

(43) 国際公開日  
2006 年 9 月 28 日 (28.09.2006)

PCT

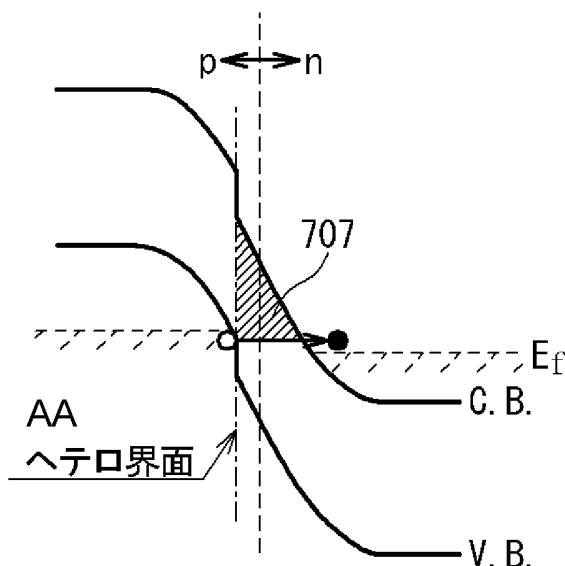
(10) 国際公開番号  
WO 2006/100975 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01S 5/042 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/305094
- (22) 国際出願日: 2006 年 3 月 15 日 (15.03.2006)
- (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2005-083308 2005 年 3 月 23 日 (23.03.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鈴木 尚文 (SUZUKI, Naofumi) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH, Minoru); 〒1400013 東京都品川区南大井六丁目 2 4 番 1 0 号カドヤビル 6 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: TUNNEL JUNCTION LIGHT EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: トンネル接合発光素子



AA-HETEROINTERFACE

(57) Abstract: A tunnel junction light emitting element is provided with an active layer and an electron tunnel region for supplying the active layer with a carrier. The electron tunnel region is provided with a first p-type semiconductor layer, a second p-type semiconductor layer and an n-type semiconductor layer. The second p-type semiconductor layer is sandwiched between the first p-type semiconductor layer and the n-type semiconductor layer, and the first p-type semiconductor layer, the second p-type semiconductor layer and the n-type semiconductor layer form a tunnel junction whereupon a reverse bias is applied. An energy level at an upper end of a valence band of the second p-type semiconductor layer is the same or lower than an energy level at an upper end of a valence band of the first p-type semiconductor layer.

(57) 要約: 本発明に係るトンネル接合発光素子は、活性層と、その活性層にキャリアを供給する電子トンネル領域とを備える。電子トンネル領域は、第1 p型半導体層と、第2 p型半導体層と、n型半導体層とを有する。第2 p型半導体層は、第1 p型半導体層とn型半導体層により挟まれており、第1 p型半導体層、第2 p型半導体層、及びn型半導体層は、逆バイアスが印

加されるトンネル接合を形成する。第2 p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位は、第1 p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位と同じかそれより低い。



---

— 補正書・説明書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### トンネル接合発光素子

### 技術分野

- [0001] 本発明は、光通信や光インターコネクションの分野における化合物半導体を用いた発光素子に関する。特に、本発明は、トンネル接合を有するトンネル接合発光素子に関する。

### 背景技術

- [0002] 長距離、大容量伝送が可能な光通信が知られている。特に長距離通信において、従来から多くの光通信技術が実用化されている。一般に、光通信の送信装置においては、光源として半導体レーザが用いられている。半導体レーザにおいて、消費電力の増大や発熱が素子特性や素子寿命の低下、場合によっては変調速度の低下を招くため、その電気抵抗を小さく抑えることが望ましい。特に、面発光型レーザ(VCSEL)は、電極や活性層の面積が小さいため、抵抗や熱抵抗が大きい。これら抵抗によって生じる熱の影響は大きく、そのことは出力や変調速度が制限される原因となっている。このため、面発光型レーザでは、特に電気抵抗を小さく抑える技術が重要である。一方、励起レーザのような共振器長の長い半導体レーザでは、抵抗は比較的小さいものの、動作電流が大きい。このことも、発熱の増大を招き、出力飽和の原因となる。従って、励起レーザにおいても、抵抗を更に低減する技術が望まれている。
- [0003] 抵抗を小さくするには、電流の通る面積を大きくすることが有効である。そのため、電流狭窄幅あるいは活性層ストライプ幅を増加させることによって低抵抗化が試みられてきた。しかし面発光型レーザの場合、一般的に、電流狭窄幅の増加は変調帯域の減少を招く。また、電流狭窄幅の増加はマルチモード化につながり、それはシングルモードファイバを用いる通信には不適切である。また、エッジエミッタ型レーザの場合においても、活性層ストライプ幅の増加はマルチモード化を招き、問題である。
- [0004] 上述した問題を解消するために、トンネル接合を用いてキャリアの(電子-正孔)反転を行う技術が提案されている。具体的には、キャリアの反転により、抵抗の高いp型半導体の大部分がn型半導体に置き換えられ、それにより抵抗が低減される。そのよ

うな構造は、1.55  $\mu\text{m}$  帯の面発光型レーザで多く用いられている。しかし、従来のトンネル接合の電気的特性は十分でなかった。つまり、従来のトンネル接合では電圧降下が大きい、すなわち抵抗が大きく、そのことが、n型半導体による置き換えの効果を相殺していた。よって、全体としては十分な低抵抗化は実現できなかった。また、トンネル接合におけるキャリアのトンネル確率は、バンドギャップが大きいほど低くなる。従って、波長の短いレーザほどトンネル接合部の抵抗が大きくなる。このため、例えば1.3  $\mu\text{m}$  帯の面発光型レーザでは、トンネル接合はほとんど用いられていない。

[0005] ヘテロ接合界面を有するトンネル接合が記載された文献として、次の従来技術文献が知られている。特開2002-134835号公報に記載された技術によれば、接合のp側とn側で異なる組成の化合物半導体を用いられている。より詳細には、n側半導体の伝導帯下端のエネルギー準位がp側半導体の伝導帯下端のエネルギー準位よりも低く、且つ、n側半導体の価電子帯上端のエネルギー準位がp側半導体の価電子帯上端のエネルギー準位よりも低い。すなわち、いわゆるType-IIのヘテロ接合が用いられている。また、特開2004-336039号公報に記載された技術によれば、接合のn側にInGaP層が挿入され、GaAs層よりn型ドーパントであるSiの濃度が増加させられる。

[0006] 特表2003-518326号公報には、タイプIIインターバンドヘテロ構造ダイオードが記載されている。そのダイオードは、InAsの第1層とGaSbまたはInGaSbの第2層から成るヘテロ構造を含んでいる。それら第1層と第2層は、アルミニウムアンチモンド化合物からなるインタフェース層で分離されている。インタフェース層は十分に薄く、インタフェース層を通じてバイアストンネル現象が発生する。

### 発明の開示

[0007] 本発明の目的は、トンネル接合を用いたトンネル接合発光素子の抵抗を更に低減することができる技術を提供することにある。

[0008] 本発明の第1の観点において、トンネル接合発光素子は、活性層と、その活性層にキャリアを供給する電子トンネル領域とを備えている。電子トンネル領域は、トンネル接合を有しており、そのトンネル接合は、2種類以上のp型半導体層と1種類以上のn型半導体層から形成される。具体的には、電子トンネル領域は、少なくとも第1p型半

導体層と、第2p型半導体層と、n型半導体層とを有する。第2p型半導体層は、第1p型半導体層とn型半導体層により挟まれており、第1p型半導体層、第2p型半導体層、及びn型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成する。この逆バイアスの印加により、第1p型半導体層の側からn型半導体層の側へ電子がトンネリングし、電流が流れる。第1p型半導体層は、電子のトンネルの起点となる。尚、第2p型半導体層の膜厚は5nm未満であると好ましい。

[0009] 本発明によれば、上記第2p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位は、第1p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位と同じかそれより低い。好適には、上記第2p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位は、第1p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位より低い。また、第2p型半導体層におけるドーピング濃度は、第1p型半導体層におけるドーピング濃度より高いことが好適である。これらのことにより、電子がトンネルすべき障壁が低減され、トンネル確率が増大する。その結果、低い電圧で大きな電流が流れる、すなわち、抵抗が低減される。尚、エネルギー準位の高低とは、電子トンネル領域を構成する各半導体層がドーピングされていない状態のバンドラインナップを考えた場合の、エネルギー準位の比較結果を意味している。

[0010] 本発明の第2の観点において、トンネル接合発光素子は、活性層と、その活性層にキャリアを供給する電子トンネル領域とを備えている。電子トンネル領域は、少なくとも第1p型半導体層と、第2p型半導体層と、n型半導体層とを有する。第2p型半導体層は、第1p型半導体層とn型半導体層により挟まれており、第1p型半導体層、第2p型半導体層、及びn型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成する。この逆バイアスの印加により、第1p型半導体層の側からn型半導体層の側へ電子がトンネリングし、電流が流れる。第1p型半導体層及び第2p型半導体層は、Type-IIのヘテロ界面を形成している。

[0011] 上述のトンネル接合発光素子において、第1p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位が、n型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高いと好ましい。また、第1p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位が、n型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位よりも高いと好ましい。

- [0012] 本発明の第3の観点において、トンネル接合発光素子は、活性層と、その活性層にキャリアを供給する電子トンネル領域とを備えている。電子トンネル領域は、少なくとも第1p型半導体層と、第2p型半導体層と、n型半導体層とを有する。第2p型半導体層は、第1p型半導体層とn型半導体層により挟まれており、第1p型半導体層、第2p型半導体層、及びn型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成する。この逆バイアスの印加により、第1p型半導体層の側からn型半導体層の側へ電子がトンネリングし、電流が流れる。上記第2p型半導体層の厚さは5nm未満である。
- [0013] 本発明の第4の観点において、トンネル接合発光素子は、活性層と、その活性層にキャリアを供給する電子トンネル領域とを備えている。電子トンネル領域は、p型半導体層とn型半導体層からなるトンネル接合を有し、そのトンネル接合には逆バイアスが印加される。このp型半導体層の少なくとも一部は、SbとPの少なくとも一方を含む化合物半導体からなる。この元素の濃度は、pn界面からp型方向に向けて高くなっている。
- [0014] 本発明の第5の観点において、トンネル接合発光素子は、活性層と、その活性層にキャリアを供給する電子トンネル領域とを備えている。電子トンネル領域は、p型半導体層とn型半導体層からなるトンネル接合を有し、そのトンネル接合には逆バイアスが印加される。このp型半導体層の少なくとも一部は、InとNの少なくとも一方を含む化合物半導体からなる。
- [0015] 本発明は、面発光型レーザに適用されると好適である。
- [0016] 本発明に係るトンネル接合発光素子によれば、従来技術と比較して、更に抵抗が低減される。

#### 図面の簡単な説明

- [0017] [図1A]図1Aは、本発明の第1の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。
- [図1B]図1Bは、本発明の第1の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。
- [図1C]図1Cは、本発明の第1の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図1D]図1Dは、本発明の第1の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。

[図1E]図1Eは、本発明の第1の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図2A]図2Aは、本発明の第2の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図2B]図2Bは、本発明の第2の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図2C]図2Cは、本発明の第2の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図2D]図2Dは、本発明の第2の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。

[図2E]図2Eは、本発明の第2の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図3A]図3Aは、本発明の第3の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図3B]図3Bは、本発明の第3の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図3C]図3Cは、本発明の第3の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図3D]図3Dは、本発明の第3の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。

[図3E]図3Eは、本発明の第3の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図4A]図4Aは、本発明の第4の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図4B]図4Bは、本発明の第4の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図4C]図4Cは、本発明の第4の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。

[図4D]図4Dは、本発明の第4の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図5A]図5Aは、本発明の第5の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図5B]図5Bは、本発明の第5の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図5C]図5Cは、本発明の第5の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。

[図5D]図5Dは、本発明の第5の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図6A]図6Aは、本発明の第6の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図6B]図6Bは、本発明の第6の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。

[図6C]図6Cは、本発明の第6の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。

[図6D]図6Dは、本発明の第6の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図7A]図7Aは、本発明による作用・効果を説明するための図であり、従来技術に係るエネルギーバンド図である。

[図7B]図7Bは、本発明による作用・効果を説明するための図であり、従来技術に係るエネルギーバンド図である。

[図7C]図7Cは、本発明の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図7D]図7Dは、本発明の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図8]図8は、本発明の他の実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンド図である。

[図9]図9は、不適切なヘテロ接合の例を示すエネルギーバンド図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0018] 以下、添付の図面を参照して、本発明の実施の形態に係るトンネル接合発光素子を詳しく説明する。

[0019] (第1の実施の形態)

図1A～図1Cは、第1の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。図1Dは、第1の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。第1の実施の形態においては、GaAsからなる基板101の上に形成される発振波長1.3  $\mu\text{m}$ の面発光型レーザが、例として説明される。

[0020] まず、図1Aに示されるように、n型のGaAsからなる基板101の上に、第1のDBR層102が形成される。第1のDBR層102において、複数のDBRが積層されており、基本単位である各DBR(n型半導体ミラー層)は、n型のGaAs層とn型の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の一对から構成されている。第1のDBR層102の上には、n型の $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなるクラッド層103、ノンドープGaInNAs量子井戸とGaAs障壁層からなる活性層104、及びp型の $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなるクラッド層105が順次積層される。更に、クラッド層105上には、p-GaAs層106、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層107、 $\text{p}^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層108、及び $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層109が順次積層される(第1工程)。

