

(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  
2009年9月17日(17.09.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/113685 A1

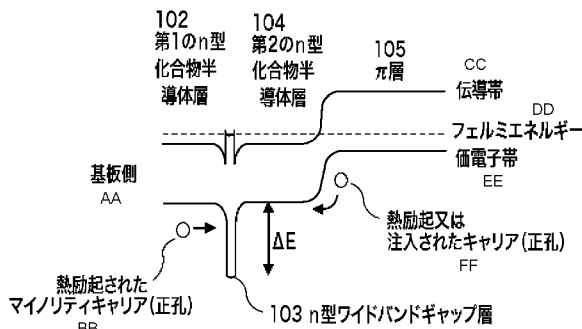
- (51) 国際特許分類:  
H01L 33/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/054954
- (22) 国際出願日: 2009年3月13日(13.03.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-066404 2008年3月14日(14.03.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 旭化成エレクトロニクス株式会社 (Asahi Kasei Microdevices Corporation) [JP/JP]; 〒1018101 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 上之 康一郎 (UENO, Koichiro) [JP/JP]; 〒1018101 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地 Tokyo (JP). 久世 直洋 (KUZE, Naohiro) [JP/JP]; 〒1018101 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-20 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, JP, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: INFRARED LIGHT EMITTING DEVICE

(54) 発明の名称: 赤外線発光素子

[図2]



- 102 FIRST n-TYPE COMPOUND SEMICONDUCTOR LAYER
- 103 n-TYPE WIDE BAND GAP LAYER
- 104 SECOND n-TYPE COMPOUND SEMICONDUCTOR LAYER
- 105  $\pi$  LAYER
- AA SUBSTRATE SIDE
- BB THERMALLY EXCITED MINORITY CARRIER (HOLE)
- CC CONDUCTION BAND
- DD Fermi ENERGY
- EE VALENCE BAND
- FF THERMALLY EXCITED OR INJECTED CARRIER (HOLE)

(57) Abstract: Provided is an infrared light emitting device wherein dark current and diffusion current caused by thermally excited holes are suppressed. Thermally excited carriers (holes) generated in a first n-type compound semiconductor layer (102) try to diffuse in the direction of a  $\pi$  layer (105), but since an n-type wide band gap layer (103) having a band gap larger than those of the first n-type compound semiconductor layer (102) and the  $\pi$  layer (105) and suppressing diffusion thereof is provided between the first n-type compound semiconductor layer (102) and the  $\pi$  layer (105), the dark current caused by holes is reduced. The n-type wide band gap layer (103) has a band gap shifted relatively to the direction of valence band by n-type doping, and thereby functions as a diffusion barrier of thermally excited holes more effectively. In other words, the band gap and n-type doping of the n-type wide band gap layer (103) are adjusted to suppress diffusion of thermally excited carriers.

(57) 要約: 熱励起した正孔 (ホール) による暗電流、及び拡散電流を抑制した赤外線発光素子を提供する。第1のn型化合物半導体層 (102) において発生し

た熱励起キャリア (正孔) は  $\pi$  層 (105) 方向に拡散しようとするが、第1のn型化合物半導体層 (102) および  $\pi$  層 (105) よりもバンドギャップが大きく、その拡散を抑制するn型ワイドバンドギャップ層 (103) を第1のn型化合物半導体層 (102) と  $\pi$  層 (105) との間に設けることで、正孔による暗電流が低減される。n型ワイドバンドギャップ層 (103) は、n型ドーピングによりそのバンドギャップが相対的に価電子帯方向へシフトしており、熱励起された正孔の拡散障壁としてより効果的に機能する。つまり、n型ワイドバンドギャップ層 (103) は、そのバンドギャップとn型ドーピングが、熱励起キャリアの拡散を抑制するように調整されている。

WO 2009/113685 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

## 赤外線発光素子

## 技術分野

[0001] 本発明は、赤外線発光素子に関する。

## 背景技術

[0002] 一般に波長が $3\mu\text{m}$ 以上の長波長帯の赤外線は、その熱的効果やガスによる赤外線吸収の効果から、人体を検知する人感センサや非接触温度センサ、及びガスセンサ等に使用されている。これらの使用例の内、特にガスセンサは大気環境の監視や保護、更には火災の早期検知などにも使用可能であり、近年注目されている。上記赤外線を使用したガスセンサの原理は以下のようなものである。まず、赤外線の光源と受光素子の間の空間に測定したいガスを注入する。特定のガスは特定の波長の赤外線を吸収する為、ガスの注入前と注入後の波長スペクトルを解析することでガスの種類や濃度を測定することが出来る。ここで、赤外線の光源としては白熱球が使用されるが、白熱球から発せられる赤外線は白色光である為、特定の波長を分光する為には受光素子側にフィルタを設ける必要がある。前記フィルタは高価であり、また赤外線の強度を弱める為ガスセンサの感度を低下させる。更に白熱球の寿命が短い為に頻繁に光源を交換する必要がある。

[0003] 上記の様な問題を解決する為には光源として特定波長の赤外線を発する半導体の発光素子(LED:Light Emitting Diode)を使用することが有効である。ここで、上記発光素子を実現するためには、波長が $3\mu\text{m}$ 以上の長波長帯の赤外線を発光する素子が必要となるが、この波長領域では素子に対する周辺温度の影響が非常に大きく、室温で使用するには問題がある。上記発光素子は一般に波長が $3\mu\text{m}$ 以上の赤外線を発光可能なバンドギャップを有する半導体中に、いわゆるpn接合ダイオード構造を形成し、前記pn接合ダイオードに順方向電流を流して接合部分である空乏層において、電子と正孔を再結合させることにより赤外線の発光を行う。

