

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012年8月30日(30.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/114849 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 31/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/052478
- (22) 国際出願日: 2012年2月3日(03.02.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-037182 2011年2月23日(23.02.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 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; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 秋田 勝史(AKITA, Katsushi) [JP/JP]; 〒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). 石塚 貴司(ISHIZUKA, Takashi) [JP/JP]; 〒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). 藤井 慧(FUJII, Kei) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号

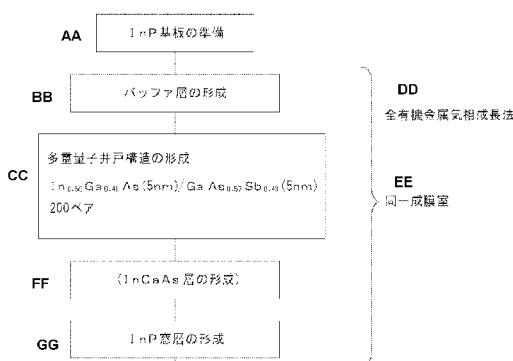
- (74) 代理人: 中田 元己, 外(NAKATA, Motomi et al.); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: LIGHT-RECEIVING ELEMENT AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: 受光素子およびその製造方法

[図4]



- AA Preparation of InP substrate
- BB Formation of buffer layer
- CC Formation of multiple quantum gate structure, $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ (5 nm)/ $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ (5 nm), 200 pairs
- DD Fully organic gas phase growth method
- EE Same film formation chamber
- FF Formation of InGaAs layer
- GG Formation of InP window layer

(57) Abstract: An object of the invention is to provide a light-receiving element, and the like, which has a sufficiently high sensitivity in the near infrared wavelength region of 1.5 to 1.8 μm and is capable of reducing dark current. A light-receiving element (10) according to the invention comprises of a buffer layer (2) disposed adjacent to the top of an InP substrate (1) and a light-receiving layer (3) disposed adjacent to the top of the buffer layer. The light receiving layer is formed of at least 50 pairs, with one pair being a first semiconductor layer (3a) having a band gap energy of 0.73 eV or less and a second semiconductor layer (3b) having a band gap energy greater than that of the first semiconductor layer. The first semiconductor layer (3a) and the second semiconductor layer (3b) form a strain-compensated quantum well structure and the thickness of each layer is between 1 nm and 10 nm.

(57) 要約: 本発明は、近赤外の波長域 1.5 μm ~ 1.8 μm に十分高い感度を持ち、暗電流を低くできる受光素子等を提供することを目的とする。本発明に係る受光素子(10)は、InP基板(1)上に接して位置するバッファ層(2)と、バッファ層上に接して位置する受光層(3)とを備え、受光層が、バンドギャップエネルギー 0.73 eV 以下の第1の半導体層 3a と、それよりも大きいバンドギャップエネルギーを持つ第2の半導体層 3b とを1ペアとして、50ペア以上を含み、第1の半導体層 3a および第2の半導体層 3b が歪補償量子井戸構造を形成し、厚みが両方とも 1 nm 以上 10 nm 以下であることを特徴とする。

WO 2012/114849 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, 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： 受光素子およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、受光素子およびその製造方法に関する。より具体的には、近赤外の波長域 $1.5 \mu\text{m} \sim 1.8 \mu\text{m}$ における感度を確保した多重量子井戸構造 (Multiple-Quantum Well、以下、MQWと記す。) の受光層を含む受光素子およびその製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] III-V族化合物半導体のInP系半導体は、バンドギャップエネルギーが近赤外域に対応することから、通信用、夜間撮像用などの受光素子の開発を目的に、多数の研究開発が行われている。

たとえば非特許文献1には、InP基板上に、InGaAs/GaAsSbのタイプ2のMQWを形成し、p型またはn型のエピタキシャル層によるpn接合によってカットオフ波長 $2.39 \mu\text{m}$ のフォトダイオードが提案され、波長 $1.7 \mu\text{m} \sim 2.7 \mu\text{m}$ の感度特性が示されている。

また、非特許文献2には、InGaAs 5 nmとGaAsSb 5 nmとを1ペアとして150ペア積層したタイプ2MQWの受光層を備える受光素子の波長 $1 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$ の感度特性 (200 K、250 K、295 K) が示されている。

また、特許文献1には、光通信用に、受光域の上限波長を少しだけ拡大するために、InP基板と、そのInP基板上に形成された当該InP基板の格子定数より小さい格子定数を与える組成の $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ (第1吸収層) と、大きい格子定数を与える組成の $\text{In}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ (第2吸収層) とを受光層を含むフォトダイオードが提案されている。これによれば、受光域を波長 1700 nm 程度にまで長波長化することができる。

先行技術文献

非特許文献

- [0003] 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(2005), pp.2715-2717
非特許文献2: R.Sidhu, et.al. "A 2.3 μ m Cutoff Wavelength Photodiode on InP Using Lattice-Matched GaInAs-GaAsSb Type-II Quantum Wells", 2005 International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, pp.148-151

特許文献

- [0004] 特許文献1: 特開2003-282927号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] しかしながら、波長1.5 μ m~1.8 μ mの範囲に物質の重要な吸収帯が集中するので、この波長1.5 μ m~1.8 μ mの範囲に十分高い感度を持ち鮮明な画像を得ることができれば、利用を促進することができる。

しかるに、上記のタイプ2のInGaAs/GaAsSbMQWでは、波長1.6 μ mの少し長波長付近から急に感度が低くなる(図6参照)。これは、タイプ2遷移とタイプ1遷移の双方の光電変換によって、光電流が発生することによる。この影響で、波長1.65 μ m付近からタイプ1遷移の寄与が小さくなる。また、温度200K~295Kで感度が測定された同じタイプ2のInGaAs/GaAsSbMQWによる受光素子においても、波長1.5 μ m~1.7 μ mの範囲の所定波長から感度が急に低下している(図6参照)。これについても、上記と同じ感度低下要因が働いていると考えられる。

また、光通信用に受光波長上限を少し高めた受光素子については、波長1.7 μ m~1.8 μ mでの感度は十分得られるが、暗電流が高い。

- [0006] 本発明は、近赤外の波長域1.5 μ m~1.8 μ mに安定して十分高い感度を持ち、暗電流を低くできる受光素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の受光素子は、InP基板上に形成されたIII-V族化合物半導体による受光素子である。この受光素子は、InP基板上に接して位置するバッファ層と、バッファ層上に接して位置する受光層とを備える。この受光層が、バンドギャップエネルギー0.73 eV以下の第1の半導体層と、該第1の半導体層のバンドギャップエネルギーよりも大きいバンドギャップエネルギーを持つ第2の半導体層とを交互に積層して50ペア以上含み、第1の半導体層および第2の半導体層が歪補償量子井戸構造を形成し、該第1の半導体層および第2の半導体層の厚みが両方とも1 nm以上10 nm以下であることを特徴とする。

[0008] 上記において第1の半導体層のバンドギャップエネルギーを0.73 eV以下とすることによって、第1の半導体層内におけるタイプ1の遷移に基づいて波長1.7 μm ~1.8 μm で高い受光感度を得ることができる。ここで、バンドギャップエネルギーと格子定数との反比例の関係から、上記の第1の半導体層はInP基板に比べて格子定数が大きく、一方第2の半導体層は格子定数が小さいため、前者には圧縮応力がまた後者には引張応力が分布して、両者は歪補償量子井戸構造を形成する。第1の半導体層/第2の半導体層を50ペア以上として各半導体層の厚みを1 nm以上10 nm以下とすることで、格子不整合による圧縮歪と引張歪とを均衡させてマクロ的に歪の影響を小さくすることができる。この歪の蓄積が回避されることで、結晶性が向上して暗電流の増大を防止することができる。すなわち波長1.5 μm ~1.8 μm 付近で高い受光感度を持ちながら暗電流を低く抑えることができる。

[0009] 波長1.5 μm および1.75 μm を含む波長域に受光感度を有する受光素子であって、波長1.5 μm の受光感度と波長1.75 μm の受光感度との比を、0.8以上1.2以下とすることができる。

これによって、物質の重要な吸収帯が集中する波長域に十分大きな感度を持つ受光素子を得ることができる。この受光素子は、MCT (HgCdTe

)等のように冷却を必要とせず、室温使用を前提とするので、使いやすく小型なため通信用、夜間撮像用のみならず広い用途に手軽に使用できる。

[0010] 第1の半導体層および第2の半導体層を、(1)タイプ2の多重量子井戸構造を形成するか、または(2)組成が異なる同じ化合物半導体とすることができる。

これによって、歪補償量子井戸構造を、(1)タイプ2の多重量子井戸構造としてもよいし、または(2)組成が異なる、たとえばInGaAsを用いてもよい。(1)前者の場合、タイプ1の遷移だけでなくタイプ2の遷移によっても波長 $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ の光を受光することができる。(2)後者の場合は、タイプ1の多重量子井戸構造に限定して、物質にとって重要な吸収帯が集中する波長 $1.5\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ 付近で高い受光感度を持ちながら暗電流を低く抑えることができる。この場合、タイプ2の遷移は生じないので、波長 $1.8\mu\text{m}$ を超える範囲に受光感度はない。しかし、たとえば歪補償量子井戸構造内にSbなどの取り扱いが難しい元素を含まないことから良好な結晶性の薄膜を得ることができる。

[0011] 第1の半導体層の受光層における合計膜厚を、 $0.5\mu\text{m}$ 以上とするのがよい。

これによって、とくに波長 $1.75\mu\text{m}$ 付近の上限における感度を確保することができる。この波長 $1.75\mu\text{m}$ 付近の受光は、第1の半導体層のバルクでのタイプ1遷移によるので、合計膜厚を $0.5\mu\text{m}$ 以上とすることで感度を確保できる。