[0021] これらの層は、例えば、有機金属気相成長(MOCVD)法により形成可能である。ここで、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層107及び $\text{p}^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層108に関するp型ドーパントとしてはCが用いられる。一方、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層109に関するn型ドーパントとしてはSeが用いられる。また、p型ドーピング濃度は $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、n型ドーピング濃度は $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。また、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層107の膜厚は5nm、 $\text{p}^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層108の膜厚は1.8nm、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層109の膜厚は10nmである。

[0022] 次に、フォトリソグラフィ技術により、直径約6  $\mu\text{m}$ の円形のレジストパターンが形成さ

れる。そのレジストパターンをマスクとして用いるエッチングにより、 $p^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  層107、 $p^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$  層108、 $n^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$  層109 が除去される。その後、そのレジストパターンは除去される(第2工程)。その結果、図 1Bに示されるように、円筒状に加工された $p^+-\text{InGaAs}$ 層107、 $p^+-\text{GaInNAs}$ 層108、及び $n^+-\text{GaInNAs}$ 層109が得られる。本実施の形態において、これら円筒状に加工された $p^+-\text{InGaAs}$ 層107、 $p^+-\text{GaInNAs}$ 層108、及び $n^+-\text{GaInNAs}$ 層109が、上記活性層104にキャリアを供給する「電子トンネル部(電子トンネル領域)」となる。

[0023] 次に、MOCVD法により、 $n-\text{GaAs}$ 層110及び第2のDBR層111が、順次積層される。その第2のDBR層111において、複数のDBRが積層されており、基本単位である各DBR( $n$ 型半導体ミラー層)は、 $n$ 型の $\text{GaAs}$ 層と $n$ 型の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の一对から構成されている(第3工程)。その結果、図1Bに示されるように、上記電子トンネル部が $n-\text{GaAs}$ 層110により覆われた状態となる。なお、各々のDBR層において、高屈折率の $\text{GaAs}$ 層と低屈折率の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の各々の膜厚は、これら媒質内の各々の光路長が発振波長のほぼ $1/4$ になるように設定されている。

[0024] 次に、誘電体膜が第2のDBR層111の上に堆積される。そして、その誘電体膜の上に、フォトリソグラフィ技術によって直径約 $20\mu\text{m}$ のレジストパターンが形成される。そのレジストパターンは、第2工程で形成された直径 $6\mu\text{m}$ の電子トンネル部と中心軸が一致するような円(円盤)形状を有している。次に、そのレジストパターンをマスクとして用いるドライエッチングにより、誘電体がエッチングされる。その後、レジストパターンが除去され、円形の誘電体パターンが形成される。続いて、その誘電体パターンをマスクとして用いるドライエッチングにより、第1のDBR層102の表面が露出するまでエッチングが実施される(第4工程)。その後、上記誘電体パターンは除去される。その結果、図1Cに示されるように、直径約 $20\mu\text{m}$ の円柱状構造112が形成される。

[0025] 次に、上記メサエッチングにより露出した第1のDBR層102の上に、図1Dに示されるように電極113が形成される。具体的には、まず、全域にレジストが塗布される。そして、リソグラフィ技術によって、電極が形成される部分のみ除去されたレジストパターンが形成される。続いて、 $\text{Ti/Pt/Au}$ 膜が蒸着される。その後、上記レジストパター

ーンを除去することによるリフトオフが行われる。その結果、第1のDBR層102(円柱状構造112)上の一部の領域に、電極113が形成される(第5工程)。

[0026] 次に、図1Dに示されるように、ポリイミド樹脂が塗布され、ポリイミド層114が形成される。続いて、リソグラフィ技術によって、上記第5工程で形成された電極113上のポリイミドが除去される(第6工程)。

[0027] 次に、第2のDBR層111に接続する電極115が形成される。上記電極113の形成と同様に、全域にレジストが塗布された後、リソグラフィ技術によってレジストパターンが形成される。続いて、Ti/Pt/Au膜が蒸着される。その後、上記レジストパターンを除去することによりリフトオフが行われる。その結果、図1Dに示されるように、電極115及びその電極に接続されるパッド電極116が形成される。また、同時に、ポリイミド層114の上に、電極113に接続されるパッド電極117が形成されている(第7工程)。

[0028] なお、上記例においては1個の面発光型レーザが形成される場合が示されているが、GaAsからなる基板101の上に、複数の面発光型レーザが形成されてもよい。その場合、基板101の上に作成された複数の面発光型レーザは、1個ごともしくは所望のアレイ状(例えば1個×10個、100個×100個など)に切り出されて使用される。

[0029] 以上に示された製造工程により、第1の実施の形態に係る面発光型レーザが得られる。本実施の形態によれば、 $p^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層107、 $p^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_0$ 層108、及び $n^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層109がトンネル接合を形成しており、電子がトンネルする部分(電子トンネル領域)を構成している。p型層107及びn型層109は、同じ化合物半導体から形成されており、p型層107及び108は、異なる化合物半導体から形成されている。 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ (p型層108)の伝導体下端のエネルギー準位は、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ (p型層107)のものよりも低い。また、 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ (p型層108)の価電子帯上端のエネルギー準位は、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ (p型層107)のものとほぼ同じである。尚、エネルギー準位の高低とは、電子トンネル領域を構成する各半導体層がドーピングされていない状態のバンドラインナップを考えた場合の、エネルギー準位の比較結果を意味している。

[0030] 従って、本実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンドは、図1Eに示されるようになる。ここで、電極115が正、電極113が負となるように電圧が印加され

ている、すなわち、トンネル接合には逆バイアスが印加されている。その結果、 $p^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層107の側から $n^+-\text{GaInNAs}$ 層109の側へ電子がトンネリングし、これにより活性層104の側へ正孔が供給される。 $p$ 型層107と $n$ 型層109に挟まれた $p^+-\text{GaInNAs}$ 層108の厚さは、概ねpn接合界面から擬フェルミ準位( $E_f$ )と価電子帯( $V. B.$ )の上端が交わる箇所までとなるように設計されている。これにより、電子は、伝導帯( $C. B.$ )下端のエネルギー準位が低くなっている $p^+-\text{GaInNAs}$ 層108及び $n^+-\text{GaInNAs}$ 層109のみをトンネルすることになる。その結果、本実施の形態によれば、従来の構造と比べてトンネル確率が高くなる。つまり、本実施の形態に係るトンネル接合発光素子によれば、低い電圧で大きな電流が流れる。このことは、抵抗が低減されていることを意味する。

[0031] 尚、電子トンネル部に対応する $p^+-\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層107、 $p^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層108、及び $n^+-\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}_{0.02}\text{As}_{0.098}$ 層109は、上記第2工程において、直径約 $6\mu\text{m}$ の円柱形状を有するように形成されている。それ以外の部分におけるトンネル確率は極めて低い。そのため、その円柱部分のみにトンネル電流が流れる構造が実現されている。更に、これらの層の屈折率はGaAs層の屈折率よりも高いため、その円柱部分は光導波効果も有する。また、トンネル確率を向上させるため、上記電子トンネル部におけるドーピング濃度は高く設定されている。このため、電子トンネル部における光吸収係数は、他の層に比べて高い。従って、電子トンネル部は、面発光型レーザの発振時に生じる定在波の節の部分に配置される。そのように電子トンネル部を配置することによって、光の吸収を抑制することが可能となる。

[0032] (第2の実施の形態)

図2A～図2Cは、第2の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。図2Dは、第2の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。第2の実施の形態においては、GaAsからなる基板201の上に形成される発振波長 $1.15\mu\text{m}$ の面発光型レーザが、例として説明される。

[0033] まず、図2Aに示されるように、 $n$ 型GaAsからなる基板201の上に、第1のDBR層202が形成される。第1のDBR層202において、複数のDBRが積層されており、基本単位である各DBR( $n$ 型半導体ミラー層)は、 $n$ 型のGaAs層と $n$ 型の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層

の二対から構成されている。第1のDBR層202の上には、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0.9 < x < 1$ ) からなる酸化層形成層203、n型の $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  からなるクラッド層204、バンドの $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$  量子井戸とGaAs障壁層からなる活性層205、及びp型の $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  からなるクラッド層206が順次積層される。クラッド層206の上には、p-GaAs層207、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$  層208、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層209、及び $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210が順次積層される(第1工程)。

- [0034] これらの層は、例えば、有機金属気相成長法により形成可能である。ここで、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$  層208及び $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層209に関するp型ドーパントとしてはCが用いられる。一方、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210に関するn型ドーパントとしてはSeが用いられる。また、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$  層208及び $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層209に対するp型ドーピング濃度は、ともに $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。また、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210に対するn型ドーピング濃度は、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。また、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$  層208の膜厚は5nm、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層209の膜厚は1.3nm、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210の膜厚は10nmである。
- [0035] 次に、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210の上に、フォトリソグラフィ技術により直径約 $8 \mu\text{m}$ の円形のレジストパターンが形成される。その後、Tiイオンの注入が行われ、図2Bに示されるように、イオン注入領域220が形成される(第2工程)。これにより、レジストパターン以外の部分(イオン注入領域220)の抵抗が増加する。

- [0036] 次に、上記レジストパターンが一旦除去された後、別の直径 $4 \mu\text{m}$ の円形のレジストパターンが、 $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210の上に形成される。このレジストパターンは、第2工程において用いられたレジストパターンと中心軸が一致するように形成される。続いて、その新たなレジストパターンをマスクとして用いるエッチングにより、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$  層208、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層209、及び $\text{n}^+-\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$  層210が除去される(第3工程)。その結果、図2Bに示されるように、 $\text{p}^+-\text{GaAsSb}$ 層208、 $\text{p}^+-\text{GaAsN}$ 層209、及び $\text{n}^+-\text{GaInNAs}$ 層210が、円筒形状に加工される。本実施の形態において、この円筒形状の部分が、上記活性層205にキャリアを供給する「電子トンネル部(電子トンネル領域)」となる。エッチング加工の後、上記レジストパターンは除去される。

- [0037] 次に、MOCVD法により、n-GaAs層211及び第2のDBR層212が、順次積層される。その第2のDBR層212において、複数のDBRが積層されており、基本単位である各DBR（ノンドープ半導体ミラー層）は、ノンドープGaAs層と $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の一对から構成されている（第4工程）。その結果、図2Bに示されるように、上記電子トンネル部がn-GaAs層211により覆われた状態となる。なお、第2のDBR層212を構成する各DBRにおいて、高屈折率のGaAs層と低屈折率の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の各々の膜厚は、これら媒質内の各々の光路長が発振波長のほぼ $1/4$ なるように設定されている。
- [0038] 次に、第3工程で形成された円形の電子トンネル部と中心軸が一致するような、直径 $10\mu\text{m}$ の円形誘電体パターンが形成される。続いて、その円形誘電体パターンをマスクとして用いるドライエッチングにより、第2のDBR層212が除去される。その結果、図2Cに示されるように、直径 $10\mu\text{m}$ 程度の円柱構造213が形成される（第5工程）。このドライエッチングは、n-GaAs層211の表面が露出するまで実施される。次に、円柱構造213の周辺で露出しているn-GaAs層211上に、AuGeNiからなるリング状の電極214が形成される（第6工程）。
- [0039] 次に、第5工程で形成された円柱構造213と中心軸が一致するような、直径 $30\mu\text{m}$ の円形の誘電体パターンが形成される。続いて、その誘電体パターンをマスクとして用いるドライエッチングが実施される。その結果、図2Cに示されるように、第1のDBR層202まで達する直径約 $30\mu\text{m}$ の円柱構造215が形成される（第7工程）。この工程により、酸化層形成層203の側面が露出する。その後、誘電体パターンは除去される。
- [0040] 次に、水蒸気雰囲気において、温度約 $400^\circ\text{C}$ で約10分間加熱処理が実行される（第8工程）。これにより、酸化層形成層203のみが円環状に選択的に酸化される。酸化条件は、酸化層形成層203の中心部に直径約 $5\mu\text{m}$ の非酸化領域が残るように調整されている。尚、酸化層形成層203がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0.9 < x < 1$ ) から形成された理由は、次の通りである。すなわち、 $x$ が $0.9$ 以下の場合ほとんど酸化が生じないためである。また、酸化層形成層203における酸化速度を、DBRより速くする必要があるためである。

