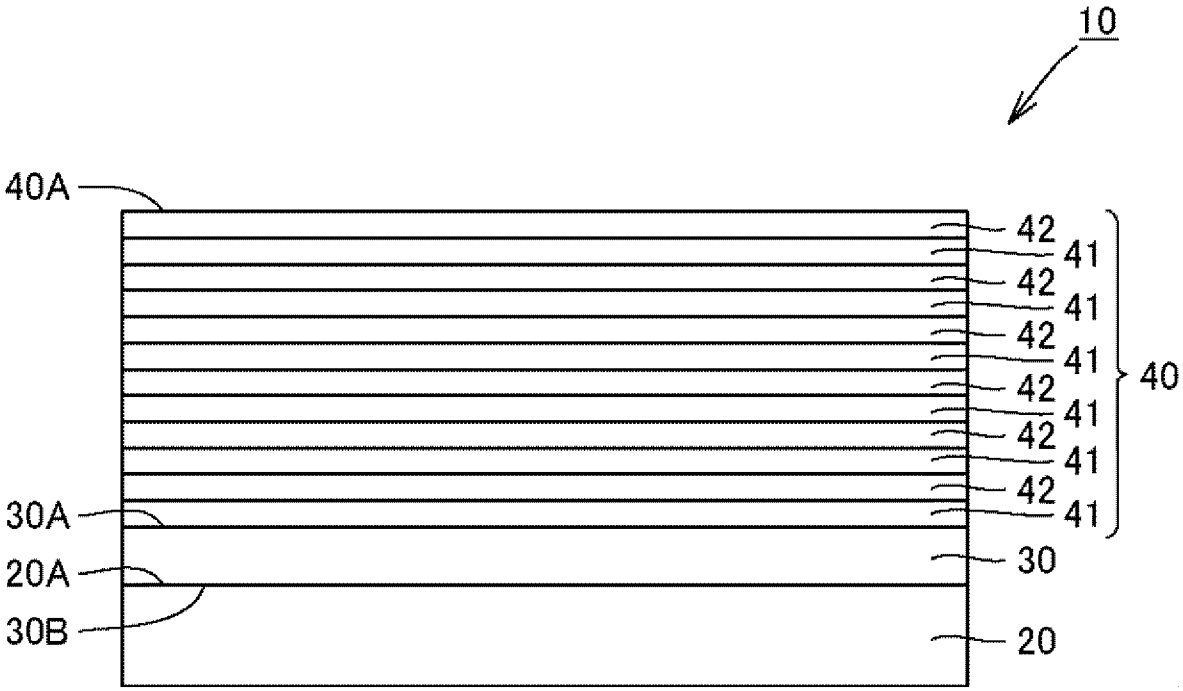
[図7]