[0012] バッファ層のバンドギャップエネルギーを、第1の半導体層および第2の半導体層のいずれのバンドギャップエネルギーよりも大きくするのがよい。

これによって、基板裏面入射の場合(画素を二次元アレイ化では必須)、光がバッファ層で吸収されることを防ぐことができる。またInP(基板)のバンドギャップエネルギーは 1.27eV であり、当然、今問題にしている波長域の光が吸収されるおそれはない。

[0013] 第1の半導体層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0.56\leq x\leq 0.68$) とするこ

とができる。

これによって、タイプ1の遷移で波長 $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ まで確実に受光できる第1の半導体層を得ることができる。

[0014] 第2の半導体層を、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0.38\leq y\leq 0.50$) とすることができる。

これによって、第2の半導体層の格子定数を InP より小さくして、 InP より大きい格子定数の第1の半導体層との組み合わせにより、歪補償量子井戸構造を容易に形成することができる。この結果、窓層まで含めてエピタキシャル層全体の結晶性を良好にすることができ、暗電流を減らすことができる。この第2の半導体層も、当然、タイプ1遷移によって受光可能であるが、受光可能な波長上限は、 $1.7\mu\text{m}$ よりも短い範囲となる。

[0015] 第2の半導体層を $\text{GaAs}_z\text{Sb}_{1-z}$ ($0.54\leq z\leq 0.66$) とすることができる。

この場合も第2の半導体層の格子定数を InP より小さくして、 InP より大きい格子定数の第1の半導体層との組み合わせにより、歪補償量子井戸構造を容易に形成することができる。この場合、取り扱いの難しい Sb を減らすことになるので、エピタキシャル層全体の結晶性を高め、かつ暗電流を抑制する上で好ましい。この場合、タイプ2の遷移が可能であり、波長 $1.8\mu\text{m}$ 以上の長波長側だけでなく、焦点となっている波長 $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ の波長域の光もタイプ2の遷移により受光することができる。すなわち、第1の半導体層によるタイプ1の遷移による波長 $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ の光の受光だけでなく、タイプ2の遷移によっても波長 $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ の光の受光ができる。

[0016] InP 基板上的受光層を含むエピタキシャル層の表層に InP 窓層を備え、バッファ層の底面と InP 窓層表面との間に、再成長界面を持たないようにするのがよい。

これによって、一貫して同じ成膜室（全有機金属気相成長法による成膜室）において受光素子の心臓部である半導体エピタキシャル層を形成すること

ができる。ここで、全有機金属気相成長法とは、有機物と金属との化合物で構成される有機金属原料を気相成長用原料のすべてに用いる成長方法のことをいい、全有機MOVPE法と記す。この結果、再成長界面における高濃度のO、Cなどによる汚染を防止することができる。この結果、暗電流を低くすることができる。また、一貫して同じ成膜室で成長できるので、高い製造能率を得ることができる。

[0017] バッファ層がPを含むことができる。

バッファ層にPを含む場合としてInPバッファ層、InGaAsPバッファ層などがある。これらのバッファ層は良好な結晶性の薄膜を成長しやすい。このためこのバッファ層上に接して成長する受光層（第1および第2の半導体層）の結晶性も良好にでき、その結果、暗電流を低くすることができる。

[0018] InP基板の裏面を入射面とするための基板裏面入射構造を備えることができる。

ここで、基板裏面側から光を入射する構造、とは、（1）エピタキシャル層表面側における画素電極に設けた接合用バンプ（読み出し回路がエピタキシャル層表面側を覆うことになる）、（2）基板裏面側に設けた反射防止用の膜（AR膜）、（3）基板裏面入射とせざるを得ない、基本単位となる受光素子（画素）の二次元配列の態様、などをいう（その他の構造例については後で言及する）。

上記の基板裏面入射構造を備えることで、低い暗電流を維持し、高い感度を確保しながら二次元アレイ化された画素を有する受光素子を製造することができる。

[0019] 選択拡散によって導入された不純物の先端部にpn接合を備え、受光層のInP基板と反対側の面である上面に接するIII-V族化合物半導体の拡散濃度分布調整層と、その拡散濃度分布調整層上に接するPを含む窓層とを備え、拡散濃度分布調整層のバンドギャップエネルギーを窓層のバンドギャップエネルギーよりも小さくするのがよい。

これによって、拡散濃度分布調整層の電気抵抗が大きいと感度の低下や画像形成の遅れ等が生じるが、バンドギャップエネルギーが窓層よりも小さい材料を用いることで電気抵抗の増大を防ぐことができる。また、画素形成において、結晶性を良好にできる選択拡散を用いながら、選択拡散によって過度に高濃度の不純物を受光層内に導入して歪補償量子井戸構造の結晶性がその不純物で害されるのを防止することができる。この場合、拡散濃度分布調整層内で不純物濃度は急峻に低下する分布形態とするのがよい。

[0020] 本発明の受光素子の製造方法では、InP基板上に形成されたIII-V族化合物半導体による受光素子を製造する。この製造方法は、InP基板上にバッファ層を形成する工程と、バッファ層上に、バンドギャップ0.73 eV以下の第1の半導体層と、該第1の半導体層よりも大きいバンドギャップを持つ第2の半導体層とを、該第1および第2の半導体層の両方ともに厚み1 nm以上10 nm以下で、交互に50ペア以上積層して、多重量子井戸構造の受光層を形成する工程とを備える。そして、多重量子井戸構造の受光層の形成工程では、全有機金属気相成長法によって、成長温度または基板温度600℃以下で成長することを特徴とする。

[0021] 上述のように受光層は歪補償量子井戸構造であり、良好な結晶性を得られるか否かが重要である。全有機金属気相成長法では、成長温度または基板温度を低くできるので、成長後に冷却する際に温度差に起因する熱膨張によって結晶性が劣化する程度を低く抑えることができる。

上記の成長温度または基板温度は、基板表面温度を赤外線カメラおよび赤外線分光器を含むパイロメータでモニタしており、そのモニタされている基板表面温度をいう。したがって、基板表面温度ではあるが、厳密には、基板上に成膜がなされている状態の、エピタキシャル層表面の温度である。基板温度、成長温度、成膜温度など、呼称は各種あるが、いずれも上記のモニタされている温度をさす。

[0022] 受光層の上にIII-V族化合物半導体層を形成する工程を備え、受光層を形成し始めるときからIII-V族化合物半導体層を形成し終わるときま

で、全有機金属気相成長法によって同じ成膜室内で成長するのがよい。

これによって、一貫して全有機金属気相成長（全有機MOVPE法）による成膜室において受光素子の心臓部である半導体エピタキシャル層を形成することができる。この結果、再成長界面における高濃度のO、Cなどによる汚染を防止することができる。この結果、暗電流を低くすることができる。また、一貫して同じ成膜室で成長できるので、高い製造能率を得ることができる。

発明の効果

[0023] 本発明の受光素子等によれば、近赤外の波長域 $1.5\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ に安定して十分高い感度を持ち、暗電流を低くすることができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]本発明の実施の形態1における受光素子を示す図である。受光層3は、200ペアの $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ と $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}3b$ を積層して形成された多重量子井戸構造である。量子井戸における $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ および $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}3b$ の膜厚はいずれも5nmである。受光素子10の界面16、17では、酸素および炭素の濃度がいずれも $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 未満である。

[図2]図1の受光素子の受光感度の波長依存性を示す図である。

[図3]全有機金属気相成長法の成膜装置の配管系統等を示す図である。

[図4]図1に示す受光素子の製造方法のフローチャートである。

[図5]参考例として挙げた受光素子を示す図である。受光層103は、200ペアの $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{103a}$ と $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}103b$ を積層して形成された多重量子井戸構造である。量子井戸における $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{103a}$ および $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}103b$ の膜厚はいずれも5nmである。

[図6]図5の受光素子の受光感度の波長依存性を示す図である。

[図7]本発明の実施の形態2における受光素子を示す図である。受光層3は、200ペアの $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ と $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}_{3c}$ を積層して形成された多重量子井戸構造である。量子井戸における $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$

.₄₁As_{3a}およびIn_{0.47}Ga_{0.53}As_{3c}の膜厚はいずれも5nmである。受光素子10の界面16、17では、酸素および炭素の濃度がいずれも $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満である。

[図8]図7の受光素子の受光感度の波長依存性を示す図である。

[図9]図7に示す受光素子の製造方法のフローチャートである。

符号の説明

[0025] 1 InP基板、2 InPバッファ層、3 MQW受光層、3a In_{0.59}Ga_{0.41}As (第1の半導体層)、3b GaAs_{0.57}Sb_{0.43} (第2の半導体層)、3c In_{0.47}Ga_{0.53}As (第2の半導体層)、4 InGaAs層 (拡散濃度分布調整層)、5 InP窓層、6 p型領域、10 受光素子、11 p側電極 (画素電極)、12 グランド電極 (n側電極)、16 MQWとInGaAs層との界面、17 InGaAs層とInP窓層との界面、35 AR (反射防止) 膜、36 選択拡散マスクパターン、60 全有機金属気相成長法の成膜装置、61 赤外線温度モニタ装置、63 反応室、65 石英管、66 基板テーブル、66h ヒータ、69 反応室の窓。

発明を実施するための形態

[0026] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1における受光素子10を示す断面図である。図1によれば、受光素子10は、InP基板1の上に次の構成のIII-V族化合物半導体積層構造を有する。

(InP基板1 / InPバッファ層2 / In_{0.59}Ga_{0.41}As (第1の半導体層) 3aとGaAs_{0.57}Sb_{0.43} (第2の半導体層) 3bとの多重量子井戸構造による受光層3 / InGaAs拡散濃度分布調整層4 / InP窓層5)

InP窓層5から多重量子井戸構造の受光層3の近くにまでp型領域6が位置している。このp型領域6は、SiN膜の選択拡散マスクパターン36の開口部から、p型不純物のZnが選択拡散されることで形成される。受光

素子 10 の周縁部の内側に、平面的に周囲限定されて拡散導入され、受光部が周縁部の内側に形成されることは、上記 SiN 膜の選択拡散マスクパターン 36 を用いて拡散することによって実現される。