- [0041] 次に、図2Dに示されるように、第7工程で露出した第1のDBR層202の上に電極216が形成される。具体的には、まず、全域にレジストが塗布される。そして、リソグラフィ技術によって、電極が形成される部分のみ除去されたレジストパターンが形成される。続いて、Ti/Pt/Au膜が蒸着される。その後、上記レジストパターンを除去することによるリフトオフが行われる。その結果、第1のDBR層202上の一部の領域に、電極216が形成される(第8工程)。
- [0042] 次に、図2Dに示されるように、ポリイミド樹脂が塗布され、ポリイミド層217が形成される。続いて、リソグラフィ技術によって、上記第7工程で形成された円柱構造215及び上記第8工程で形成された電極216上のポリイミドが除去される(第9工程)。次に、ポリイミド層217の上に、パッド電極218及び219が形成される。これらパッド電極218、219のそれぞれは、上記第6工程で形成されたリング電極214及び上記第8工程で形成された電極216に接続されている(第10工程)。
- [0043] なお、上記例においては1個の面発光型レーザが形成される場合が示されているが、基板201の上に複数の面発光型レーザが形成されてもよい。その場合、基板201の上に作成された複数の面発光型レーザは、1個ごともしくは所望のアレイ状(例えば1個×10個、100個×100個など)に切り出されて使用される。
- [0044] 以上に示された製造工程により、第2の実施の形態に係る面発光型レーザが得られる。本実施の形態によれば、 $p^+-GaAs_{0.9}Sb_{0.1}$ 層208、 $p^+-GaAs_{0.98}N_{0.02}$ 層209、及び $n^+-Ga_{0.93}In_{0.07}N_{0.01}As_{0.99}$ 層210が、トンネル接合を形成しており、電子がトンネルする部分(電子トンネル領域)を構成している。 $p^+-GaAsSb$ 層208の伝導体下端のエネルギー準位は、 $p^+-GaAsN$ 層209及び $n^+-GaInNAs$ 層210のものよりも高い。また、 $p^+-GaAsSb$ 層208の価電子帯上端のエネルギー準位は、 $p^+-GaAsN$ 層209及び $n^+-GaInNAs$ 層210のものよりも高い。すなわち、本実施の形態によれば、いわゆるType-IIのヘテロ界面が形成されている。
- [0045] 本実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンドは、図2Eに示されるようになる。ここで、トンネル接合には逆バイアスが印加されている。 $p$ 型層208と $n$ 型層210に挟まれた $p^+-GaAsN$ 層209の厚さは、pn接合界面から擬フェルミ準位( $E_f$ )と価電子帯(V. B.)が交わる箇所までとなるように設計されている。これにより、電子は

、伝導帯(C. B.)下端のエネルギー準位が低くなっている $p^{+}\text{-GaAs}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層209及び $n^{+}\text{-Ga}_{0.93}\text{In}_{0.07}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$ 層210のみをトンネルすることになる。その結果、本実施の形態によれば、従来の構造と比べてトンネル確率が高くなる。つまり、本実施の形態に係るトンネル接合発光素子によれば、低い電圧で大きな電流が流れる。このことは、抵抗が低減されていることを意味する。

[0046] 本実施の形態に係る面発光型レーザの電子トンネル部によれば、p型半導体中にヘテロ界面が形成されている。更に、p, n界面もヘテロ界面となっている。ヘテロ界面では、ドーパントの拡散が抑制される傾向がある。従って、本実施の形態に係る構造によれば、電子トンネル部が形成された後の結晶成長や素子作製プロセスなどで加熱処理が行われても、pn接合間のドーパントの拡散が小さい。これにより、特性の安定性が向上する。

[0047] 尚、イオン注入領域220や酸化層形成層203は、電流狭窄のために使用されることが多い。しかしながら、本実施の形態に係る面発光型レーザによれば、電流狭窄は、第1の実施の形態の面発光型レーザと同様に、埋め込まれている円筒形状の電子トンネル部によって行われる。イオン注入領域220や酸化層形成層203は、電流狭窄の機能は果たしていない。イオン注入領域220は、円柱構造215内の電子トンネル部周辺の電気容量を下げる役割を果たしている。これにより、素子抵抗と容量で決まる変調帯域の上限が高くなり、超高速変調が可能となる。また、酸化層形成層203は、横方向の光閉じ込め制御のために用いられる。酸化層形成層203の未酸化領域の開口径を制御することによって、光閉じ込めの調整が可能となる。

[0048] (第3の実施の形態)

図3A～図3Cは、第3の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。図3Dは、第3の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。第3の実施の形態においては、InPからなる基板301の上に形成される発振波長 $1.3\mu\text{m}$ の面発光型レーザが、例として説明される。

[0049] まず、図3Aに示されるように、n型のInPからなる基板301上に、第1のDBR層302が形成される。第1のDBR層302において、複数のDBRが積層されており、基本単位である各DBR(n型半導体ミラー層)は、n型のInP層とInPに格子整合するn型の

AlGaInAs層の一対から構成されている。第1のDBR層302の上には、n型のInPからなるクラッド層303、ノドープ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.7}\text{As}$ 量子井戸と $\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.22}\text{In}_{0.44}\text{As}$ 障壁層からなる活性層304、及びp型InPからなるクラッド層305が順次積層される。更に、クラッド層305の上には、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307、及び $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308が順次積層される(第1工程)。

[0050] これらの層は、例えば、有機金属気相成長(MOCVD)法により形成可能である。ここで、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306及び $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307に関するp型ドーパントとしては、Cが用いられる。一方、 $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308に関するn型ドーパントとしては、Siが用いられる。 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306に対するp型ドーピング濃度は、 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。また、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307に対するp型ドーピング濃度は、 $6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。n型層308に対するn型ドーピング濃度は、 $1.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。また、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306の膜厚は5nm、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307の膜厚は0.8nm、 $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308の膜厚は15nmである。

[0051] 次に、フォトリソグラフィ技術により、直径約 $6 \mu\text{m}$ の円形のレジストパターンが形成される。そのレジストパターンをマスクとして用いるエッチングにより、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307、及び $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308が除去される(第2工程)。その結果、図3Bに示されるように、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307、及び $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308が、円筒形状に加工される。本実施の形態において、この円筒形状の部分が、上記活性層304にキャリアを供給する「電子トンネル部(電子トンネル領域)」となる。エッチング加工の後、上記レジストパターンは除去される。

[0052] 次に、MOCVD法により、n型InP層309が形成される(第3工程)。その結果、図3Bに示されるように、円筒状に加工された $\text{p}^+-\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.20}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層306、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307、 $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308(電子トンネル部)が、n型InP層309により覆われた状態となる。

[0053] 次に、スパッタ法により、 $\text{SiO}_2$ とアモルファスSi(a-Si)とが交互に積層される。これ

により、 $\text{SiO}_2$  と a-Si との一对が基本単位としての DBR であり、複数の DBR (誘電体ミラー層) が積層された第2の DBR 層 310 が形成される。 $\text{SiO}_2$  層と a-Si 層の膜厚は、これら媒質内の各々の光路長が発振波長のほぼ  $1/4$  となるように設定されている。次に、リソグラフィとエッチングを通して、第2の DBR 層 310 が、上記電子トンネル部と中心軸が一致する円形状に加工される。その結果、図 3B に示されるように、直径約  $10\ \mu\text{m}$  の円筒形状に加工された第2の DBR 層 310 が、n 型 InP 層 309 の上に形成される。

[0054] 次に、フォトリソグラフィ技術により、レジストパターンが形成される。そのレジストパターンは、すでに形成されている円筒形状の電子トンネル部と中心軸が一致する円板形状を有する。続いて、そのレジストパターンをマスクとして用い、第1の DBR 層 302 の表面が露出するまでエッチングが実施される(第4工程)。その後、レジストパターンは除去される。その結果、図 3C に示されるように、直径約  $30\ \mu\text{m}$  の円柱状構造 311 が形成される。

[0055] 次に、図 3D に示されるように、上記メサエッチングにより露出した第1の DBR 層 302 の上に、電極 312 が形成される(第5工程)。その電極 312 は、第1の実施の液体と同様に形成される。次に、図 3D に示されるように、ポリイミド樹脂が塗布され、ポリイミド層 313 が形成される。第5工程で形成された電極 312 の上のポリイミドは、リソグラフィ技術により除去される(第6工程)。

[0056] 続いて、リフトオフ法により、図 3D に示されるように、リング電極 314 及びそのリング電極 314 に接続されるパッド電極 315 が形成される。同時に、ポリイミド層 313 上に、電極 312 と接続されるパッド電極 316 が形成される(第7工程)。

[0057] なお、上記例においては1個の面発光型レーザが形成される場合が示されているが、基板 301 の上に複数の面発光型レーザが形成されてもよい。その場合、基板 301 の上に作成された複数の面発光型レーザは、1個ごともしくは所望のアレイ状(例えば  $1\text{個} \times 10\text{個}$ 、 $100\text{個} \times 100\text{個}$  など)に切り出されて使用される。

[0058] 以上に示された製造工程により、第3の実施の形態に係る面発光型レーザが得られる。本実施の形態によれば、 $\text{p}^+ - \text{Al}_{0.27} \text{Ga}_{0.20} \text{In}_{0.53} \text{As}$  層 306、 $\text{p}^+ - \text{In}_{0.3} \text{Ga}_{0.7} \text{As}$  層 307、及び  $\text{n}^+ - \text{In}_{0.76} \text{Ga}_{0.24} \text{As}_{0.51} \text{P}_{0.49}$  層 308 がトンネル接合を形成しており

、電子がトンネルする部分(電子トンネル領域)を構成している。p型層307の伝導体下端のエネルギー準位は、p型層306のものよりも低い。また、p型層307の価電子帯上端のエネルギー準位は、p型層306のものよりも低い。

[0059] 従って、本実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンドは、図3Eに示されるようになる。ここで、パッド電極315(リング電極314)が正、パッド電極316が負となるように電圧が印加されている、すなわち、トンネル接合には逆バイアスが印加されている。その結果、 $p^+ - \text{AlInGaAs}$ 層306から $n^+ - \text{InGaAsP}$ 層308の側へ電子がトンネリングし、これにより活性層304の側へ正孔が供給される。p型層306とn型層308に挟まれた $p^+ - \text{InGaAs}$ 層307の厚さは、pn接合界面から擬フェルミ準位( $E_f$ )と価電子帯(V. B.)が交わる箇所までとなるように設計されている。これにより、電子は、伝導帯(C. B.)下端のエネルギー準位が低くなっている $p^+ - \text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層307、及び $n^+ - \text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層308のみをトンネルすることになる。その結果、本実施の形態によれば、従来の構造と比べてトンネル確率が高くなる。つまり、本実施の形態に係るトンネル接合発光素子によれば、低い電圧で大きな電流が流れる。このことは、抵抗が低減されていることを意味する。

[0060] なお、本実施の形態に係る面発光型レーザにおいても、第1の実施の形態に係る面発光型レーザと同様に、電子トンネル部は、発振時に生じる定在波の節の部分に位置するように設計される。これにより、光の吸収が抑制される。

[0061] また、本実施の形態によれば、電子トンネル部の一部に4元混晶であるAlGaInAs及びInGaAsPが使用されている。この場合、組成を変えることにより、バンドラインナップや格子定数を変えることが可能である。図3Eに示されたバンドプロファイルが得られ、且つ、各層のバンドギャップエネルギーがレーザ光のエネルギーより大きくなり、更に、格子定数がInPのものから大きく外れないような組成を選択することが可能である。尚、 $p^+ - \text{InGaAs}$ 層307に関しては、レーザ光が吸収されないように、格子整合条件よりIn組成が小さく設定されている。その結果、引っ張り歪が発生するが、十分薄く、臨界膜厚以内であるため、結晶品質の点で問題は生じない。

[0062] (第4の実施の形態)

図4A及び図4Bは、第4の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を

示す断面図である。図4Cは、第4の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。第4の実施の形態においては、InPからなる基板401の上に形成される発振波長1.3  $\mu\text{m}$ の端面発光型レーザが、例として説明される。

[0063] まず、図4Aに示されるように、n-InPからなる基板401の上に、n型のInPからなる第1クラッド層402、InGaAsPからなる光閉じ込め層403、ノドープInGaAsP量子井戸とInGaAsP障壁層からなる活性層404、InGaAsP-SCH層405、及びp型のInPからなるクラッド層406が順次積層される。更に、そのクラッド層406の上に、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ 層407、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層408、及び $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層409が順次積層される(第1工程)。

[0064] これらの層は、例えば、MOCVD法により形成可能である。ここで、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ 層407及び $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層408に関するp型ドーパントとしてはCが用いられる。一方、 $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層409に関するn型ドーパントとしてはSが用いられる。 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ 層407に対するp型ドーピング濃度は、 $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層408に対するp型ドーピング濃度は、 $6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。n型層409に対するn型ドーピング濃度は、 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ 層407の膜厚は5nm、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層408の膜厚は1.8nm、 $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層409の膜厚は10nmである。

[0065] 次に、熱CVD法により $\text{SiO}_2$ 膜が形成される。その $\text{SiO}_2$ 膜がフォトリソグラフィ技術とエッチング技術により加工され、 $\text{SiO}_2$ からなる幅2  $\mu\text{m}$ のストライプパターン( $\text{SiO}_2$ ストライプ)が形成される(第2工程)。続いて、その $\text{SiO}_2$ ストライプをマスクとして用いるエッチングが実施される。その結果、図4Bに示されるように、第1クラッド層402、光閉じ込め層403、活性層404、InGaAsP-SCH層405、クラッド層406、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ 層407、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層408、及び $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層409から構成される、幅2  $\mu\text{m}$ のメサ構造が形成される(第3工程)。

[0066] 次に、MOCVD法により、FeがドーピングされたInPが堆積される。これにより、図4Bに示されるように、上記メサ構造を挟むように電流ブロック層410が形成される(第4工程)。続いて、 $\text{SiO}_2$ ストライプが除去された後、n-InPからなる第2クラッド層411及びn-InGaAsからなるコンタクト層412が形成される(第5工程)。これらの層も、MO