洗浄工程
S21C
バッファ層形成工程
S21
受光層形成工程
S22
コンタクト層形成工程
S23

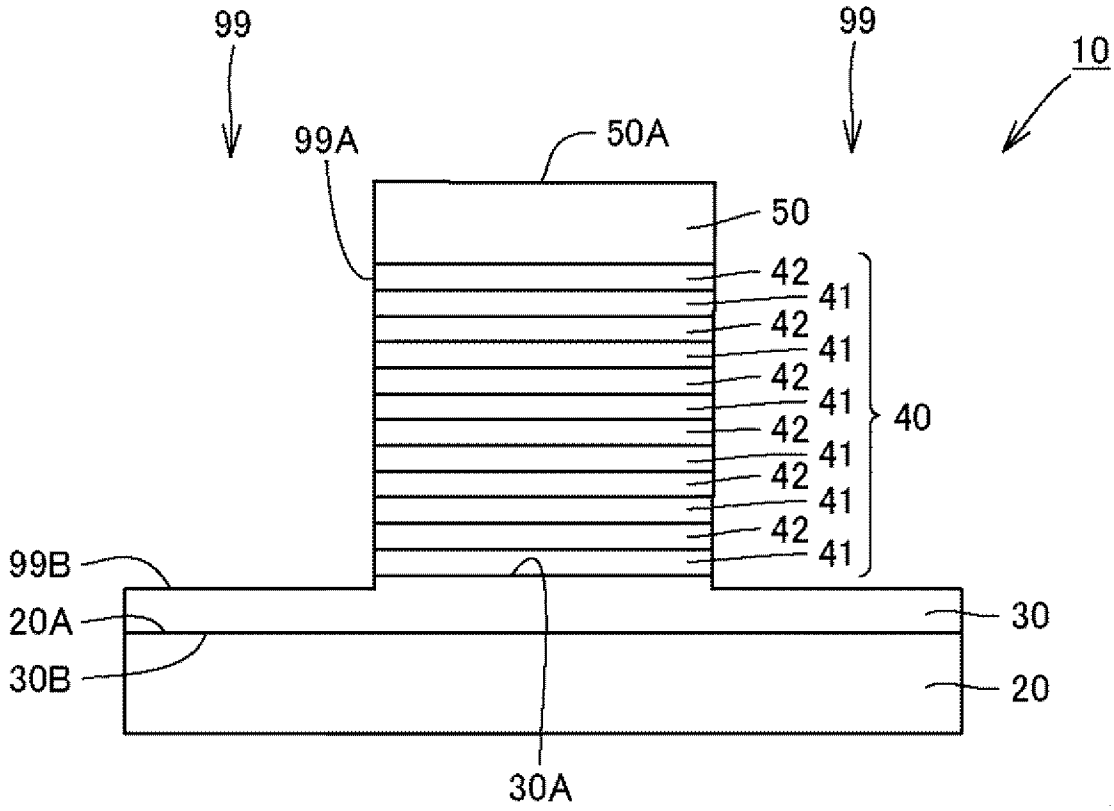
[図8]


30A
20A
30B
30
20

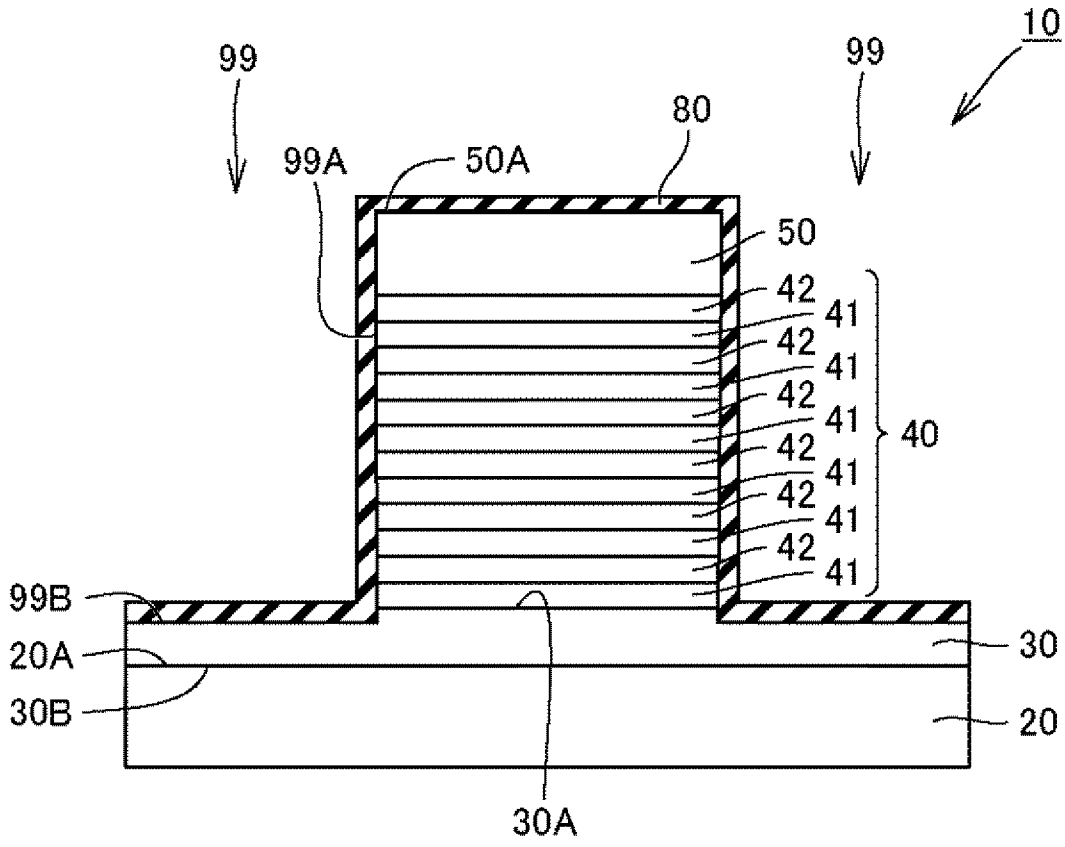
[図9]