[0027] p 型領域 6 には AuZn による p 側電極 11 が、また InP 基板 1 の裏面には AuGeNi の n 側電極 12 が、それぞれオーミック接触するように設けられている。この場合、InP 基板 1 には n 型不純物がドーピングされ、所定レベルの導電性を確保されている。

光は、InP 基板 1 の裏面から入射される。入射光の反射を防止するために SiON 等による AR (Anti-reflection) 膜 35 が InP 基板 1 の裏面を被覆する。この InP 基板 1 の裏面に配置された AR 膜 35 は、基板側から入射するための構造とよい。さらに画素電極 (p 側電極) 11 を、半導体積層体の頂面の端ではなく中央寄りまたは中央付近に配置することは、半導体積層体の頂面から光を入射させないことを意味しており、半導体基板の裏面側から光を入射するための構造とすることができる。さらに、図示はしていないが、読み出し回路の読み出し電極と接合するための接合バンプを画素電極に配置した構造も、半導体基板の裏面入射のための構造とすることができる。読み出し回路が、画素側全体を覆うことになるからである。同じく図示はしていないが、グランド電極と画素電極の両方を、エピタキシャル層表面側に延在させる構造も、間違いなく、基板裏面入射のための構造である。これら例示した構造に限らず、基板裏面入射とされた受光素子では、半導体基板の裏面入射のための構造は、必ず存在する。

また画素 P の二次元配列自体、読み出し回路との接続に用いられるフリップフロップ接合方式のため、基板裏面入射は必然であり、上記の基板裏面から入射するための構造である。

[0028] 上記の p 型領域 6 の境界フロントに対応する位置に pn 接合が形成され、上記の p 側電極 11 および n 側電極 12 間に逆バイアス電圧を印加することにより、受光層 3 の n 型不純物濃度が低い側 (n 型不純物バックグラウンド) により広く空乏層を生じる。多重量子井戸構造の受光層 3 におけるバック

グラウンド不純物濃度は、 n 型不純物濃度（キャリア濃度）で $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度またはそれ以下である。そして、 pn 接合の位置は、多重量子井戸の受光層3のバックグラウンド不純物濃度（ n 型キャリア濃度）と、 p 型不純物の Zn の濃度プロファイルとの交点で決まる。

拡散濃度分布調整層4内では、 InP 窓層5の表面から選択拡散された p 型不純物の濃度が、 InP 窓層側における高濃度領域から受光層側にかけて急峻に低下している。このため、受光層3内では、 Zn 濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物濃度を容易に実現することができる。

[0029] 本発明が対象とする受光素子10は、近赤外域からその長波長側に受光感度を有することを追求するので、窓層には、受光層3のバンドギャップエネルギーより大きいバンドギャップエネルギーの材料を用いるのが好ましい。このため、窓層には、通常、受光層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、格子整合の良い材料である InP が用いられる。 InP とほぼ同じバンドギャップエネルギーを有する $InAlAs$ を用いてもよい。

[0030] （実施の形態1におけるポイント）

本実施の形態における特徴は、次の点にある。

(1) 受光層3内の第1の半導体層3aの InP 格子整合の In 組成を、 0.53 よりも大きく高めて $In_{0.59}Ga_{0.41}As$ とすることで、バンドギャップエネルギーを 0.73 eV 以下を実現した。このため、第1の半導体層3aにおけるタイプ1の遷移によって、波長 $1.7 \mu\text{m} \sim 1.8 \mu\text{m}$ における受光感度を高めることができる。

$In_{0.59}Ga_{0.41}As$ は、 InP に格子整合する組成 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ に比べて In 組成が格段に高く、従って、 InP よりも格子定数は大きい。このため、第1の半導体層3aには圧縮応力が分布する。

(2) 第2の半導体層3bを $GaAs_{0.57}Sb_{0.43}$ とすることで、第2の半導体層3bの格子定数を InP より小さくすることができる。 InP に格子整合する組成は、 $GaAs_{0.51}Sb_{0.49}$ であるので、これよりは、 As 組成 z が大きく、 Sb 組成 $(1-z)$ が格段に小さい。この結果、第1の半導体

層3 aとの組み合わせによって、第1の半導体層3 aに圧縮応力が、また第2の半導体層3 bに引張応力が、分布して、歪補償量子井戸構造とすることができる。

この結果、歪が低い状態、すなわち格子欠陥密度の小さい状態を実現でき、暗電流を低くすることができる。

(3) $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ (第1の半導体層) 3 aと $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ (第2の半導体層) 3 bとはタイプ2の多重量子井戸構造を構成する。格子整合する $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ と $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}$ との多重量子井戸構造では、タイプ2の遷移によって波長 $2\mu\text{m}$ 以上に受光感度を持つ。このタイプ2の遷移のエネルギー差は $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ 相当より小さいが、当然、このタイプ2の遷移において $1.7\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ 相当の光を受光することはできる。この結果、タイプ2の遷移によっても、波長 $1.5\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ における受光感度は高められる。

[0031] 図2は、図1に示す受光素子10の感度の波長依存性を示す図である。上記の(1)～(3)によって、波長 $1.5\mu\text{m}\sim 1.75\mu\text{m}$ における感度は、それより短波長側の感度から連続してほぼフラットに高いレベルにあることが分かる。本実施の形態では、タイプ2の遷移が生じる($\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}/\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$)を用いるので、受光可能な波長上限が $2.3\mu\text{m}$ 程度までである。

[0032] 図3に全有機金属気相成長法の成膜装置60の配管系統等を示す。反応室(チャンバ)63内に石英管65が配置され、その石英管65に、原料ガスが導入される。石英管65中には、基板テーブル66が、回転自在に、かつ気密性を保つように配置される。基板テーブル66には、基板加熱用のヒータ66hが設けられる。成膜途中のウエハ50aの表面の温度は、反応室63の天井部に設けられたウィンドウ69を通して、赤外線温度モニタ装置61によりモニタされる。このモニタされる温度が、成長するときの温度、または成膜温度もしくは基板温度等と呼ばれる温度である。本発明における製造方法における、基板温度 600°C 以下でMQWを形成する、というときの

600℃以下は、この温度モニタで計測される温度である。石英管65からの強制排気は真空ポンプによって行われる。

[0033] 原料ガスは、石英管65に連通する配管によって、供給される。全有機金属気相成長法は、原料ガスをすべて有機金属気体の形態で供給する点に特徴がある。図3では、不純物等の原料ガスは明記していないが、不純物も有機金属気体の形態で導入される。有機金属気体の原料は、恒温槽に入れられて一定温度に保持される。搬送ガスには、水素(H₂)および窒素(N₂)が用いられる。有機金属気体は、搬送ガスによって搬送され、また真空ポンプで吸引されて石英管65に導入される。搬送ガスの量は、MFC(Mass Flow Controller:流量制御器)によって精度よく調節される。多数の、流量制御器、電磁バルブ等は、マイクロコンピュータによって自動制御される。

[0034] InP基板1上に受光層3を含む半導体積層構造を形成する方法について説明する。まず、Sドープn型InP基板1に、n型InPバッファ層2を、膜厚150nmに、エピタキシャル成長させる。n型のドーピングには、TeESI(テトラエチルシラン)を用いるのがよい。このときの原料ガスには、TMIn(トリメチルインジウム)およびTBP(ターシャリーブチルホスフィン)を用いる。このInPバッファ層2の成長には、無機原料のPH₃(ホスフィン)を用いて行っても良い。このInPバッファ層2の成長では、成長温度を600℃程度あるいは600℃程度以下で行っても、下層に位置するInP基板の結晶性は600℃程度の加熱で劣化することはない。しかし、InP窓層5を形成するときには、下層にGaAs_{0.57}Sb_{0.43}を含むMQWが形成されているので、基板温度は、たとえば温度400℃以上かつ600℃以下の範囲に厳格に維持する必要がある。その理由として、600℃を超えて加熱すると、GaAs_{0.57}Sb_{0.43}が熱のダメージを受けて結晶性が大幅に劣化する点、および、400℃未満の温度でInP窓層を形成すると、原料ガスの分解効率が大幅に低下するため、InP層内の不純物濃度が増大し高品質なInP窓層5を得られない点があげられる。

バッファ層2は、InP層だけでもよいが、所定の場合には、そのInP

バッファ層の上に、 n 型ドーピングした $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 層を、膜厚 $0.15\ \mu\text{m}$ ($150\ \text{nm}$) に成長してもよい。この $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 層も図 1 中ではバッファ層 2 に含まれる。

[0035] 次いで、 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}/\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}3b$ を量子井戸のペアとするタイプ 2 の MQW の受光層 3 を形成する。量子井戸における $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ および $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}3b$ の膜厚は $1\ \text{nm}$ 以上 $10\ \text{nm}$ 以下とする。図 1 では、 200 ペアの量子井戸を積層して MQW の受光層 3 を形成している。 $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}3b$ の成膜では、トリエチルガリウム (TEGa)、ターシャリーブチルアルシン (TBAs) およびトリメチルアンチモン (TMSb) を用いる。また、 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ については、TEGa、TMIn、および TBAs を用いることができる。これらの原料ガスは、すべて有機金属気体であり、化合物の分子量は大きい。このため、 400°C 以上かつ 600°C 以下の比較的低温で完全に分解して、結晶成長に寄与することができる。この結果、成膜温度から室温までの温度差を小さくすることができ、受光素子 10 内の各材料の熱膨張差に起因する歪を小さくでき、格子欠陥密度を小さく抑えることができる。これは暗電流の抑制に有効である。