CVD法により形成可能である。

[0067] 次に、図4Cに示されるように、2つの溝413が $30\mu\text{m}$ 程度の間隔で形成される(第6工程)。2つの溝413の間には、上述のメサ構造が位置している。各々の溝413の深さは、 $4\sim 5\mu\text{m}$ 程度である。溝413は、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いることにより形成可能である。

[0068] 次に、熱CVD法により、厚さ $0.4\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 膜414が形成される。また、メサ構造の上に位置する $\text{SiO}_2$ 膜414には、幅 $20\mu\text{m}$ 程度の開口部が形成される。この開口部において、コンタクト層412は露出する。続いて、蒸着法により、AuGeNi合金膜及びTi膜(膜厚 $50\text{nm}$ )、Au膜(膜厚 $400\text{nm}$ )が形成される。その後、フォトリソグラフィとイオンミリングにより、素子を物理的に分離する箇所の金属薄膜が除去される。その結果、図4Cに示されるように、表面電極415が形成される(第7工程)。

[0069] 次に、劈開を容易にするため、基板401の厚さが $100\mu\text{m}$ になるまで基板401の裏面が研磨される。その後、基板401の裏面に、AuGeNi合金膜及びTi膜(膜厚 $50\text{nm}$ )、Au膜(膜厚 $400\text{nm}$ )からなる裏面電極416が形成される。以上のようにトンネル接合発光素子が形成された基板401が劈開される。片面に低反射膜、他方の面に高反射膜がコーティングされる。その後、チップ部毎に切り出され、本実施の形態に係る端面発光型レーザが完成する(第8工程)。

[0070] 本実施の形態によれば、 $\text{p}^+-\text{GaAs}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ 層407、 $\text{p}^+-\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層408、及び $\text{n}^+-\text{In}_{0.76}\text{Ga}_{0.24}\text{As}_{0.51}\text{P}_{0.49}$ 層409がトンネル接合を形成しており、電子がトンネルする部分(電子トンネル領域)を構成している。本実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンドは、図4Dに示されるようになる。既出の実施の形態と同様に、本実施の形態によれば、トンネル接合発光素子の抵抗が低減される。

[0071] 本実施の形態に係るレーザ構造と、活性層の上方全体がp型半導体である従来のレーザ構造とを比較すると、本実施の形態に係る構造においては、活性層404の上方のクラッド層406の大部分をn型層に置き換えることが可能である。p型半導体に比べてn型半導体の抵抗は低いため、本実施の形態によれば、電子トンネル部の抵抗を考慮しても全体の抵抗を低減することが可能となる。また、電子トンネル部以外におけるトンネル確率は極めて小さく、電流はほとんど流れない。従って、本実施の形

態に係るトンネル接合発光素子によれば、従来技術と比較してリーク電流を低減することが可能となる。尚、高ドーピング濃度のため、電子トンネル部の光吸収係数は比較的大きい。しかしながら、n型半導体の光吸収係数はp型半導体のものより小さいため、クラッド層での光吸収係数は従来構造と比べて低くなる。

[0072] (第5の実施の形態)

図5A及び図5Bは、第5の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。図5Cは、第5の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。第5の実施の形態においては、GaAsからなる基板501の上に形成される発振波長0.98  $\mu\text{m}$ の端面発光型レーザが、例として説明される。

[0073] まず、図5Aに示されるように、n-GaAsからなる基板501の上に、n型の $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ からなる第1クラッド層502、n型の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ からなる第2クラッド層503、GaAsからなる光閉じ込め層504、ノンドープのInGaAs量子井戸とGaAs障壁層からなる活性層505、GaAsからなる光閉じ込め層506、p型のGaAsからなるクラッド層507、p型の $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ からなるエッチングストップ層508が順次積層される。更に、エッチングストップ層508の上に、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ 層509、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層510、及び $\text{n}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.1}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層511が順次積層される。更に、その上に、n型層であるn-GaAs層512、n- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層513、n- $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 層514、及びn-GaAs層515が順次積層される(第1工程)。

[0074] ここで、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ 層509、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層510に関するp型ドーパントとしてはCが用いられる。一方、 $\text{n}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.1}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層511に関するn型ドーパントとしてはSeが用いられる。 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ 層509に対するp型ドーピング濃度は $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ である。 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層510に対するp型ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ である。n型層511に対するn型ドーピング濃度は、 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。また、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ 層509の膜厚は5nm、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層510の膜厚は1.3nm、 $\text{n}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.1}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層511の膜厚は10nmである。

[0075] 次に、熱CVD法により $\text{SiO}_2$ 膜が形成される。その $\text{SiO}_2$ 膜がフォトリソグラフィ技術とエッチング技術により加工され、幅2  $\mu\text{m}$ のストライプパターン( $\text{SiO}_2$ ストライプ)が形

成される(第2工程)。次に、その $\text{SiO}_2$  ストライプをマスクとして用いるエッチングが実施される。その結果、図5Bに示されるように、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  層509、 $\text{p}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層510、 $\text{n}^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.1}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$  層511、 $\text{n-GaAs}$  層512、 $\text{n-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  層513、 $\text{n-Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$  層514、及び $\text{n-GaAs}$  層515から構成される幅 $2\mu\text{m}$ のメサ構造が形成される(第3工程)。このエッチングは、エッチングストップ層508で停止する。

[0076] 次に、上記 $\text{SiO}_2$  ストライプをマスクとして用い、選択成長プロセスが行われる。その結果、図5Bに示されるように、 $\text{p-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  層516及び $\text{p-GaAs}$  層517からなる電流ブロック層が形成される(第4工程)。続いて、マスクとして用いられた $\text{SiO}_2$  ストライプが除去される。その後、MOCVD法により、上記メサ構造及び電流ブロック層の上に、 $\text{n-GaAs}$  層518が形成される(第5工程)。

[0077] 次に、スパッタ法により $\text{ZnO}$ 膜が堆積される。その $\text{ZnO}$ 膜がフォトリソグラフィ技術とエッチング技術により加工され、幅 $60\mu\text{m}$ 、ピッチ $1200\mu\text{m}$ の $\text{ZnO}$ ストライプが形成される(第6工程)。その $\text{ZnO}$ ストライプは、上記 $\text{SiO}_2$  ストライプと直交する方向に延びるように形成される。

[0078]  $\text{ZnO}$ ストライプが形成された後、 $\text{N}_2$  ガス雰囲気中で、 $500^\circ\text{C}\cdot 40$ 分の加熱処理が実施される(第7工程)。この加熱処理により、 $\text{ZnO}$ ストライプの下の領域に、 $\text{Zn}$ が拡散する。このようにして活性層505まで拡散した $\text{Zn}$ により、活性層505の量子井戸構造が壊され、バルク化する。バルク化した領域ではバンドギャップが増加する。そのため、バルク化した領域は、活性層としては機能しない。バルク化した領域は、 $\text{Zn}$ が拡散していない領域における活性層505から放射されるレーザ光を吸収しない窓領域となる。また、この $\text{Zn}$ 拡散により、電子トンネル部のうち対応する領域も機能しなくなる。そのような領域には電流が注入されなくなる。

[0079] 次に、上記 $\text{ZnO}$ ストライプが除去される。続いて、図5Cに示されるように、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術により、2つの溝519が $30\mu\text{m}$ 程度の間隔で形成される(第8工程)。2つの溝519の間には、上述のメサ構造が位置している。各々の溝413の深さは、 $4\sim 5\mu\text{m}$ 程度である。

[0080] 次に、熱CVD法により、厚さ $0.4\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$  膜520が形成される。また、メサ構造

の上に位置する $\text{SiO}_2$ 膜520には、幅 $20\mu\text{m}$ 程度の開口部が形成される。この開口部において、 $n\text{-GaAs}$ 層518は露出する(第8工程)。続いて、蒸着法により、 $\text{AuGeNi}$ 合金膜及び $\text{Ti}$ 膜(膜厚 $50\text{nm}$ )、 $\text{Au}$ 膜(膜厚 $400\text{nm}$ )が形成される。その後、フォトリソグラフィとイオンミリングにより、素子を物理的に分離する箇所の金属薄膜が除去される。その結果、図5Cに示されるように、表面電極521が形成される(第9工程)。

[0081] 次に劈開を容易にするため、基板501の厚さが $100\mu\text{m}$ となるまで基板501の裏面が研磨される。その後、基板501の裏面に、 $\text{AuGeNi}$ 合金膜及び $\text{Ti}$ 膜(膜厚 $50\text{nm}$ )、 $\text{Au}$ 膜(膜厚 $400\text{nm}$ )からなる裏面電極522が形成される(第10工程)。以上のようにトンネル接合発光素子が形成された基板501が、共振方向に $1200\mu\text{m}$ のピッチで劈開される(第11工程)。劈開位置は、第6工程で $\text{Zn}$ が拡散した幅 $60\mu\text{m}$ の領域の中央である。これにより、 $1200\mu\text{m}$ の共振器長のうち両端 $30\mu\text{m}$ ずつは窓構造となる。そのため、端面の光学損傷(COD)が起こりにくくなり、最大出力を増加させることが可能となる。このように劈開されたLDバーの片面に低反射膜、他方の面に高反射膜がコーティングされる。その後、1つずつ切り出され、本実施の形態に係る端面発行型レーザが完成する(第12工程)。

[0082] 本実施の形態によれば、 $p^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ 層509、 $p^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}_{0.98}\text{As}_{0.02}$ 層510、及び $n^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.1}\text{As}_{0.98}\text{N}_{0.02}$ 層511がトンネル接合を形成しており、電子がトンネルする部分(電子トンネル領域)を構成している。本実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンドは、図5Dに示されるようになる。既出の実施の形態と同様に、本実施の形態によれば、トンネル接合発光素子の抵抗が低減される。

[0083] (第6の実施の形態)

図6A及び図6Bは、第6の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の製造工程を示す断面図である。図6Cは、第6の実施の形態に係るトンネル接合発光素子の構造を示す斜視図である。第6の実施の形態においては、 $\text{GaAs}$ からなる基板601の上に形成される発振波長 $0.92\mu\text{m}$ の面発光型レーザが、例として説明される。

[0084] まず、図6Aに示すように、 $n$ 型 $\text{GaAs}$ からなる基板601の上に、第1のDBR層602が形成される。第1のDBR層602において、複数のDBRが積層されており、基本単

位である各DBR(n型半導体ミラー層)は、n型のGaAs層とn型の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の  
 一対から構成されている。第1のDBR層602の上には、n型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなるク  
 ラッド層603、ノンドープの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$ 量子井戸と $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 障壁層からなる  
 活性層604、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなるクラッド層605、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ( $0.9 < x < 1$ )  
 からなる酸化層形成層606が順次積層される。更に、酸化層形成層606の上には  
 、p-GaAs層607、 $\text{p}^+$ -GaAs層608、 $\text{p}^+$ - $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ 層609、 $\text{n}^+$ -  
 GaAs層610、n-GaAs層611が順次積層される。更に、n-GaAs層611の上には  
 、第2のDBR層612が形成される。第2のDBR層612において、複数のDBRが積層  
 されており、基本単位である各DBR(n型半導体ミラー層)は、n型のGaAs層とn型の  
 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層の一対から構成されている(第1工程)。

[0085] これら層は、例えば、有機金属気相成長法により形成される。ここで、 $\text{p}^+$ -GaAs層  
 608及び $\text{p}^+$ - $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ 層609に関するp型ドーパントとしてはCが用  
 いられる。一方、 $\text{n}^+$ -GaAs層610に関するドーパントとしてはSが用いられる。また、  
 $\text{p}^+$ -GaAs層608に対するp型ドーピング濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。 $\text{p}^+$ - $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$   
 層609に対するp型ドーピング濃度は、 $\text{p}^+$ -GaAs層608に対するも  
 のより濃い $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。また、 $\text{n}^+$ -GaAs層610に対するn型ドーピング  
 濃度は、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。また、 $\text{p}^+$ -GaAs層608の膜厚は5nm、 $\text{p}^+$ - $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$   
 層609の膜厚は1.3nm、 $\text{n}^+$ -GaAs層610の膜厚は10nmである  
 。

[0086] 次に、第2のDBR層612上に誘電体膜が成膜される。そして、フォトリソグラフィ技  
 術とエッチングにより、直径 $20 \mu\text{m}$ の円形の誘電体パターンが形成される。続いて、  
 この誘電体パターンをマスクとして用い、ドライエッチングが行われる。その結果、図6  
 Bに示されるように、第1のDBR層602まで達する直径約 $20 \mu\text{m}$ の円柱構造613が  
 形成される(第2工程)。この工程により、酸化層形成層606の側面が露出する。その  
 後、誘電体パターンが除去される。

[0087] 次に、水蒸気雰囲気中で温度約 $400^\circ\text{C}$ ・約10分間の加熱処理が実施される(第3  
 工程)。これにより、酸化層形成層606のみが円環状に選択的に酸化される。酸化条  
 件は、酸化層形成層606の中心部に直径約 $5 \mu\text{m}$ の非酸化領域が残るように調整さ

れる。

[0088] 次に、図6Cに示されるように、第2工程により露出した第1のDBR層602の上に電極614が形成される。具体的には、まず、全域にレジストが塗布される。続いて、リソグラフィにより、電極が形成される部分のみ除去され、レジストパターンが形成される。Ti/Pt/Au膜が蒸着された後、上記レジストパターンが除去され、リフトオフが行われる。その結果、第1のDBR層602上の一部の領域に電極614が形成される(第4工程)。次に、図6Cに示されるように、ポリイミド樹脂が塗布され、ポリイミド層615が形成される。第2工程で形成された円柱構造613及び第4工程で形成された電極614上のポリイミドが、リソグラフィ技術により除去される(第5工程)。