10
40A
42
41
40
30A
20A
30B
30
20

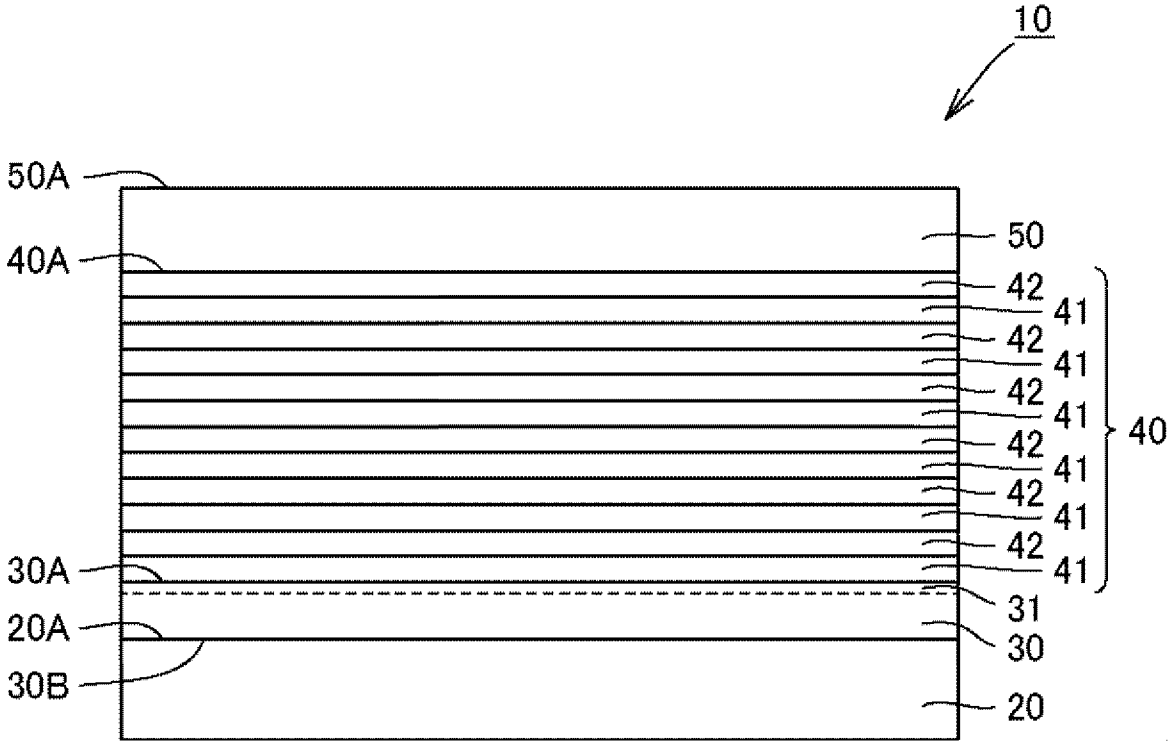
[図10]