[0036] Ga (ガリウム) の原料としては、TEGa (トリエチルガリウム) でもよいし、TMGa (トリメチルガリウム) でもよい。In (インジウム) の原料としては、TMIn (トリメチルインジウム) でもよいし、TEIn (トリエチルインジウム) でもよい。As (砒素) の原料としては、TBAs (ターシャリーブチルアルシン) でもよいし、TMAAs (トリメチル砒素) でもよい。Sb (アンチモン) の原料としては、TMSb (トリメチルアンチモン) でもよいし、TESb (トリエチルアンチモン) でもよい、また、TIP Sb (トリイソプロピルアンチモン)、また、TDMASb (トリジメチルアミノアンチモン) でもよい。これらの原料を用いることによって、MQW の不純物濃度が小さく、その結晶性に優れた半導体素子を得ることができる。この結果、たとえば受光素子等に用いた場合、暗電流の小さい、かつ、感度が

大きい受光素子を得ることができる。さらには、その受光素子を用いて、微弱な光についても鮮明な像を撮像することが可能となる。

[0037] 次に、全有機金属気相成長法によって、多重量子井戸構造3を形成するときの原料ガスの流れ状態について説明する。原料ガスは、配管を搬送されて、石英管65に導入されて排気される。原料ガスは、何種類でも配管を増やして石英管65に供給させることができる。たとえば十数種類の原料ガスであっても、電磁バルブの開閉によって制御される。

原料ガスの流量は、図3に示す流量制御器(MFC)によって制御された上で、石英管65への流入を電磁バルブの開閉によってオンオフされる。そして、石英管65からは、真空ポンプによって強制的に排気される。原料ガスの流れに停滞が生じる部分はなく、円滑に自動的に行われる。よって、量子井戸のペアを形成するときの組成の切り替えは、迅速に行われる。

図3に示すように、基板テーブル66は回転するので、原料ガスの温度分布は、原料ガスの流入側または出口側のような方向性をもたない。また、ウエハ50aは、基板テーブル66上を公転するので、ウエハ50aの表面近傍の原料ガスの流れは、乱流状態にあり、ウエハ50aの表面近傍の原料ガスであっても、ウエハ50aに接する原料ガスを除いて導入側から排気側への大きな流れ方向の速度成分を有する。したがって、基板テーブル66からウエハ50aを経て、原料ガスへと流れる熱は、大部分、常時、排気ガスと共に排熱される。このため、ウエハ50aから表面を経て原料ガス空間へと、垂直方向に大きな温度勾配または温度段差が発生する。

さらに、本発明の実施の形態では、基板温度を400℃以上かつ600℃以下という低温域に加熱される。このような低温域の基板表面温度でTBAsなどを原料とした全有機金属気相成長法を用いる場合、その原料の分解効率が良いので、ウエハ50aにごく近い範囲を流れる原料ガスで多重量子井戸構造の成長に寄与する原料ガスは、成長に必要な形に効率よく分解したものに限られる。

[0038] ウエハ50aの表面はモニタされる温度とされているが、ウエハ表面から

少し原料ガス空間に入ると、上述のように、急激に温度低下または大きな温度段差が生じる。このため分解温度が T_1 °C の原料ガスの場合、基板表面温度は、 $(T_1 + \alpha)$ に設定し、この α は、温度分布のばらつき等を考慮して決める。ウエハ 50 a 表面から原料ガス空間にかけて急激で大きな温度降下または温度段差がある状況において、大サイズの有機金属分子がウエハ表面をかすめて流れるとき、分解して結晶成長に寄与する化合物分子は表面に接触する範囲、および表面から数個分の有機金属分子の膜厚範囲、のものに限られると考えられる。したがって、ウエハ表面に接する範囲の有機金属分子、および、ウエハ表面から数個分の有機金属分子の膜厚範囲以内に位置する分子、が、主として、結晶成長に寄与して、それより外側の有機金属分子は、ほとんど分解せずに石英管 65 の外に排出される、と考えられる。ウエハ 50 a の表面付近の有機金属分子が分解して結晶成長したとき、外側に位置する有機金属分子が補充に入る。

逆に考えると、ウエハ表面温度を有機金属分子が分解する温度よりほんのわずかに高くすることで、結晶成長に参加できる有機金属分子の範囲をウエハ 50 a 表面上の薄い原料ガス層に限定することができる。

[0039] 上記のことから、真空ポンプで強制排気しながら上記ペアの化学組成に適した原料ガスを電磁バルブで切り替えて導入するとき、わずかの慣性をもって先の化学組成の結晶を成長させたあとは、先の原料ガスの影響を受けず、切り替えられた化学組成の結晶を成長させることができる。その結果、ヘテロ界面での組成変化を急峻にすることができる。これは、先の原料ガスが、石英管 65 内に実質的に残留しないことを意味しており、ウエハ 50 a にごく近い範囲を流れる原料ガスで多重量子井戸構造の成長に寄与する原料ガスは、成長に必要な形に効率よく分解したものに限られることに起因する。すなわち、量子井戸の一方の層を形成させたあと、真空ポンプで強制排気しながら電磁バルブを開閉して、他方の層を形成する原料ガスを導入したとき、少しの慣性をもって結晶成長に参加する有機金属分子はいるが、その補充をする一方の層の分子はほとんど排気されて、なくなっている。ウエハ表面

温度を、有機金属分子の分解温度に近づけるほど、結晶成長に参加する有機金属分子の範囲（ウエハ表面からの範囲）は小さくなる。

この多重量子井戸構造を形成する場合、600℃を超える温度範囲で成長すると多重量子井戸構造のGaAsSb層に相分離が起こり、清浄で平坦性に優れた多重量子井戸構造の結晶成長表面、および、優れた周期性と結晶性を有する多重量子井戸構造を得ることができない。このことから、成長温度を400℃以上かつ600℃以下という温度範囲にするが、この成膜法を全有機MOVPE法にして、原料ガスすべてを分解効率の良い有機金属気体にすることが重要である。

[0040] <受光素子の製造方法>

図4は、受光素子の製造方法のフローチャートである。図1に示した受光素子10では、タイプ2MQWの受光層3の上には、InPに格子整合する $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 拡散濃度分布調整層4が位置し、その $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 拡散濃度分布調整層4の上にInP窓層5が位置している。InP窓層5の表面に設けた選択拡散マスクパターン36の開口部からp型不純物のZnが選択拡散されてp型領域6が設けられる。

そのp型領域6の先端部にpn接合またはpi接合が形成される。このpn接合またはpi接合に、逆バイアス電圧を印加して空乏層を形成して、光電子変換による電荷を捕捉して、電荷量に画素の明るさを対応させる。p型領域6またはpn接合もしくはpi接合は、画素を構成する主要部である。p型領域6にオーミック接触するp側電極11は画素電極であり、接地電位にされるn側電極12との間で、上記の電荷を画素ごとに読み出す。

p型領域6の周囲の、InP窓層表面には、上記の選択拡散マスクパターン36がそのまま残される。さらに図示しないSiON等の保護膜が被覆される。選択拡散マスクパターン36をそのまま残すのは、p型領域6を形成したあと、これを除いて大気中に暴露すると、コンタクト層表面のp型領域との境界に表面準位が形成され、暗電流が増大するからである。

上述のようにMQWを形成したあと、InP窓層5の形成まで、全有機金

属気相成長法によって同じ成膜室または石英管65の中で成長を続けることが、一つのポイントになる。すなわち、InP窓層5の形成の前に、成膜室からウエハ50aを取り出して、別の成膜法によってInP窓層5を形成することがないために、再成長界面を持たない点が一つのポイントである。すなわち、InGaAs拡散濃度分布調整層4とInP窓層5とは、石英管65内において連続して形成されるので、界面16、17は再成長界面ではない。

このため、図1に示した受光素子10の界面16、17では、酸素および炭素の濃度がいずれも $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満で所定レベル以下であり、とくにp型領域6と界面17との交差線において電荷リークが生じることはない。また界面16においても格子欠陥密度は低く抑えられる。

[0041] 本実施の形態では、MQWの受光層3の上に、たとえば膜厚 $1.0 \mu\text{m}$ のノンドープ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布層4を形成する。この $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布層4は、InP窓層5を形成したあと、選択拡散法によってInP窓層5からp型不純物のZnをMQWの受光層3に届くように導入するとき、高濃度のZnがMQWに進入すると、結晶性を害するので、その調整のために設ける。この $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層4は、上記のように配置してもよいが、なくてもよい。

上記の選択拡散によってp型領域6が形成され、その先端部にpn接合またはpi接合が形成される。 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層4を挿入した場合であっても、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ はバンドギャップが小さいのでノンドープであっても受光素子の電気抵抗を低くすることができる。電気抵抗を低くすることで、応答性を高めて良好な画質の動画を得ることができる。

$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層4の上に、同じ石英管65内にウエハ50aを配置したまま連続して、アンドープのInP窓層5を、全有機金属気相成長法によってたとえば膜厚 $0.8 \mu\text{m}$ にエピタキシャル成長するのがよい。原料ガスには、上述のように、トリメチルインジウム(TMI

n) およびターシャリーブチルホスフィン (TBP) を用いる。この原料ガスの使用によって、InP窓層5の成長温度を400°C以上かつ600°C以下に、さらには550°C以下にすることができる。この結果、InP窓層5の下に位置するMQWのGaAsSbが熱のダメージを受けることがなく、MQWの結晶性が害されることがない。InP窓層5を形成するときには、下層にGaAsSbを含むMQWが形成されているので、基板温度は、たとえば温度400°C以上かつ600°C以下の範囲に厳格に維持する必要がある。その理由として、600°Cを超えて加熱すると、GaAs_{0.57}Sb_{0.43}が熱のダメージを受けて結晶性が大幅に劣化する点、および、400°C未満の温度としてInP窓層を形成すると、原料ガスの分解効率が大幅に低下するため、InP窓層5内の不純物濃度が増大し高品質なInP窓層5を得られない点があげられる。

[0042] 上記したように、従来は、MQWをMBE法によって形成する必要があった。ところが、MBE法によってInP窓層を成長するには、燐原料に固体の原料を用いる必要があり、安全性などの点で問題があった。また製造能率という点でも改良の余地があった。