[0089] 次に、フォトリソが塗布され、所定のパターンを有するレジストパターンが形成される。その後、Ti/Pt/Au膜が蒸着される。続いて、上記レジストパターンが除去され、リフトオフが行われる。その結果、図6Dに示されるように、リング電極616及びそのリング電極616に接続されるパッド電極617が形成される。同時に、ポリイミド上に、第1のDBR上の電極614と接続されるパッド電極618が形成される(第6工程)。

[0090] このようにGaAs基板上に作製されたVCSELは、1個ごともしくは所望のアレイ状(例えば1個×10個、100個×100個など)に切り出されて使用される。

[0091] 本実施の形態によれば、 $p^+-\text{GaAs}$ 層608、 $p^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ 層609、及び $n^+-\text{GaAs}$ 層610がトンネル接合を形成しており、電子がトンネルする部分(電子トンネル領域)を構成している。 $p^+-\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ 層609に対するドーピング密度は、 $p^+-\text{GaAs}$ 層608に対するドーピング密度より高い。このため、GaAsのホモ接合からなるトンネル接合と比較して、p側の空乏層が小さくなる。

[0092] 本実施の形態に係る電子トンネル領域のエネルギーバンドは、図6Dに示されるようになる。トンネル接合には逆バイアスが印加される。図6Dに示されるように、p型層609の伝導帯下端のエネルギー準位は、p型層608の伝導帯下端のエネルギー準位よりも僅かながら高く、電子がトンネルすべき障壁が僅かに高くなる。しかしながら、その効果よりも、上述の空乏層の低減によるトンネル障壁幅低減の効果の方が高い。従って、GaAsのホモ接合からなるトンネル接合と比較して、本実施の形態によるトンネル確率は高くなる。

[0093] また、本実施の形態によれば、 $p^+-Al_{0.2}Ga_{0.8}As_{0.99}N_{0.01}$  層609の厚さは、概ねpn接合界面から擬フェルミ準位(Ef)と価電子帯(V. B.)上端が交わる箇所までとなるように設計されている。そのp型層609より価電子帯上端のエネルギー準位が高い $p^+-GaAs$ 層608が、そのp型層609に隣接しており、電子のトンネルの起点となっている。これにより、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As_{0.99}N_{0.01}$  層609と $n^+-GaAs$ 層610のみでトンネル接合が構成される場合よりも、トンネル障壁の高さが低減される。その結果、トンネル確率が増加し、低い電圧で大きな電流が流れる。すなわち、本実施の形態に係るトンネル接合発光素子によれば、抵抗が低減される。

[0094] 尚、本実施の形態においては、既出の実施の形態の場合と異なり、電子トンネル部による電流狭窄が行われていない。電子トンネル部よりも活性層604に近いp型 $Al_xGa_{1-x}As$  (0.9<x<1)酸化層606が、電流を狭窄する役割を果たしている。

[0095] (作用・効果)

以下、本発明による作用・効果を要約的に説明する。図7Aには、比較例として、特開2002-134835号公報に記載されている従来のType-IIのトンネル接合の場合のエネルギーバンド状態が示されている。図7Aの場合、p型半導体701からn型半導体702へ電子がトンネルする。この場合、電子がトンネルすべき障壁は、図7B中の斜線部703で表される。

[0096] 一方、本発明の実施の形態によれば、電子トンネル領域内に、少なくとも第1p型半導体層及びその第1p型半導体層と種類の異なる第2p型半導体層が設けられている。例えば、第2p型半導体層の価電子帯上端および伝導帯下端のエネルギー準位は、電子トンネルの起点となる第1p型半導体層のものよりも低い。その場合のエネルギーバンド状態が、図7Cに示されている。図7Cにおいて、第1p型半導体層704とn型半導体層705との間に、第1p型半導体層704よりも価電子帯(V. B.)上端および伝導帯(C. B.)下端のエネルギー準位が低い第2p型半導体層706が挟まれている。この場合、電子がトンネルすべき障壁は、図7D中の斜線部707で表される。図7B中の斜線部703と図7D中の斜線部707を比較すれば分かるように、本発明の実施の形態によれば、p型半導体層内のトンネル障壁の高さを抑えることができる。従って、トンネル確率が増大し、低い電圧で大きな電流が流れる。すなわち、本実施の形態

に係るトンネル接合発光素子によれば、抵抗を低減することが可能となる。

[0097] また、本発明の実施の形態によれば、電子トンネル領域内に、電子トンネルの起点となる第1p型半導体層よりもドーピング濃度が高い第2p型半導体層が設けられていてもよい(第6の実施の形態参照)。例えば図8において、第1p型半導体層801とn型半導体層803との間に、第1p型半導体層801よりも価電子帯(V. B.)上端のエネルギー準位が低く、ドーピング濃度が高い第2p型半導体層802が挟まれている。この場合、p型半導体層内部の空乏層の厚さを抑えることができる。従って、第2p型半導体層802の伝導帯(C. B.)下端のエネルギー準位が、第1p型半導体層801のものよりも高くてもよい。すなわち、それによる障壁高さ増加の効果を、空乏層厚低減の効果が上回る場合には、トンネル確率が増大する。その結果、抵抗を低減することが可能となる。

[0098] 他にも、p型半導体層が2種以上の半導体から構成されるトンネル接合の組み合わせは多数考えられる。例えば、図9においては、トンネルの起点となるp型半導体層901に比べて価電子帯上端のエネルギー準位が高いp型半導体層902が設けられている(上記特開2004-336039号公報参照)。また、n型半導体層903、904が設けられている。しかしながら、図9に示された構造によれば、p型半導体層902とn型半導体層903のみからなるトンネル接合と比較して、障壁が大きくなり、トンネル確率が低くなる。よって、図9に示された構造は不適切である。

[0099] また、図8においても、第2p型半導体層802の価電子帯上端のエネルギー準位が第1p型半導体層801のものよりも高い場合には、第2p型半導体層802とn型半導体層803のみからなるトンネル接合と比較して、トンネル確率は低くなる。このように、p型半導体層が2種以上の半導体からなる場合でも、トンネル確率は必ずしも増大しない。p型半導体を2種以上にすることによってトンネル確率を増大させるためには、電子トンネル領域内に、第1p型半導体層と比べて価電子帯上端のエネルギー準位が同じかそれより低い第2p型半導体層を設ける必要がある。

[0100] 上述の通り、本発明において、トンネルの起点となる第1p型半導体層として、価電子帯下端のエネルギー準位が高く、伝導帯上端のエネルギー準位は比較的高い化合物半導体が用いられることが好ましい。既出の実施の形態において例示されたよう

に、そのようなバンド構造を有する化合物半導体としては、SbやPを含む化合物半導体が挙げられる。その元素の濃度が、pn界面からp型方向に向けて高くなっていることが好ましい。逆に、トンネルの起点以外の第2p型半導体層として、伝導带上端のエネルギー準位が低く、価電子带上端のエネルギー準位が比較的低い化合物半導体を用いられることが好ましい。既出の実施の形態において例示されたように、そのようなバンド構造を有する化合物半導体としては、InやNを含む化合物半導体が挙げられる。

[0101] また、本発明において、第2p型半導体層の価電子带上端のエネルギー準位は第1p型半導体層のものと同じかそれより低く、且つ、第2p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位は第1p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位より低いことが好適である。すなわち、p型半導体層中に、いわゆるType-IIのヘテロ接合が形成されていることが好適である。

[0102] また、トンネル接合の適用により抵抗を低減するためには、トンネル確率が十分高い必要がある。そのためには、トンネル領域が十分薄い必要がある。よって、トンネルの起点となる層以外の第2p型半導体層の厚さは、既出の実施の形態において例示されたように、5nm以下であることが好適である。

[0103] また、トンネル確率を高くするためには、更に、第1p型半導体層の伝導帯下端及び価電子带上端のそれぞれのエネルギー準位が、n型半導体層の伝導帯下端及び価電子带上端のエネルギー準位よりも高いことが望ましい。また、n型半導体層に関しても、場合に応じて2種類以上の半導体で構成することが可能である。

[0104] 本発明の実施の形態は、上述の各種実施の形態に限定されない。本発明に係るトンネル接合発光素子は、半導体レーザの他に、発光ダイオード(LED)にも同様に適用可能である。また、トンネル接合発光素子の波長、材料に関しても、上述された例以外のものを選択することが可能である。更に、既出の実施の形態において、組成は段階的に変化していたが、組成は連続的に変化していてもよい。

## 請求の範囲

- [1] 活性層と、  
前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と  
を備え、  
前記電子トンネル領域は、  
第1p型半導体層と、  
第2p型半導体層と、  
n型半導体層と  
を有し、  
前記第2p型半導体層は、前記第1p型半導体層と前記n型半導体層により挟まれており、  
前記第1p型半導体層、前記第2p型半導体層、及び前記n型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成し、  
前記第2p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位は、前記第1p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位と同じかそれより低い  
トンネル接合発光素子。
- [2] 請求の範囲1に記載のトンネル接合発光素子であって、  
前記第2p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位は、前記第1p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位より低い  
トンネル接合発光素子。
- [3] 請求の範囲1に記載のトンネル接合発光素子であって、  
前記第2p型半導体層におけるドーピング濃度は、前記第1p型半導体層におけるドーピング濃度より高い  
トンネル接合発光素子。
- [4] 活性層と、  
前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と  
を備え、  
前記電子トンネル領域は、

第1p型半導体層と、

第2p型半導体層と、

n型半導体層と

を有し、

前記第2p型半導体層は、前記第1p型半導体層と前記n型半導体層により挟まれており、

前記第1p型半導体層、前記第2p型半導体層、及び前記n型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成し、

前記第1p型半導体層及び前記第2p型半導体層は、Type-IIのヘテロ界面を形成している

トンネル接合発光素子。

[5] 請求の範囲1乃至4のいずれかに記載のトンネル接合発光素子であって、

前記第1p型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位が、前記n型半導体層の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高い

トンネル接合発光素子。

[6] 請求の範囲1乃至5のいずれかに記載のトンネル接合発光素子であって、

前記第1p型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位が、前記n型半導体層の価電子帯上端のエネルギー準位よりも高い

トンネル接合発光素子。

[7] 請求の範囲1乃至6のいずれかに記載のトンネル接合発光素子であって、

前記第2p型半導体層の厚さは5nm未満である

トンネル接合発光素子。

[8] 活性層と、

前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と

を備え、

前記電子トンネル領域は、

第1p型半導体層と、

第2p型半導体層と、

n型半導体層と

を有し、

前記第2p型半導体層は、前記第1p型半導体層と前記n型半導体層により挟まれており、

前記第1p型半導体層、前記第2p型半導体層、及び前記n型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成し、

前記第2p型半導体層の膜厚は5nm未満である

トンネル接合発光素子。

[9] 活性層と、

前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と

を備え、

前記電子トンネル領域は、p型半導体層とn型半導体層からなり逆バイアスが印加されるトンネル接合を有し、

前記p型半導体層の少なくとも一部が、SbとPの少なくとも一方を含む化合物半導体からなり、当該元素の濃度がpn界面からp型方向に向けて高くなっている

トンネル接合発光素子。

[10] 活性層と、

前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と

を備え、

前記電子トンネル領域は、p型半導体層とn型半導体層からなり逆バイアスが印加されるトンネル接合を有し、

前記p型半導体層の少なくとも一部が、InとNの少なくとも一方を含む化合物半導体からなる

トンネル接合発光素子。

[11] 請求の範囲1乃至10のいずれかに記載のトンネル接合発光素子であって、

前記トンネル接合発光素子は面発光型レーザである

トンネル接合発光素子。

## 補正書の請求の範囲

[2006年6月12日 (12. 06. 2006) 国際事務局受理]

n型半導体層と

を有し、

前記第2p型半導体層は、前記第1p型半導体層と前記n型半導体層により挟まれており、

前記第1p型半導体層、前記第2p型半導体層、及び前記n型半導体層は、逆バイアスが印加されるトンネル接合を形成し、

前記第2p型半導体層の膜厚は5nm未満である

トンネル接合発光素子。

[9]

活性層と、

前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と

を備え、

前記電子トンネル領域は、p型半導体層とn型半導体層からなり逆バイアスが印加されるトンネル接合を有し、

前記p型半導体層の少なくとも一部が、SbとPの少なくとも一方を含む化合物半導体からなり、当該元素の濃度がpn界面からp型方向に向けて高くなっている

トンネル接合発光素子。

[10] (補正後)活性層と、

前記活性層に電子を供給する電子トンネル領域と

を備え、

前記電子トンネル領域は、p型半導体層とn型半導体層からなり逆バイアスが印加されるトンネル接合を有し、

前記p型半導体層の少なくとも一部が、InとNの少なくとも一方を含む化合物半導体からなり、当該元素の濃度がpn界面からp型方向に向けて低くなっている

トンネル接合発光素子。

[11]