99
99
10
99A
50A
50
42
41
40
99B
20A
30B
30
20
30A

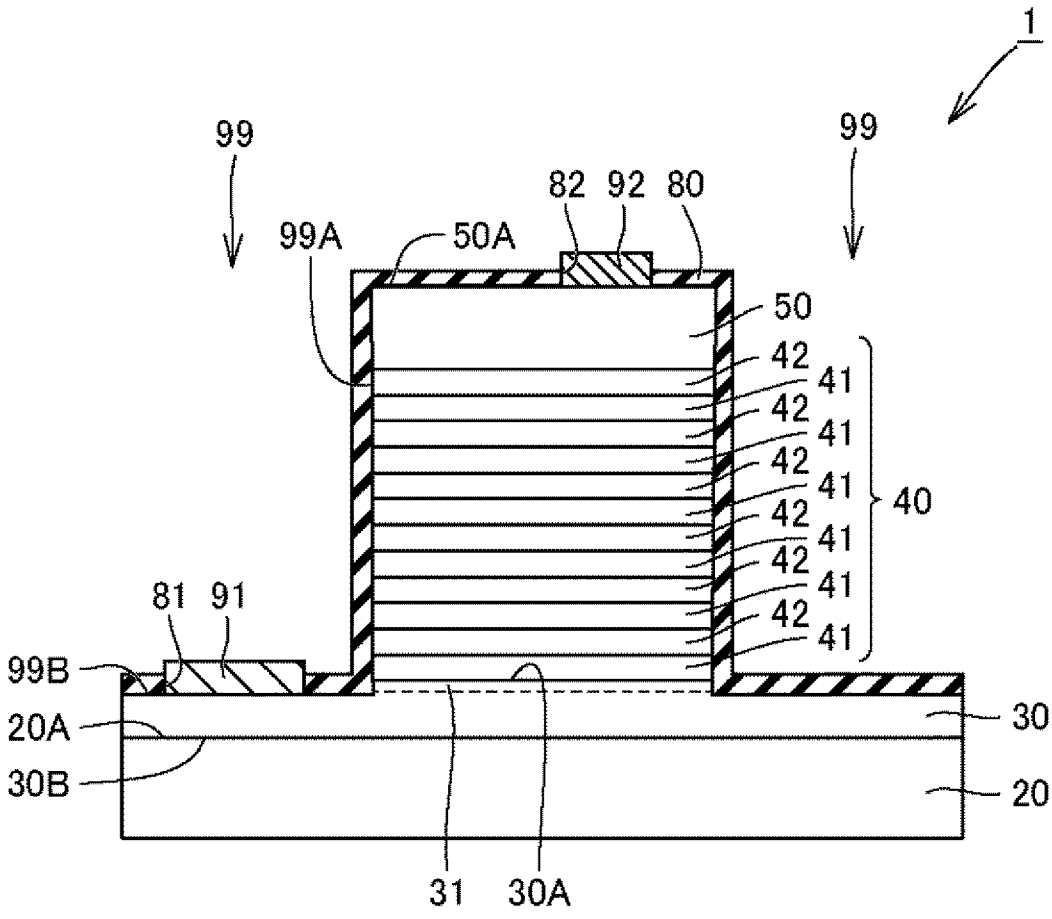
[図11]