本発明前は、In_{0.53}Ga_{0.47}As拡散濃度分布調整層とInP窓層との界面は、いったん大気に露出された再成長界面であった。再成長界面は、二次イオン質量分析によって、酸素濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上、および、炭素濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上のうち、少なくとも一つを満たすことによって特定することができる。再成長界面は、p型領域と交差線を形成し、交差線で電荷リークを生じて、画質を著しく劣化させる。

また、たとえばInPコンタクト層を単なるMOVPE法（全有機ではない有機金属気相成長法）によって成長すると、燐の原料にホスフィン (PH₃) を用いるため、分解温度が高く、下層に位置するGaAs_{0.57}Sb_{0.43}の熱によるダメージの発生を誘起してMQWの結晶性を害することとなる。

[0043] 上記の製造方法によれば、原料ガスに有機金属気体のみを用いて、成長温度を低下させること、および、InP窓層5の形成が終了するまで、一貫し

て同じ成膜室または石英管65の中で形成するので、再結晶界面を持たない。これによって、電荷リークが少ない、結晶性に優れた、 $1.5\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ の波長領域に受光感度を持つフォトダイオードを能率良く、大量に製造することができる。

[0044] <参考例>

図5は、参考例として示す受光素子110の断面図である。積層構造は、図1に示す本発明の実施の形態の受光素子10と類似している。すなわち、(InP基板101/InPバッファ層102/ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ と $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}$ との多重量子井戸構造の受光層103/ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層104/InP窓層105)の積層構造を有する。また、受光層103は、200ペアの量子井戸を積層して形成されている。最大の相違点は、この参考例では、受光層103を構成する $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 層103aおよび $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}$ 層103bが、ともにInPに格子整合する組成を有することである。これまではInPに格子整合する組成の($\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 層103a/ $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}$ 層103b)によって、多重量子井戸構造を形成する。これまでの $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ と $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}$ とのタイプ2の多重量子井戸構造は、例外なく、図5に示すような格子整合する組成の多重量子井戸構造を用いていた。

[0045] 図6は、図5に示す受光素子110の感度の波長依存性を示す図である。受光感度の波長上限は、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ と $\text{GaAs}_{0.51}\text{Sb}_{0.49}$ とのタイプ2の多重量子井戸構造であることを反映して $2.3\mu\text{m}$ までである。しかし、物質において重要な吸収帯が集中する波長 $1.5\mu\text{m}\sim 1.75\mu\text{m}$ では、長波長側で感度が急激に低下する。これでは、波長 $1.5\mu\text{m}\sim 1.75\mu\text{m}$ に集中する複数の吸収帯を用いて信頼性の高い解析を行うのに支障を生じる。

[0046] (実施の形態2)

図7は、本発明の実施の形態2における受光素子10を示す図である。

(InP基板1 / InPバッファ層2 / $(\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As})_{3a}$ と $(\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As})_{3c}$ との積層体からなる受光層3 / $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層4 / InP窓層5)

InP窓層5からp型不純物である亜鉛(Zn)が選択拡散されて画素が形成されている。選択拡散されたZnの分布は、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層4内において、InP窓層5の側における $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ~ $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ から受光層側における $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下へと急減している。

上記の積層構造は、つぎの考え方に基づいて構成されている。

1. 受光層3における $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ (第1の半導体層)

バンドギャップをできるだけ小さくして長波長の光を受光できるように、In組成xを0.59としている。この結果、波長1800nm程度まで受光域の上限を拡大することができる。しかし、 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ の格子定数は大きく、単独ではInPに格子整合しにくい。その結果、格子欠陥密度が高くなると暗電流が増大するため、微弱な光を十分な解像度で検出することが難しくなる。

[0047] 2. 受光層3における $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}_{3c}$ (第2の半導体層) :

(1) 第2の半導体の $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}_{3c}$ はIn組成yを、第1の半導体におけるIn組成xよりも0.12も小さくしている。第1の半導体の $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}_{3a}$ は格子定数が大きいいため、格子定数の小さい第2の半導体の $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}_{3c}$ によって格子整合上の均衡をとる。

すなわちInPの格子定数 a_0 、第1の半導体層の格子定数 a_1 、第2の半導体層の格子定数 a_2 としたとき、InPのバンドギャップエネルギーは1.27eVであり、第1の半導体層のバンドギャップエネルギーは0.73eV以下なので、第1の半導体層の格子定数(a_1)はInPの格子定数(a_0)より大きい。すなわち、 $a_1 > a_0$ が成り立つ。

そして、第2の半導体層を、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0.38 \leq y \leq 0.50$) とすると、 $a_0 > a_2$ が成り立ち、 $a_1 - a_0 (> 0)$ と、 $a_0 - a_2 (> 0)$ と

がおよそ同じ正值となる。

上記のような第1の半導体層3aと第2の半導体層3cとの組み合わせによって、 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 3aには圧縮歪が、また $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ 3cには引張歪が分布して、両者によって歪補償MQWが形成される。この結果、受光層3の厚み範囲に、 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 3aおよび $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ 3cの平均の格子定数の受光層3が配置されたとみることができる。この結果、受光層3上に接して成長される拡散濃度分布調整層4および窓層5における格子欠陥密度は大きくなり、表面性状の良好な、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 拡散濃度分布調整層4 / InP 窓層5、が形成され、暗電流は増大しない。

(2) 受光波長域の上限波長(1800nm)付近は、上記の第1の半導体の $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 3aに任せて、それよりバンドギャップの大きいエネルギーに対応する光を受光する。もちろん、第1の半導体の $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 3a自体、長波長上限付近の光だけでなく、それより短波長側の光をも受光する。

[0048] 図8は、図7に示す受光素子10の感度の波長依存性を示す図である。上記の(1)~(2)によって、波長 $1.5\mu\text{m}$ ~ $1.75\mu\text{m}$ における感度は、それより短波長側の感度から連続してほぼフラットに高いレベルにあることが分かる。本実施の形態では、タイプ2の遷移は生じることはなく、受光可能な波長の上限は、第1の半導体 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 3aのタイプ1の遷移によって決まる。

[0049] 図9は、図7に示す受光素子10の製造方法のフローチャートを示す図である。多重量子井戸構造を、 $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 3aおよび $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ 3cによって形成する点が、実施の形態1と異なるだけで、他は実施の形態1と同じである。

実施例

[0050] (実施例1)

実施の形態1に対応する受光素子を試作して、波長 $1.5\mu\text{m}$ 、 1.75

μm における受光感度、および暗電流の評価を行った。試験体は、表1に示す8つの試験体A1～A8である。これらの試験体のうち、試験体A3～A7が本発明例であり、試験体A1、A2、A8が比較例である。どの試験体も、第1の半導体層3aは $\text{In}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ であり、第2の半導体層3bは $\text{GaAs}_{0.57}\text{Sb}_{0.43}$ で構成した。厚み構成は次のとおりである。

本発明例A3：(1nm/1nm)×250ペア：受光層厚0.5 μm

本発明例A4：(5nm/5nm)×50ペア：受光層厚0.5 μm

本発明例A5：(5nm/5nm)×100ペア：受光層厚1.0 μm

本発明例A6：(5nm/5nm)×200ペア：受光層厚2.0 μm

本発明例A7：(10nm/10nm)×100ペア：受光層厚2.0 μm

比較例A1：(5nm/5nm)×40ペア：受光層厚0.4 μm

比較例A2：(0.5nm/0.5nm)×500ペア：受光層厚0.5 μm

比較例A8：(20nm/20nm)×50ペア：受光層厚2.0 μm

試験は、波長1.5 μm および1.75 μm での受光感度(A/W)および暗電流を測定した。各波長における受光感度は室温で、白色光を各波長に対応するバンドパスフィルタを通して基板裏面より入射したときに発生した光電流により測定した。暗電流は室温で、光を照射しないときに流れる電流より測定した。暗電流は、10mA/cm²以上を不良(×)とし、10mA/cm²未満を良好(○)とした。また感度については、波長1.5 μm の感度と1.75 μm の感度との比が0.8以上であって、各感度自体が0.20A/W以上の場合を良好(○)とした。上記の感度比が0.8未満の場合を不良(×)とした。暗電流および感度の両方において不良(×)を含まない試験体を総合判定良好(○)とした。とくに感度自体が1.0A/W以上の場合を優良(◎)とした。

[0051]

[表1]

試験体 No.	第1の半導体層 In _{0.59} Ga _{0.41} As 膜厚 (nm)	第2の半導体層 GaAs _{0.57} Sb _{0.43} 膜厚 (nm)	ペア数	受光層厚 (μm)	感度 波長 1.5 μm (A/W)	感度 波長 1.75 μm (A/W)	感度 波長 2.0 μm (A/W)	感度 (1.75 μm) /感度 (1.5 μm)	暗電流 評価	総合 判定
A1	5	5	40	0.4	0.20	0.15	0.1	0.75	○	×
A2	0.5	0.5	500	0.5	0.13	0.10	0.1	0.8	×	×
A3	1	1	250	0.5	0.25	0.20	0.2	0.8	○	○
A4	5	5	50	0.5	0.25	0.20	0.1	0.8	○	○
A5	5	5	100	1.0	0.50	0.40	0.2	0.8	○	○
A6	5	5	200	2.0	1.1	1.0	0.4	0.9	○	◎
A7	10	10	100	2.0	1.1	1.0	0.2	0.9	○	○
A8	20	20	50	2.0	1.1	1.0	0.1	0.9	×	×

[0052] 表1に示すように、本発明例A3～A7では、上記の感度比は0.8以上であり、暗電流の評価も良好であった。とくに、本発明例A6は、感度および暗電流ともに優れた評価が得られ、総合判定で優良(◎)が得られた。これに対して、比較例A1では感度比が不良であった。比較例A2は感度自体が低く、また暗電流も大きかった。また比較例A8では、波長1.5 μmおよび1.75 μmにおける感度は良好であったが、暗電流が非常に大きかった。

[0053] (実施例2)