請求の範囲1乃至10のいずれかに記載のトンネル接合発光素子であって、

前記トンネル接合発光素子は面発光型レーザである

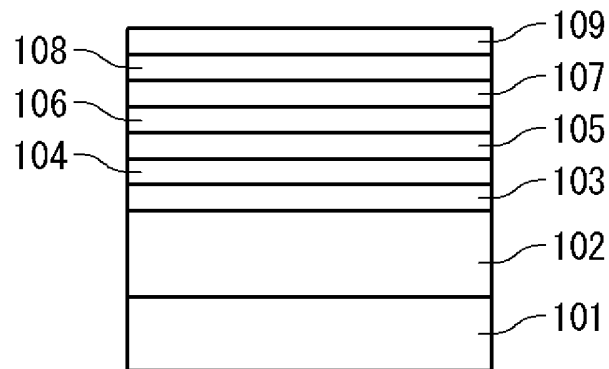
トンネル接合発光素子。

## 条約19条(1)に基づく説明書

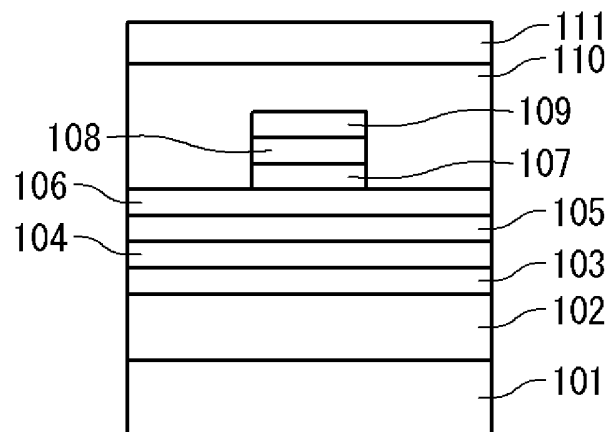
請求の範囲第10項は、「I nとNの濃度がp n界面からp型方向に向けて低くなっている」ことを明確にした。

このことは、出願明細書の段落0020、0033、0064、0073、及び0084等に記載されている。

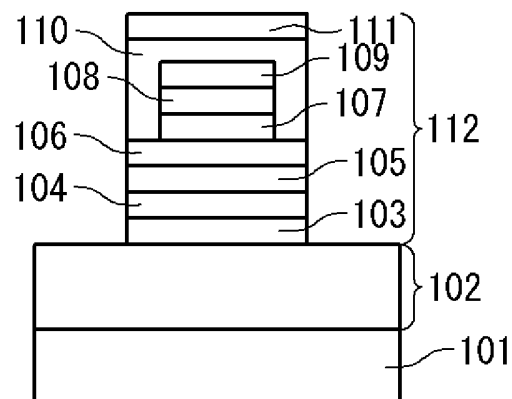
[図1A]



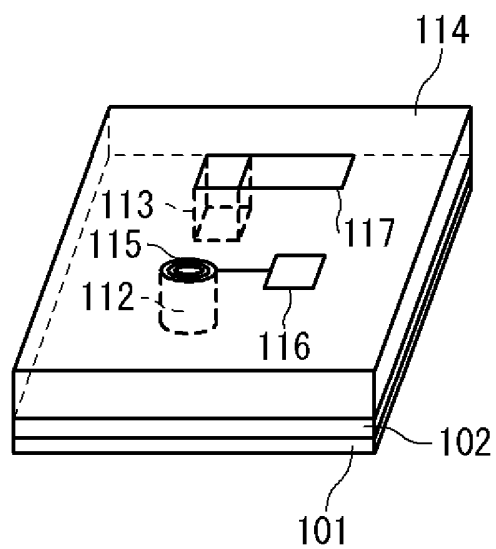
[図1B]



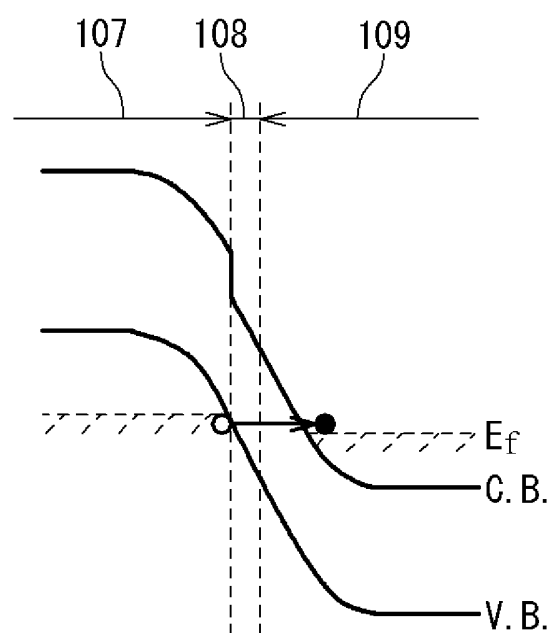
[図1C]



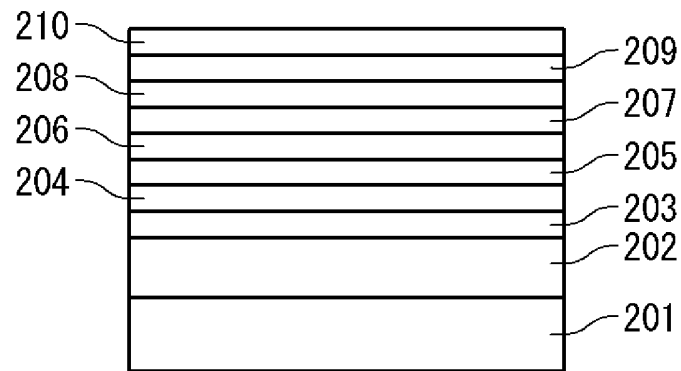
[図1D]



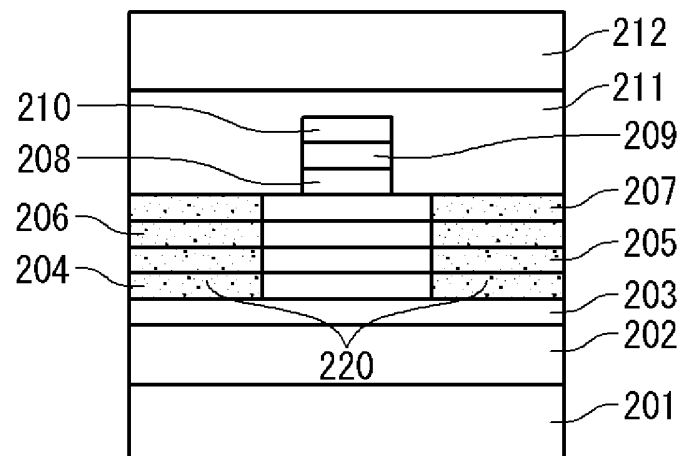
[図1E]



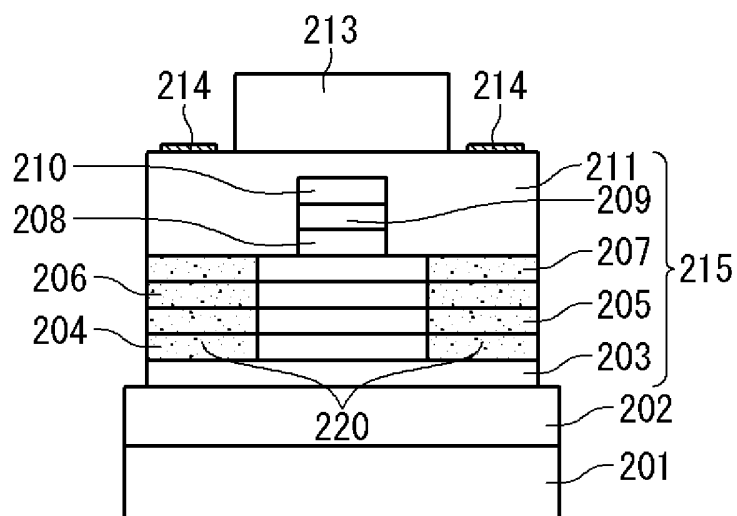
[図2A]



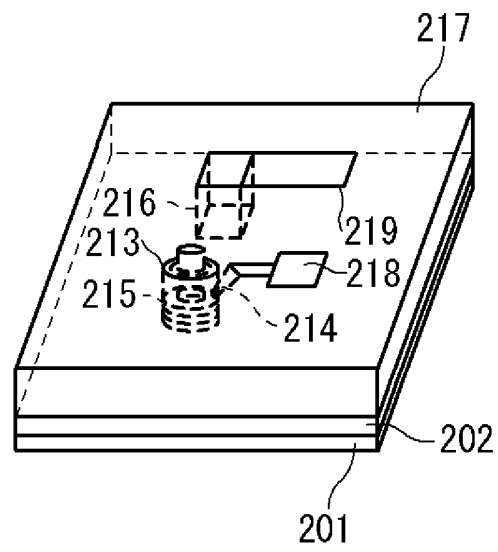
[図2B]



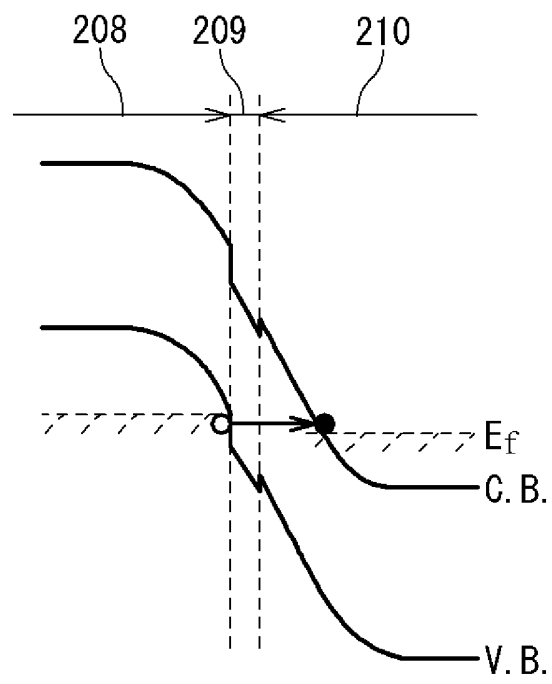
[図2C]



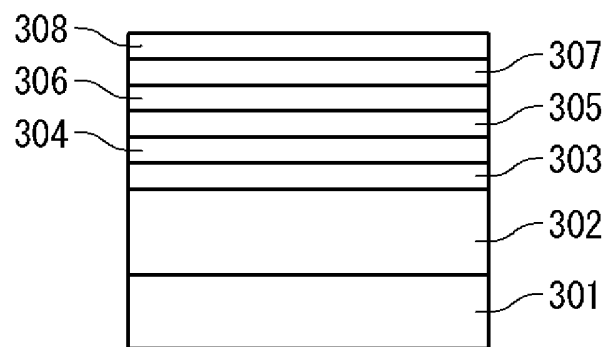
[図2D]



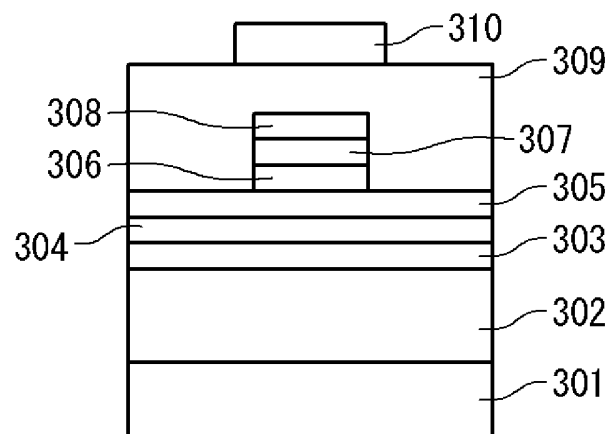
[図2E]



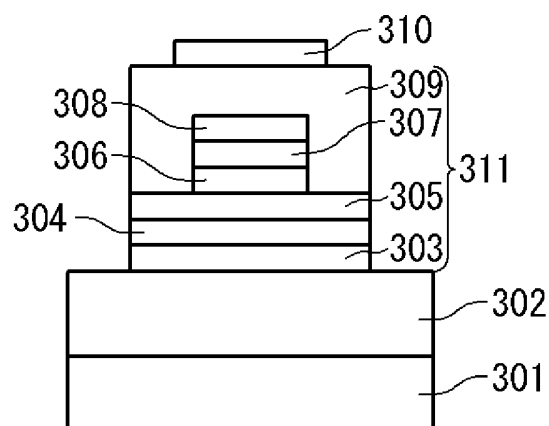
[図3A]



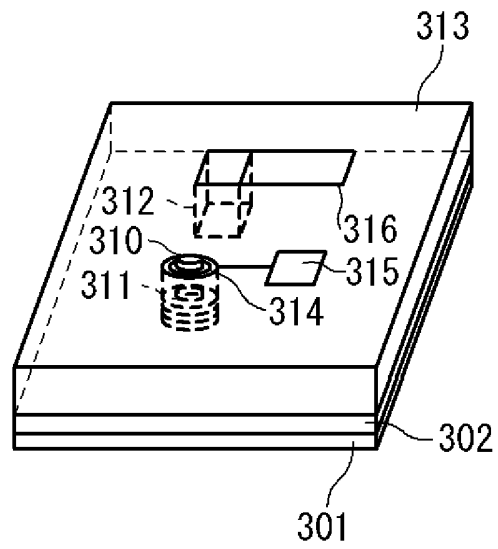
[図3B]