99
99
10
80
99A
50A
50
42
41
40
99B
20A
30B
30
20
30A

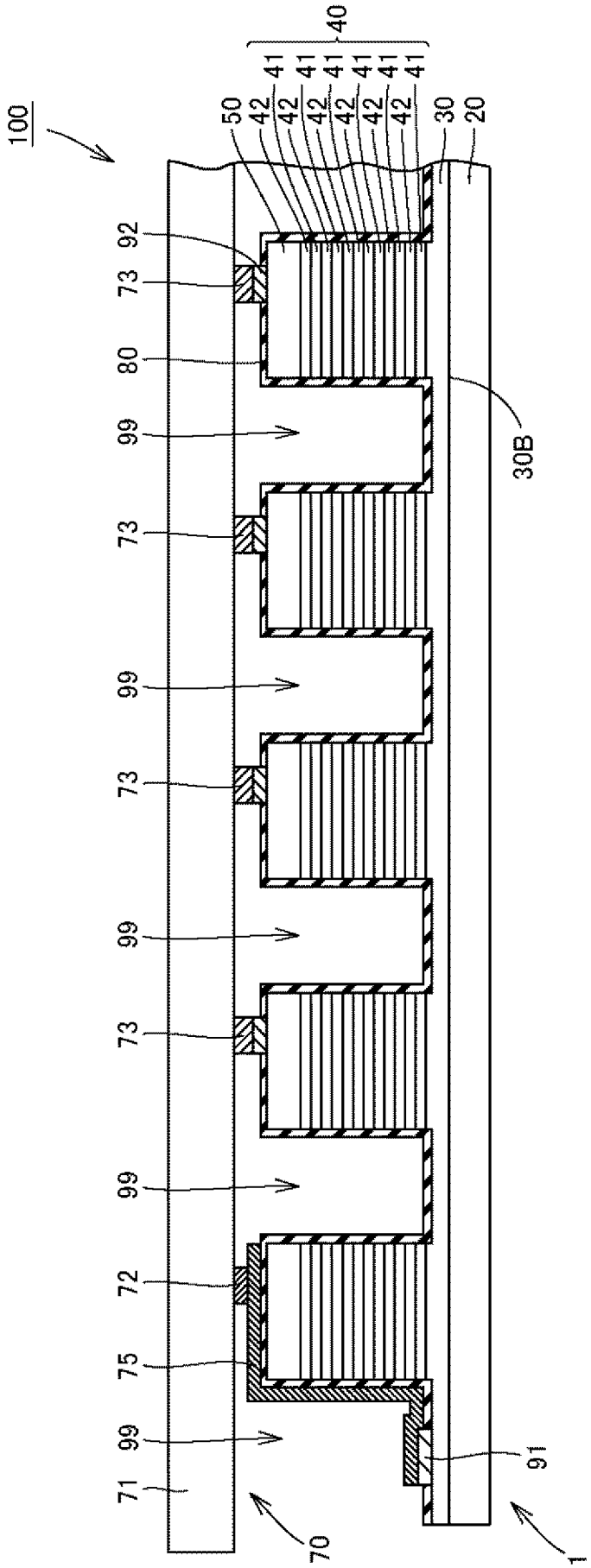
[図12]


10
50A
40A
50
42
41
40
30A
20A
30B
31
30
20

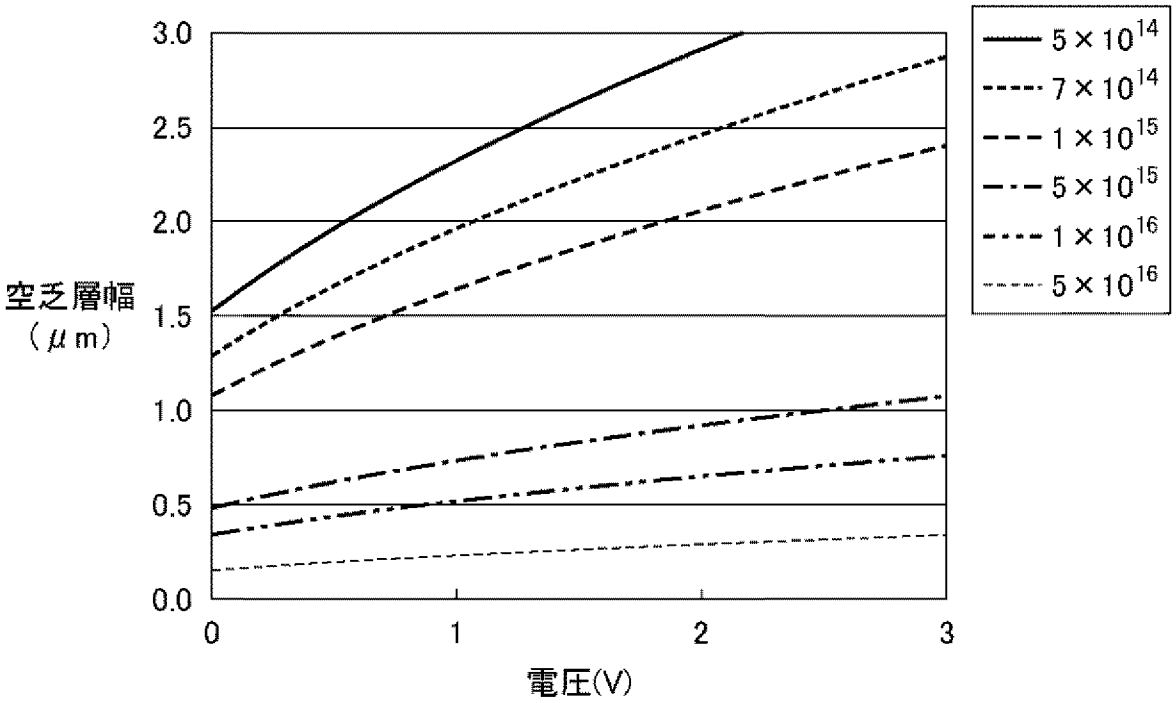
[図13]