実施の形態2に対応する受光素子を試作して、波長1.5 μm、1.75 μmにおける受光感度、および暗電流の評価を行った。試験体は、表2に示す8つの試験体B1～B8である。これらの試験体のうち、試験体B3～B7が本発明例であり、試験体B1、B2、B8が比較例である。どの試験体も、第1の半導体層3aはIn_{0.59}Ga_{0.41}Asであり、第2の半導体層3cはIn_{0.47}Ga_{0.53}Asで構成した。厚み構成は次のとおりである。

本発明例B3：(1 nm / 1 nm) × 250ペア：受光層厚0.5 μm

本発明例B4：(5 nm / 5 nm) × 50ペア：受光層厚0.5 μm

本発明例 B 5 : (5 n m / 5 n m) × 1 0 0 ペア : 受光層厚 1. 0 μ m

本発明例 B 6 : (5 n m / 5 n m) × 2 0 0 ペア : 受光層厚 2. 0 μ m

本発明例 B 7 : (1 0 n m / 1 0 n m) × 1 0 0 ペア : 受光層厚 2. 0 μ m

比較例 B 1 : (5 n m / 5 n m) × 4 0 ペア : 受光層厚 0. 4 μ m

比較例 B 2 : (0. 5 n m / 0. 5 n m) × 5 0 0 ペア : 受光層厚 0. 5 μ m

比較例 B 8 : (2 0 n m / 2 0 n m) × 5 0 ペア : 受光層厚 2. 0 μ m

試験は、波長 1. 5 μ m および 1. 7 5 μ m での受光感度 (A / W) および暗電流を測定した。暗電流は、1 0 m A / c m ² 以上を不良 (×) とし、1 0 m A / c m ² 未満を良好 (○) とした。また感度については、波長 1. 5 μ m の感度と 1. 7 5 μ m の感度との比が 0. 8 以上であって、各感度自体が 0. 2 0 A / W 以上の場合を良好 (○) とした。上記の感度比が 0. 8 未満の場合を不良 (×) とした。暗電流および感度の両方において不良 (×) を含まない試験体を総合判定良好 (○) とした。とくに感度自体が 1. 0 A / W 以上の場合を優良 (⊙) とした。

[0054] [表2]

試験体 No.	第1の半導体層 In _{0.59} Ga _{0.41} As 膜厚 (nm)	第2の半導体層 In _{0.47} Ga _{0.53} As 膜厚 (nm)	ペア数	受光層厚 (μm)	感度 波長 1.5 μm (A/W)	感度 波長 1.75 μm (A/W)	感度 波長 2.0 μm (A/W)	感度 (1.75 μm) /感度 (1.5 μm)	暗電流 評価	総合 判定
B1	5	5	40	0.4	0.20	0.15	0	0.75	○	×
B2	0.5	0.5	500	0.5	0.13	0.10	0	0.8	×	×
B3	1	1	200	0.5	0.25	0.20	0	0.8	○	○
B4	5	5	50	0.5	0.25	0.20	0	0.8	○	○
B5	5	5	100	1.0	0.50	0.40	0	0.8	○	○
B6	5	5	200	2.0	1.1	1.0	0	0.9	○	⊙
B7	10	10	100	2.0	1.1	1.0	0	0.9	○	○
B8	20	20	50	2.0	1.1	1.0	0	0.9	×	×

[0055] 表2によれば、本発明例B3～B7における上記の感度比は0.8以上であり、暗電流の評価も良好であった。とくに、本発明例B6では、感度および暗電流ともに優れた評価が得られ、総合判定で優良(◎)が得られた。これに対して、比較例B1では感度比が不良であった。比較例B2は感度自体が不良であり、また暗電流も大きかった。また比較例B8では、波長1.5 μm および1.75 μm における感度は良好であったが、暗電流が非常に大きかった。

[0056] 上記において、本発明の実施の形態について説明を行ったが、上記に開示された本発明の実施の形態は、あくまで例示であって、本発明の範囲はこれら発明の実施の形態に限定されない。本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

産業上の利用可能性

[0057] 本発明の受光素子等によれば、近赤外の波長域1.5 μm ～1.8 μm において十分高い感度をフラットにもち、暗電流を低くできる。このため、少ない光量にもかかわらず鮮明な画像を得ることができ、通信用、夜間撮像用のみならず幅広い用途に好適に用いることができる。

請求の範囲

- [請求項1] InP 基板上に形成された III-V 族化合物半導体による受光素子であって、
- 前記 InP 基板上に接して位置するバッファ層と、
- 前記バッファ層上に接して位置する受光層とを備え、
- 前記受光層が、バンドギャップエネルギー 0.73 eV 以下の第1の半導体層と、該第1の半導体層のバンドギャップエネルギーよりも大きいバンドギャップエネルギーを持つ第2の半導体層とを交互に積層して50ペア以上含み、
- 前記第1の半導体層および第2の半導体層が歪補償量子井戸構造を形成し、該第1の半導体層および第2の半導体層の厚みが両方とも 1 nm 以上 10 nm 以下であることを特徴とする、受光素子。
- [請求項2] 波長 $1.5\ \mu\text{m}$ および $1.75\ \mu\text{m}$ を含む波長域に受光感度を有する受光素子であって、波長 $1.5\ \mu\text{m}$ の受光感度と波長 $1.75\ \mu\text{m}$ の受光感度との比が、 0.8 以上 1.2 以下であることを特徴とする、請求項1に記載の受光素子。
- [請求項3] 前記第1の半導体層および第2の半導体層が、(1) タイプ2の多重量子井戸構造を形成するか、または(2) 組成が異なる同じ化合物半導体であることを特徴とする、請求項1または2に記載の受光素子。
- [請求項4] 前記第1の半導体層の前記受光層における合計膜厚が、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする、請求項1～3のいずれか1項に記載の受光素子。
- [請求項5] バッファ層のバンドギャップエネルギーが、前記第1の半導体層および第2の半導体層のいずれのバンドギャップエネルギーよりも大きいことを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の受光素子。
- [請求項6] 前記第1の半導体層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0.56 \leq x \leq 0.68$) であることを特徴とする、請求項1～5のいずれか1項に記載の

受光素子。

[請求項7] 前記第2の半導体層が、 $In_yGa_{1-y}As$ ($0.38 \leq y \leq 0.50$)であることを特徴とする、請求項1～6のいずれか1項に記載の受光素子。

[請求項8] 前記第2の半導体層が $GaAs_zSb_{1-z}$ ($0.54 \leq z \leq 0.66$)であることを特徴とする、請求項1～6のいずれか1項に記載の受光素子。

[請求項9] 前記InP基板上的の前記受光層を含むエピタキシャル層の表層にInP窓層を備え、前記バッファ層の底面と前記InP窓層表面との間に、再成長界面を持たないことを特徴とする、請求項1～8のいずれか1項に記載の受光素子。

[請求項10] 前記バッファ層がPを含むことを特徴とする、請求項1～9のいずれか1項に記載の受光素子。

[請求項11] 前記InP基板の裏面を入射面とするための基板裏面入射構造を備えることを特徴とする、請求項1～10のいずれか1項に記載の受光素子。

[請求項12] 選択拡散によって導入された不純物の先端部にpn接合を備え、前記受光層の前記InP基板と反対側の面である上面に接するIII-V族化合物半導体の拡散濃度分布調整層と、その拡散濃度分布調整層上に接するPを含む窓層とを備え、前記拡散濃度分布調整層のバンドギャップエネルギーが前記窓層のバンドギャップエネルギーよりも小さいことを特徴とする、請求項1～11のいずれか1項に記載の受光素子。

[請求項13] InP基板上に形成されたIII-V族化合物半導体による受光素子の製造方法であって、

前記InP基板上にバッファ層を形成する工程と、

前記バッファ層上に、バンドギャップ 0.73 eV 以下の第1の半導体層と、該第1の半導体層よりも大きいバンドギャップを持つ第2

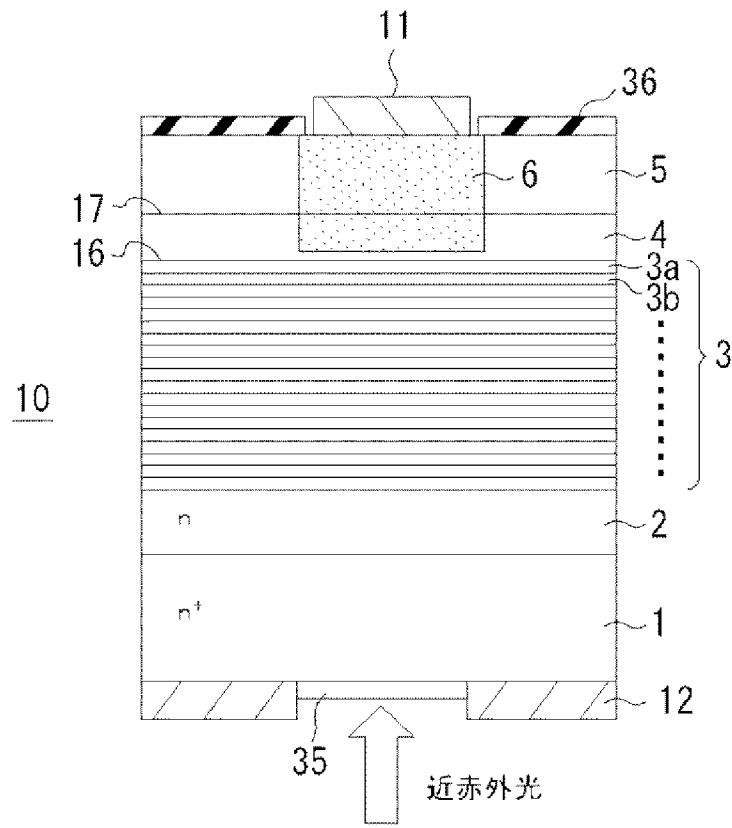
の半導体層とを、該第1および第2の半導体層の両方ともに厚み1 nm以上10 nm以下で、交互に50ペア以上積層して、多重量子井戸構造の受光層を形成する工程とを備え、