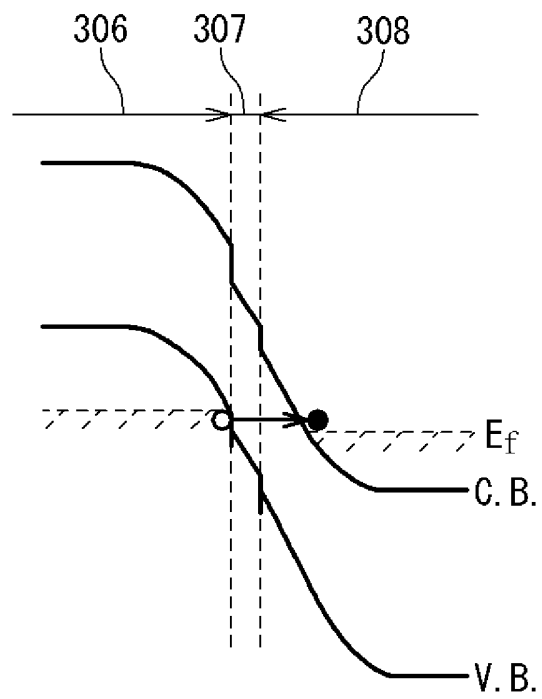
[図3C]



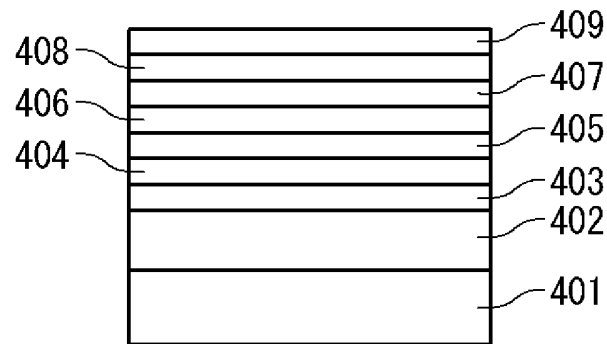
[図3D]



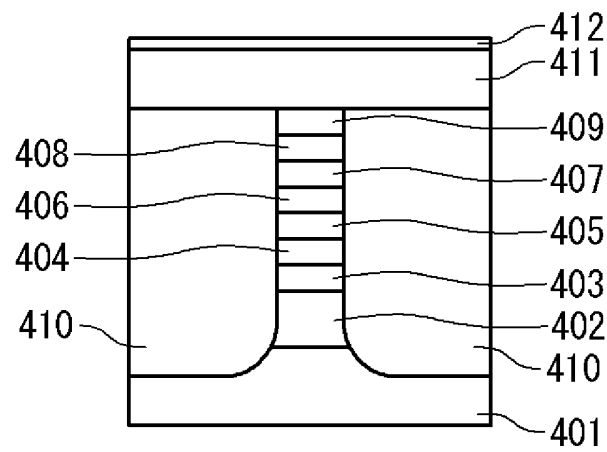
[図3E]



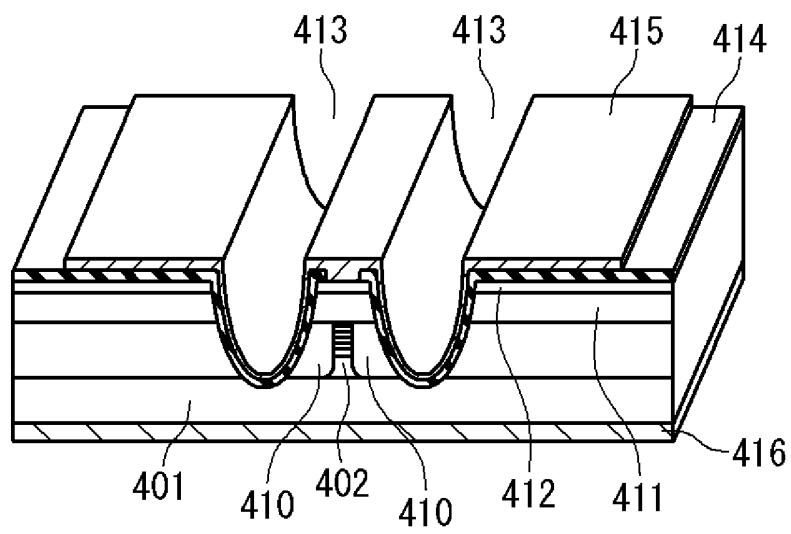
[図4A]



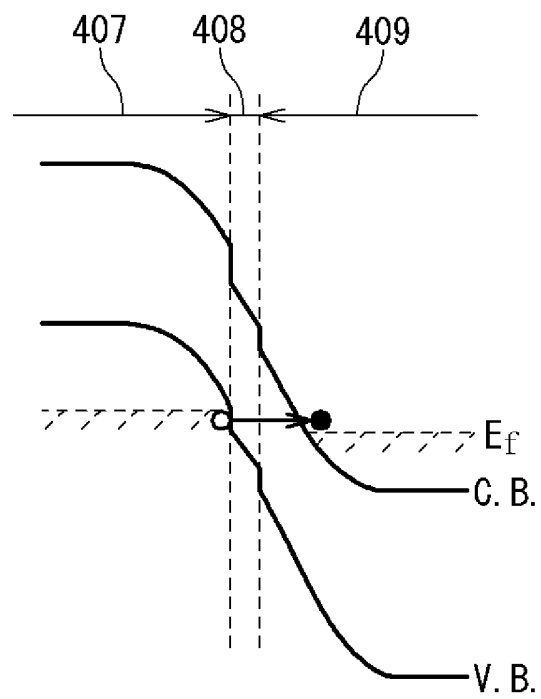
[図4B]



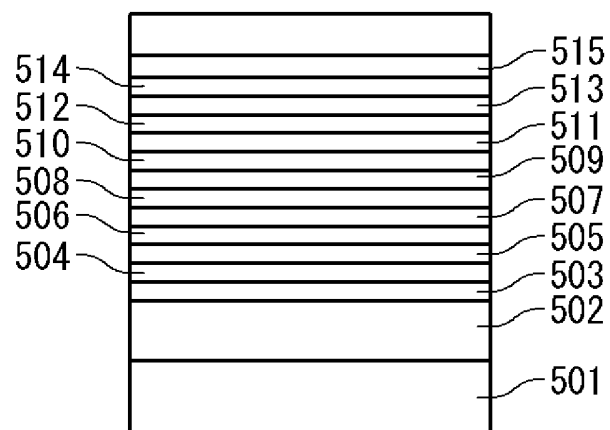
[図4C]



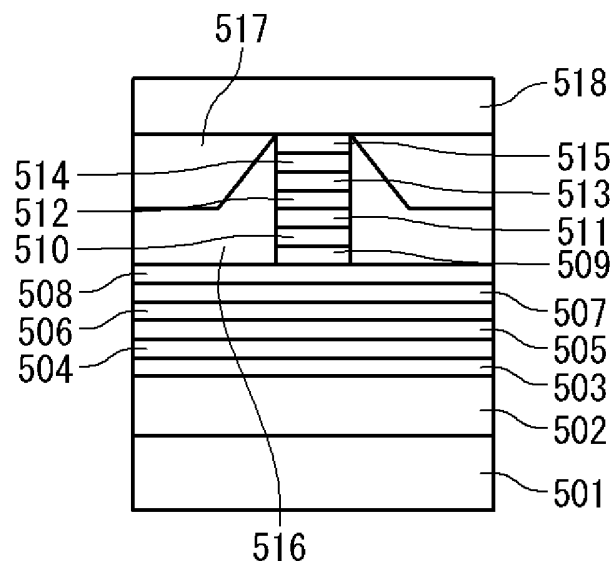
[図4D]



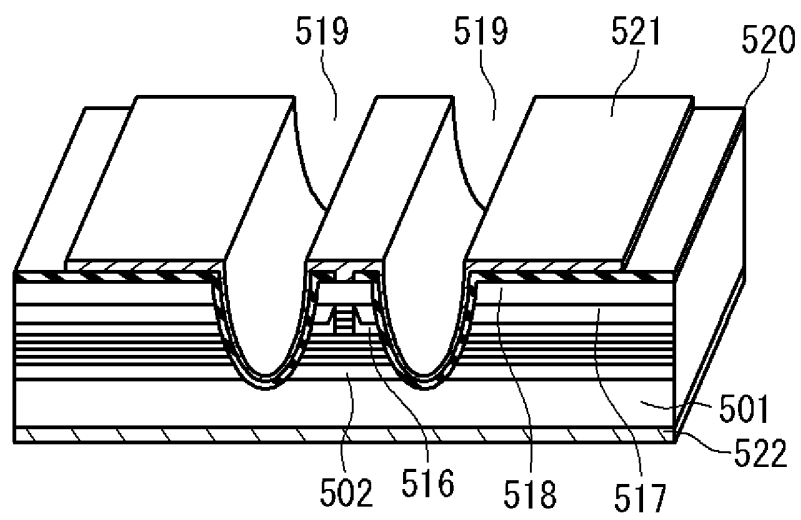
[図5A]



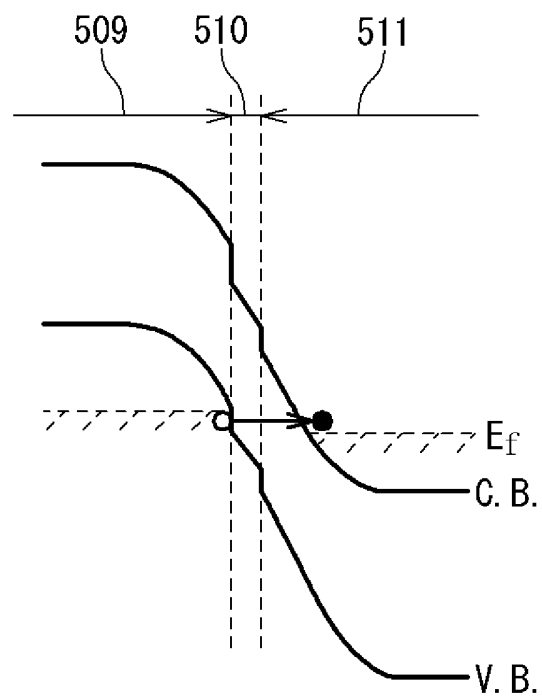
[図5B]



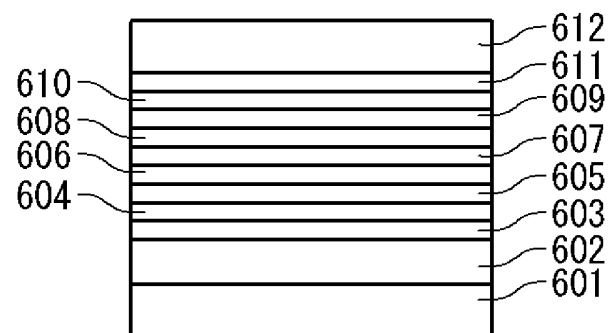
[図5C]



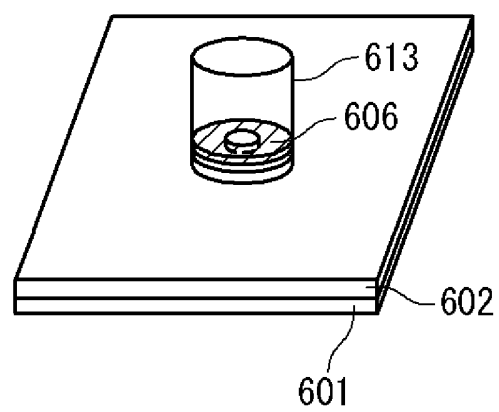
[図5D]



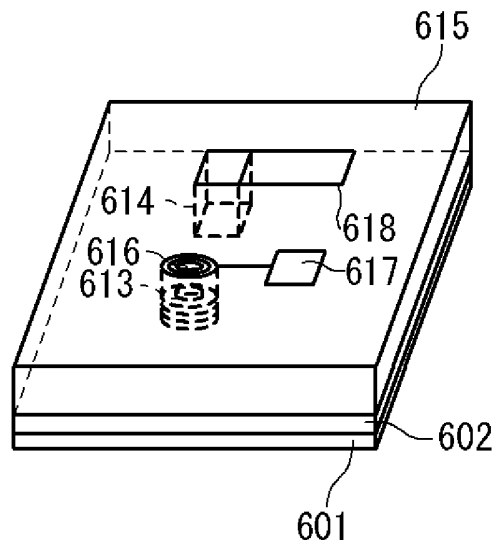
[図6A]



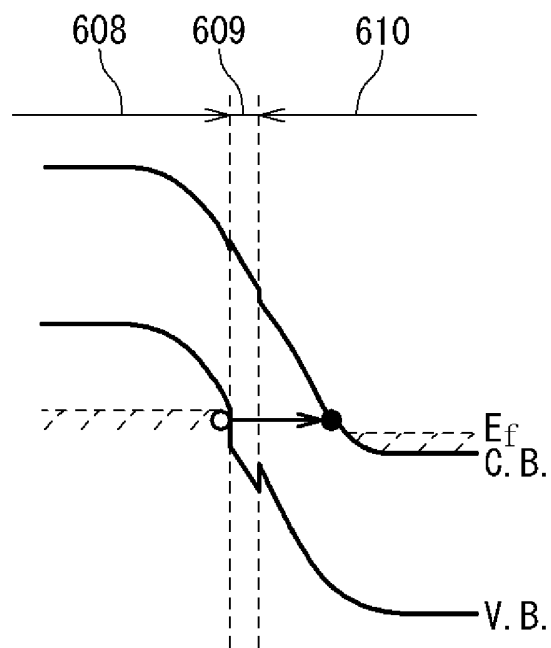
[図6B]