1
99
99
82
92
80
99A
50A
50
42
41
40
81
91
99B
20A
30B
30
20
31
30A

[図14]


100
40
41
41
41
41
41
41
50
42
42
42
42
42
42
30
20
92
73
80
99
30B
73
99
73
99
73
99
72
75
99
71
70
91
1

[図15]


空乏層幅
（μm）
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
1
2
3
電圧(V)
5×10^14
7×10^14
1×10^15
5×10^15
1×10^16
5×10^16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/061524

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L31/10(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)
H01L31/08-31/109

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 1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

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.
Y	JP 2014-225578 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 December 2014 (04.12.2014), paragraphs [0015] to [0038], [0040] to [0052]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-18
Y	JP 2014-3069 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 09 January 2014 (09.01.2014), paragraphs [0024] to [0033]; fig. 1, 4 (Family: none)	1-18

☒ 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
27 June 2016 (27.06.16)	05 July 2016 (05.07.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/061524

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 5691205 B2 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 April 2015 (01.04.2015), paragraphs [0017], [0035] to [0040]; fig. 3, 5 (Family: none)	1-18
Y	JP 2012-244124 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 10 December 2012 (10.12.2012), paragraph [0016] (Family: none)	11-12
Y	JP 3508519 B2 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 22 March 2004 (22.03.2004), paragraph [0014] (Family: none)	16
Y	JP 2012-94761 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 17 May 2012 (17.05.2012), paragraph [0036] (Family: none)	17
Y	JP 2014-67830 A (Honda Motor Co., Ltd.), 17 April 2014 (17.04.2014), paragraph [0033] (Family: none)	18

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６１５２４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L31/10(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L31/08-31/109

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	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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
Y	JP 2014-225578 A（住友電気工業株式会社）2014.12.04, 段落［００１５］－［００３８］，段落［００４０］－［００５２］， 第１－５図（ファミリーなし）	1-18
Y	JP 2014-3069 A（住友電気工業株式会社）2014.01.09, 段落［００２４］－［００３３］，第１図，第４図（ファミリーなし）	1-18

☑　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
２７．０６．２０１６	０５．０７．２０１６

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　９７１３
小林　英司
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 5691205 B2 (住友電気工業株式会社) 2015.04.01, 段落［００１７］, 段落［００３５］－［００４０］, 第３図, 第５図（ファミリーなし）	1-18
Y	JP 2012-244124 A (住友電気工業株式会社) 2012.12.10, 段落［００１６］（ファミリーなし）	11-12
Y	JP 3508519 B2 (松下電器産業株式会社) 2004.03.22, 段落［００１４］（ファミリーなし）	16
Y	JP 2012-94761 A (住友電気工業株式会社) 2012.05.17, 段落［００３６］（ファミリーなし）	17
Y	JP 2014-67830 A (本田技研工業株式会社) 2014.04.17, 段落［００３３］（ファミリーなし）	18