前記多重量子井戸構造の受光層の形成工程では、全有機金属気相成長法によって、成長温度または基板温度600℃以下で成長することを特徴とする、受光素子の製造方法。

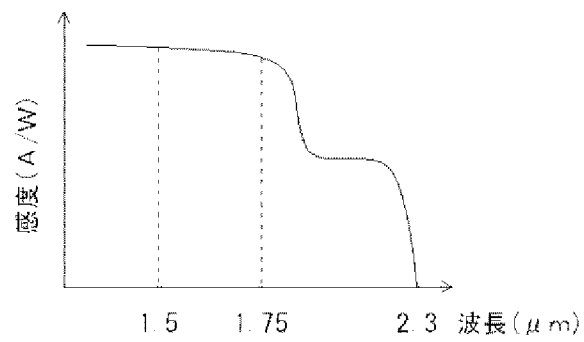
[請求項14]

前記受光層の上にIII-V族化合物半導体層を形成する工程を備え、前記受光層を形成し始めるときから前記III-V族化合物半導体層を形成し終わるときまで、全有機金属気相成長法によって同じ成膜室内で成長することを特徴とする、請求項13に記載の受光素子の製造方法。

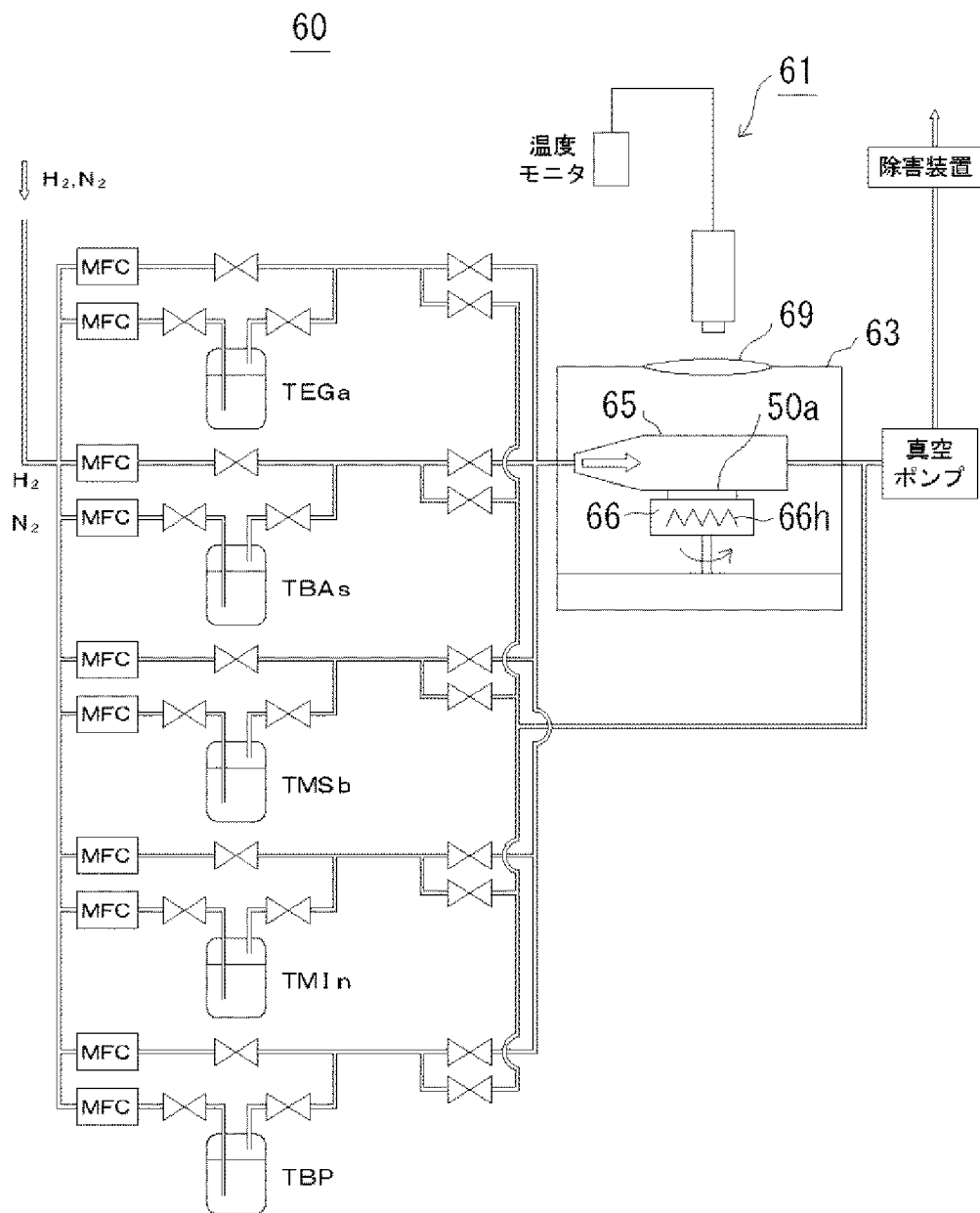
[図1]



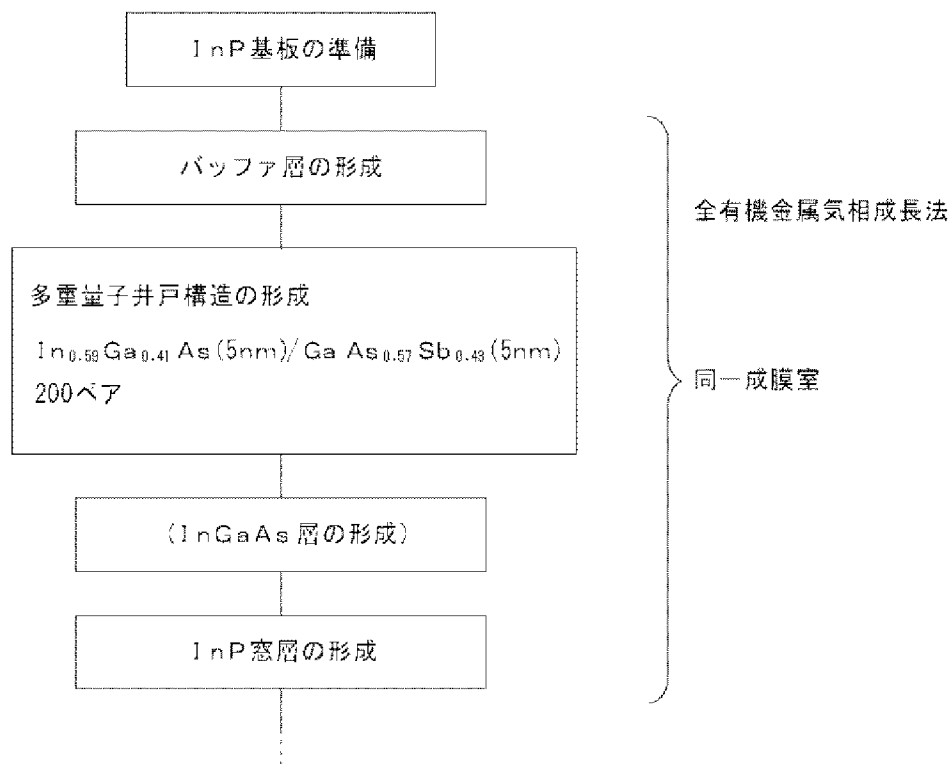
[図2]



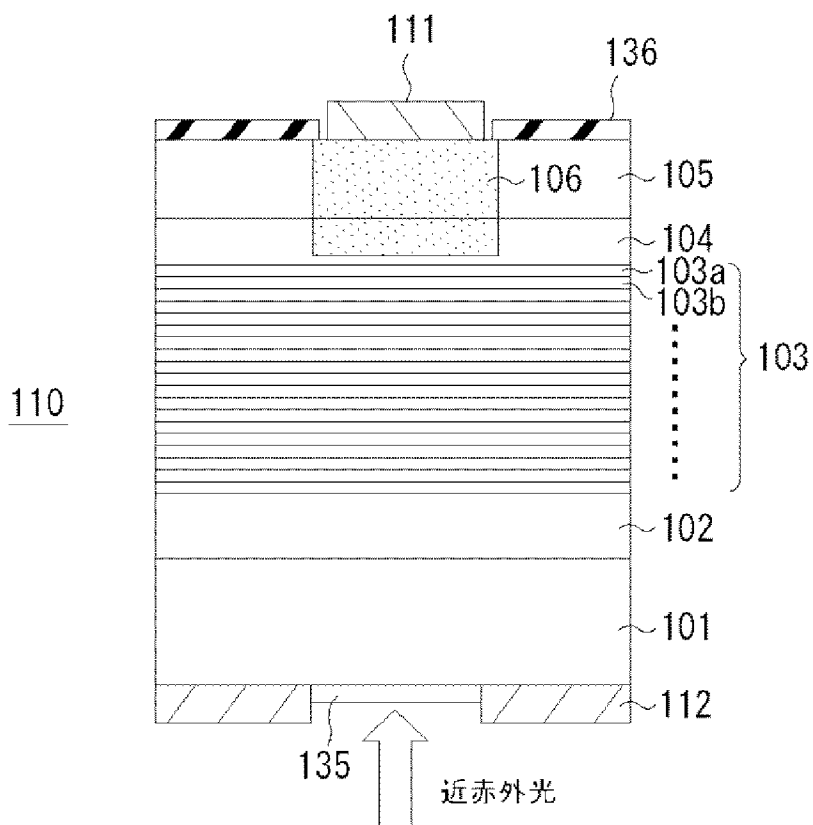
[図3]



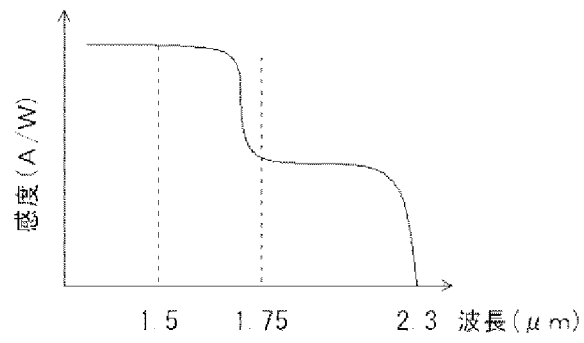
[図4]