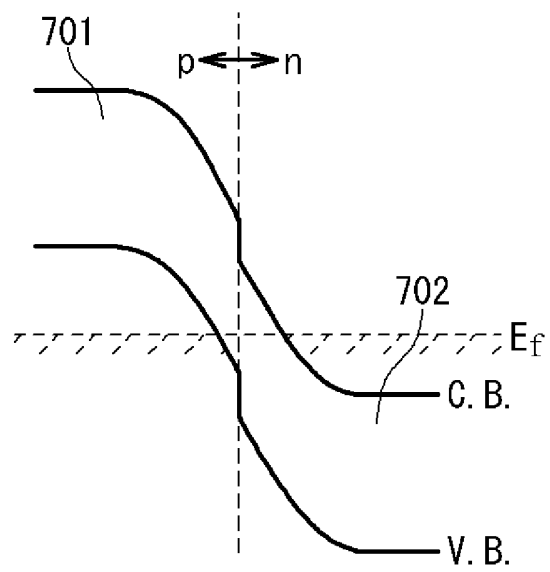
[図6C]



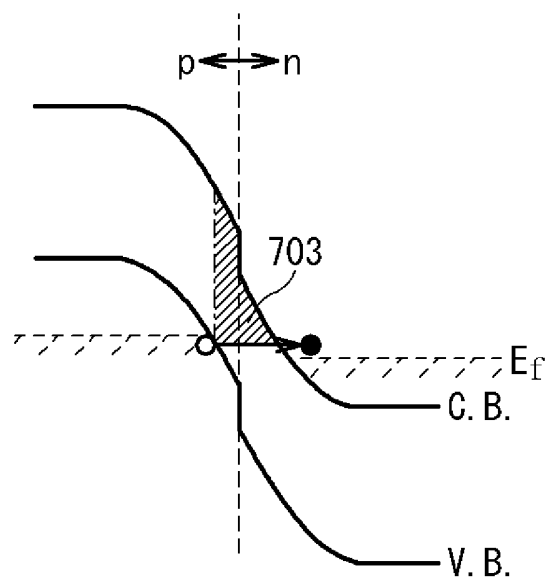
[図6D]



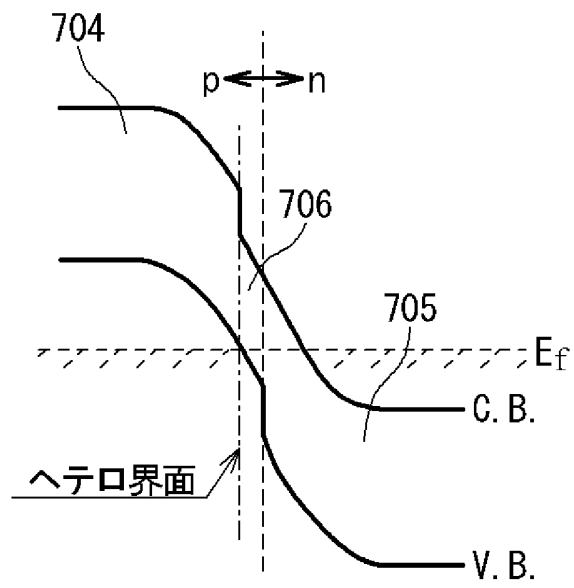
[図7A]



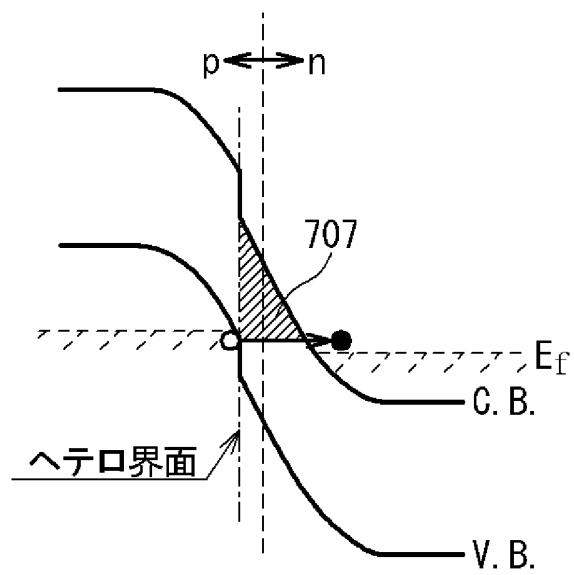
[図7B]



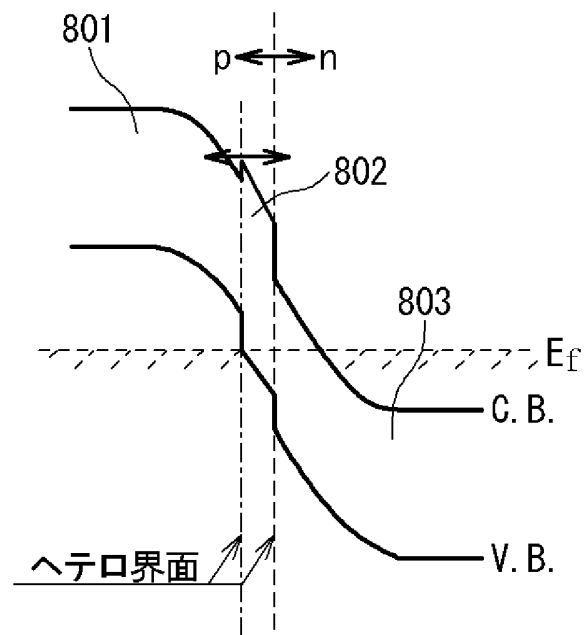
[図7C]



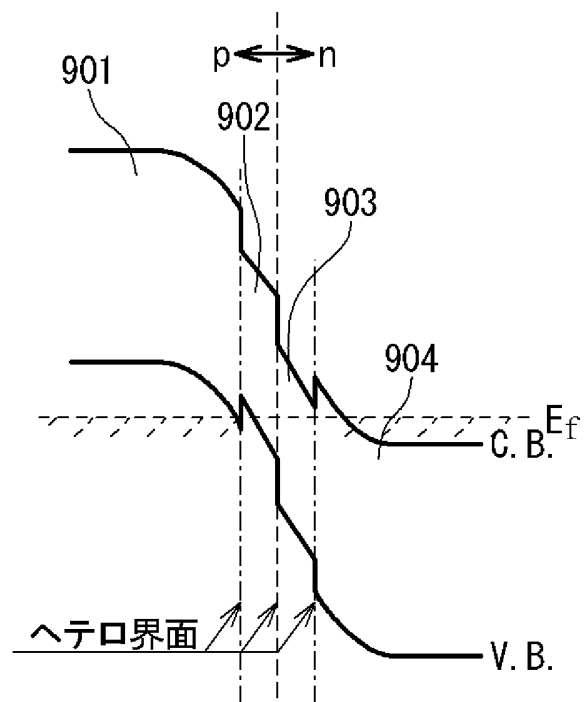
[図7D]



[図8]



[図9]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/305094

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br><b>H01S5/042</b> (2006.01)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br><b>H01S5/00-5/50, 630</b> (2006.01), <b>H01L31/10</b> (2006.01), <b>H01L33/00</b> (2006.01),<br><b>H01L21/28-21/288; 21/44-21/445; 29/40-29/64</b> (2006.01)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched<br>Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006<br>Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br><b>JSTPlus</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| Category*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                       | Relevant to claim No.                                                           |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | JP 2003-198045 A (Xerox Corp.),                                                                                                                                                                                          | 10                                                                              |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 11 July, 2003 (11.07.03),<br>Par. Nos. [0010] to [0031]; Fig. 1<br>& US 2003/0116767 A1<br>26 June, 2003 (26.06.03)<br>& EP 001328050 A2<br>16 July, 2003 (16.07.03)<br>& BR 000207606 A<br>02 December, 2003 (02.12.03) | 11                                                                              |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | JP 2004-247563 A (Sony Corp.),<br>02 September, 2004 (02.09.04),<br>Par. Nos. [0020] to [0060]; Fig. 3<br>(Family: none)                                                                                                 | 11                                                                              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| * Special categories of cited documents:<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"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)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"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<br>"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<br>"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<br>"&" document member of the same patent family |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| Date of the actual completion of the international search<br>04 April, 2006 (04.04.06)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                          | Date of mailing of the international search report<br>18 April, 2006 (18.04.06) |
| Name and mailing address of the ISA/<br>Japanese Patent Office                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                          | Authorized officer                                                              |
| Facsimile No.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                          | Telephone No.                                                                   |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2006/305094

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2004-253408 A (Ricoh Co., Ltd.),<br>09 September, 2004 (09.09.04),<br>Par. Nos. [0139] to [0153]; Figs. 3, 4<br>& US 2005/0100068 A<br>12 May, 2005 (12.05.05) | 1-11                  |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2006/305094

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:  
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**  
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/305094

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

Observations where unity of invention is lacking are as follows.

This international application includes two inventions not satisfying the requirement of unity of invention by the following reasons.

Main invention: Claims 1-9 and 11

Second invention: Claim 10

The technical feature of the main invention is a constitution wherein a p-type semiconductor layer in a tunnel region in a tunnel junction light emitting element is composed of a first p-type semiconductor layer and a second p-type semiconductor layer or a constitution wherein at least a part of the p-type semiconductor layer is composed of a compound semiconductor including at least Sb or P and a concentration of the element increases in a p-type direction from a pn interface.

The technical feature of the second invention is a constitution wherein at least a part of a p-type semiconductor layer in a tunnel region in a tunnel junction light emitting element is composed of a compound semiconductor including at least In or N.

Furthermore, since such constitution has been disclosed in JP 2004-247563 A and does not make contribution over the prior art, the constitution is not a technical feature in the meaning of PCT Rule, 13.2, second sentence.

Therefore, the main invention and the second invention do not have a common special technical feature.

Consequently, there is no technical relationship between the first invention and the second invention involving one or more of the same or corresponding technical feature specified in PCT Rule 13.2.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>Int.Cl. H01S5/042(2006.01)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>Int.Cl. H01S5/00-5/50, 630(2006.01), H01L31/10(2006.01), H01L33/00(2006.01),<br>H01L21/28-21/288;21/44-21/445;29/40-29/64(2006.01)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
| 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<br><div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>日本国実用新案公報</div> <div>1922-1996年</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>日本国公開実用新案公報</div> <div>1971-2006年</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>日本国実用新案登録公報</div> <div>1996-2006年</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>日本国登録実用新案公報</div> <div>1994-2006年</div> </div> |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
| 国際調査で利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）<br>JSTPlus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
| 引用文献の<br>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<br>請求の範囲の番号                                      |         |
| X<br>Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | JP 2003-198045 A（ゼロックス・コーポレーション）2003.07.11,<br>段落 0010-0031, 図1<br>& US 2003/0116767 A1 2003.06.26<br>& EP 001328050 A2 2003.07.16<br>& BR 000207606 A 2003.12.02 | 10<br>11                                              |         |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | JP 2004-247563 A（ソニー株式界社）2004.09.02,<br>段落 0020-0060, 図3<br>（ファミリーなし）                                                                                             | 11                                                    |         |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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<br>「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<br>「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<br>「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）<br>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献<br>「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<br>「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<br>「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<br>「&」同一パテントファミリー文献                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                       |         |
| 国際調査を完了した日<br>04.04.2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                   | 国際調査報告の発送日<br>18.04.2006                              |         |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁（ISA/JP）<br>郵便番号100-8915<br>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）<br>楳本 英吾<br>電話番号 03-3581-1101 内線 3255 | 2K 3715 |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                  |                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求の範囲の番号 |
| A                     | JP 2004-253408 A (株式会社リコー) 2004.09.09,<br>段落 0139-0153, 図 3, 4<br>& US 2005/0100068 A 2005.05.12 | 1-11             |

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2) (a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であって P C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

特別ページに示すとおり。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見は、次のとおりである。

以下の理由により、この国際出願は、発明の単一性を満たさない2つの発明を含む。

主発明 : 請求の範囲 1 ～ 9, 11

第2発明 : 請求の範囲 10

主発明の技術的特徴は、トンネル接合発光素子のトンネル領域における p 型半導体層が、第1 p 型半導体層及び第2 p 型半導体層からなる構成、又は、同 p 型半導体層の少なくとも一部が、SbとPの少なくとも一方を含む化合物半導体からなり、当該元素の濃度がpn界面からp型方向に向けて高くなっている構成である。

また、第2発明の技術的特徴は、トンネル接合発光素子のトンネル領域における p 型半導体層の少なくとも一部が、InとNの少なくとも一方を含む化合物半導体からなる構成である。

さらに、かかる構成は、JP 2004-247563 A に開示されており先行技術の域をでないから、PCT規則13.2第2文の意味における特別な技術的特徴でもない。

したがって、主発明と、第2発明とは、共通の特別な技術的特徴を有しない。

そうすると、これら第1発明、第2発明の間に、PCT規則13.2に規定された、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係があるとは認められない。