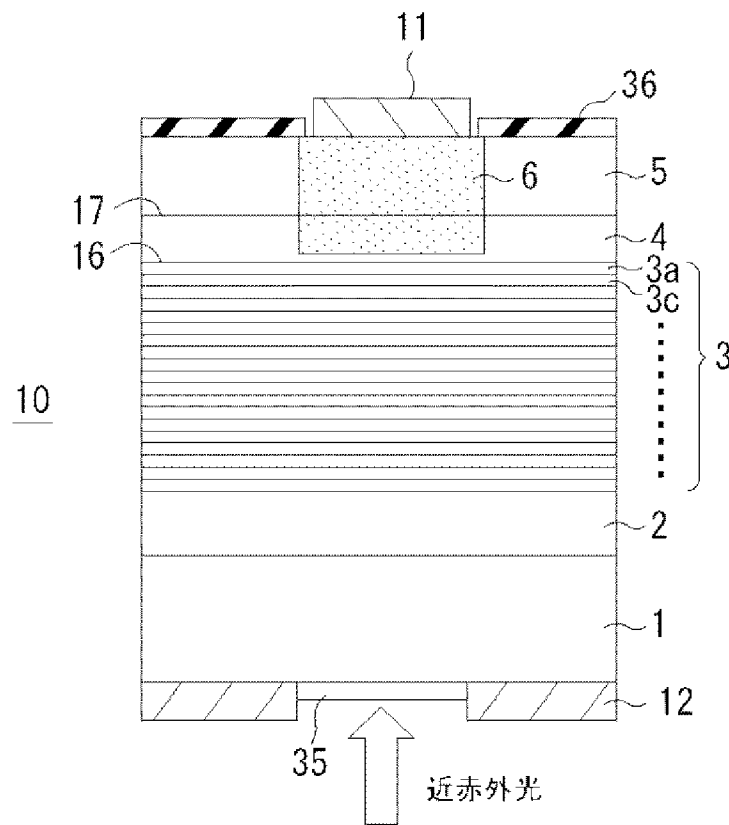
[図5]



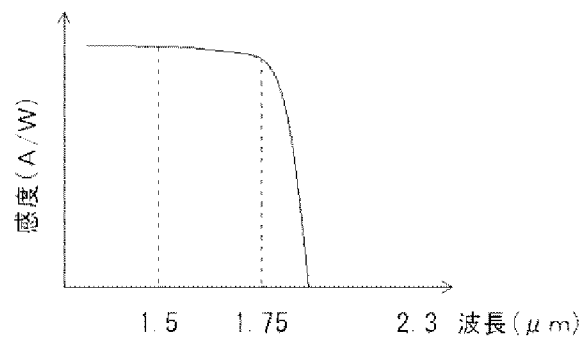
[図6]



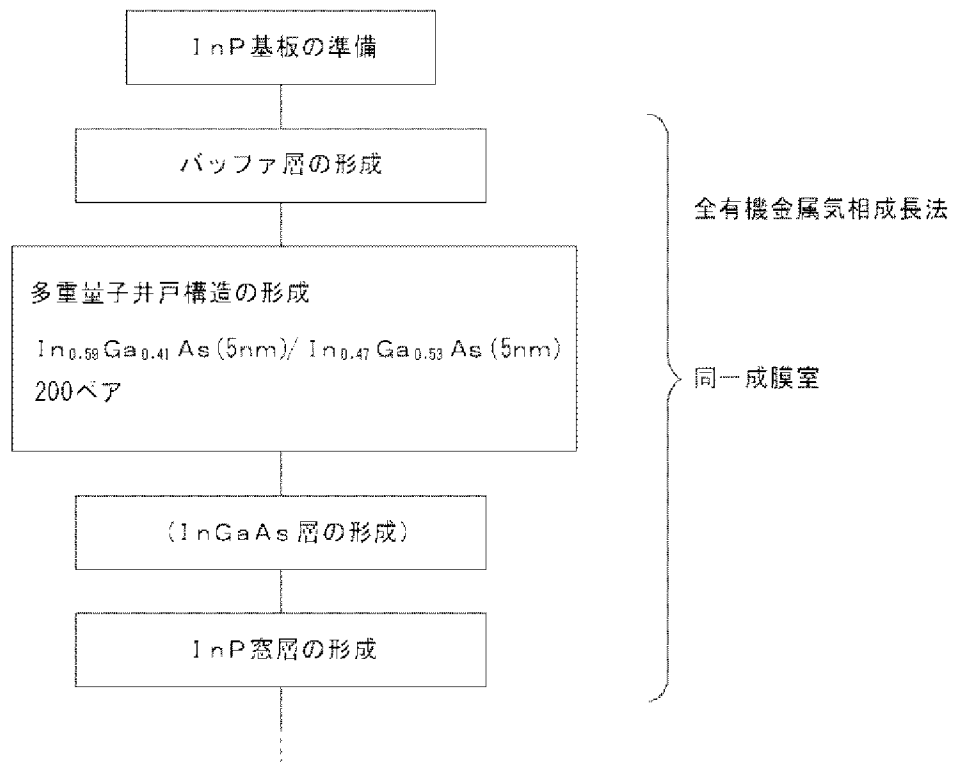
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/052478

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)

H01L31/10

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

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/016309 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 10 February 2011 (10.02.2011), paragraphs [0009] to [0050]; fig. 1, 5 & JP 2011-54915 A & CN 102203960 A	1-14
Y	Junxian Fu, Xiaojun Yu, Yu-Hsuan Kuo, James S Harris Jr., Extended InGaAs/InGaAs Quantum Structures for Near Infrared Photodetection beyond 1.9 μ m, 2005 Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), 2005.05.27, Vol.2, 1266-1267	1-14
Y	JP 9-219563 A (Hitachi, Ltd.), 19 August 1997 (19.08.1997), paragraph [0008] (Family: none)	1-14

 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

"I" 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
23 April, 2012 (23.04.12)Date of mailing of the international search report
01 May, 2012 (01.05.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/052478

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/073768 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 July 2010 (01.07.2010), paragraphs [0003], [0013], [0038], [0045] & JP 2009-206499 A & EP 2372787 A1 & WO 2010/073768 A1	1-14
Y	JP 4-61174 A (NEC Corp.), 27 February 1992 (27.02.1992), fig. 3 (Family: none)	1-14
Y	JP 2008-288293 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 27 November 2008 (27.11.2008), paragraph [0004] (Family: none)	1-14
Y	JP 2002-64217 A (Fujitsu Quantum Devices Ltd.), 28 February 2002 (28.02.2002), paragraphs [0039] to [0049] & US 2001/0048118 A1 & EP 1162667 A1	3
Y	JP 7-74381 A (Mitsubishi Electric Corp.), 17 March 1995 (17.03.1995), paragraph [0010] (Family: none)	3
Y	JP 6-188449 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 08 July 1994 (08.07.1994), paragraph [0008] & US 5608230 A & EP 627771 A1 & WO 1994/015367 A1	6
A	H.Takasaki, Y.Kawamura, T.Katayama, A.Yamamoto, H.Naito, N.Inoue, Photoluminescence properties of In _{0.53} Ga _{0.47} As/GaAs _{0.5} Sb _{0.5} type2 quantum well structures lattice-matched to InP, Applied Surface Science, 159-160, ELSEVIER, 2000, 528-531	1-14
A	JP 2008-153311 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 03 July 2008 (03.07.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-14

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. H01L31/10

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	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012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	WO 2011/016309 A1 (住友電気工業株式会社) 2011.02.10, [0009] - [0050]、[図1]、[図5] & JP 2011-54915 A & CN 102203960 A	1-14
Y	Junxian Fu, Xiaojun Yu, Yu-Hsuan Kuo, James S Harris Jr., Extended InGaAs/InGaAs Quantum Structures for Near Infrared Photodetection beyond 1.9 μm, 2005 Quantum Electronics and Laser Science Conference(QELS), 2005.05.27, Vol.2, 1266-1267	1-14

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

23.04.2012

国際調査報告の発送日

01.05.2012

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 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)

森江 健蔵

2K

4466

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 9-219563 A (株式会社日立製作所) 1997. 08. 19, 【0008】 (ファミリーなし)	1 - 1 4
Y	WO 2010/073768 A1 (住友電気工業株式会社) 2010. 07. 01, [0003]、[0013]、[0038]、[0045] & JP 2009-206499 A & EP 2372787 A1 & WO 2010/073768 A1	1 - 1 4
Y	JP 4-61174 A (日本電気株式会社) 1992. 02. 27, 第3図 (ファミリーなし)	1 - 1 4
Y	JP 2008-288293 A (日本電信電話株式会社) 2008. 11. 27, 【0004】 (ファミリーなし)	1 - 1 4
Y	JP 2002-64217 A (富士通カンタムデバイス株式会社) 2002. 02. 28, 【0039】 - 【0049】 & US 2001/0048118 A1 & EP 1162667 A1	3
Y	JP 7-74381 A (三菱電機株式会社) 1995. 03. 17, 【0010】 (ファミリーなし)	3
Y	JP 6-188449 A (古河電気工業株式会社) 1994. 07. 08, 【0008】 & US 5608230 A & EP 627771 A1 & WO 1994/015367 A1	6
A	H. Takasaki, Y. Kawamura, T. Katayama, A. Yamamoto, H. Naito, N. Inoue, Photoluminescence properties of In _{0.53} Ga _{0.47} As/GaAs _{0.5} Sb _{0.5} type2 quantum well structures lattice-matched to InP, Applied Surface Science, 159-160, ELSEVIER, 2000, 528-531	1 - 1 4
A	JP 2008-153311 A (住友電気工業株式会社) 2008. 07. 03, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 1 4