[0004] しかしながら、波長が $3\mu\text{m}$ 以上の赤外線を発光できる半導体のバンドギャップは $0.41\text{eV}$ 以下と小さい。この様なバンドギャップの小さな半導体では、熱励起キャリア

の為に室温での真性キャリア密度が大きくなり、素子の抵抗が小さくなるので十分なpnダイオードの特性が得られない。これは真性キャリア密度が大きい場合、拡散電流や暗電流の様な素子の漏れ電流が大きくなる為である。このため、これらの発光素子は熱励起キャリアを抑制する為に、一般にペルチェ素子等の冷却機構が従来使用される。しかしながら上記の様な冷却機構は装置を大型かつ高価な物としてしまう問題がある。

[0005] 上述した問題を解決する為に、室温でも長波長帯の赤外線が発光可能である発光素子の研究開発が為されている。例えば非特許文献1に記載の発光素子は、p型のインジウムアンチモン(InSb)基板上にInSbによるp- $\pi$ -n構造のダイオードを作成し、p層と $\pi$ 層の間に電子の拡散を抑制する為のAlInSbのバリア層を用いることで、波長5.5 $\mu$ m以上の赤外線発光を室温で実現している。

[0006] 下記非特許文献1のように、従来バンドギャップの小さな半導体材料では、一般的に電子の移動度が正孔の移動度に比べてはるかに大きい為、電子の漏れ電流(拡散電流や暗電流)を抑制することに重点が置かれていた。しかしながら、電子と正孔を再結合させる発光素子に於いては電子だけでなく、正孔の暗電流や拡散電流も抑えることが更なる素子特性の向上の為に必要となる。

[0007] 本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、その目的は、室温において熱励起された正孔による拡散電流、及び暗電流を抑制した赤外線発光素子を提供することにある。

[0008] 非特許文献1:T. Ashley et al., "Uncooled InSb/In<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>Sb mid-infrared emitter," Applied Physics Letters, 64(18), 2 May 1994, pp. 2433-2435

#### 発明の開示

[0009] このような赤外線発光素子を提供するために、本発明の第1の態様は、半導体基板と、前記半導体基板上の、第1のn型化合物半導体層と、前記第1のn型化合物半導体層上の、n型ワイドバンドギャップ層と、前記n型ワイドバンドギャップ層上の、p型ドーピングの $\pi$ 層とを備え、前記n型ワイドバンドギャップ層以外の層のバンドギャップは、0.41eV以下であって、前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいことを特徴とする赤外線発

光素子である。

- [0010] また、本発明の第2の態様は、第1の態様において、前記 $\pi$ 層は、前記n型ワイドバンドギャップ層上に直接に配置されていることを特徴とする。
- [0011] また、本発明の第3の態様は、第1の態様において、前記n型ワイドバンドギャップ層と前記 $\pi$ 層との間に、前記第1のn型化合物半導体層と同一組成である第2のn型化合物半導体層をさらに備えることを特徴とする。
- [0012] また、本発明の第4の態様は、第1から第3の態様のいずれかにおいて、前記 $\pi$ 層は、前記第1のn型化合物半導体層と同一組成であり、前記n型ワイドバンドギャップ層の膜厚は、臨界膜厚以下であることを特徴とする。
- [0013] また、本発明の第5の態様は、半導体基板と、前記半導体基板上の、第1のn型化合物半導体層と、前記第1のn型化合物半導体層上の、臨界膜厚以下のn型ワイドバンドギャップ層と、前記n型ワイドバンドギャップ層上の、前記n型ワイドバンドギャップ層との界面において前記第1のn型化合物半導体層と同一組成であり、膜厚方向に組成が傾斜している第2のn型化合物半導体層と、前記第2のn型化合物半導体層上の、p型ドーピングの $\pi$ 層であって、前記第2のn型化合物半導体層との界面において前記第2のn型化合物半導体層と同一組成である $\pi$ 層とを備え、前記n型ワイドバンドギャップ層以外の層のバンドギャップは、0.41eV以下であって、前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいことを特徴とする赤外線発光素子である。
- [0014] また、本発明の第6の態様は、半導体基板と、前記半導体基板上の、第1のn型化合物半導体層と、前記第1のn型化合物半導体層上の、臨界膜厚以下のn型ワイドバンドギャップ層と、前記n型ワイドバンドギャップ層上の、前記n型ワイドバンドギャップ層との界面において前記第1のn型化合物半導体層と同一組成であり、膜厚方向に組成が傾斜しているp型ドーピングの組成遷移層と、前記組成遷移層上の、p型ドーピングの $\pi$ 層であって、前記組成遷移層との界面において前記組成遷移層と同一組成である $\pi$ 層とを備え、前記n型ワイドバンドギャップ層以外の層のバンドギャップは、0.41eV以下であって、前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいことを特徴とする赤外線発

光素子である。

- [0015] また、本発明の第7の態様は、第4から第6の態様のいずれかにおいて、前記第1のn型化合物半導体層と前記n型ワイドバンドギャップ層との間に、前記第1のn型化合物半導体層と同一組成の第1の繰り返し層と、前記n型ワイドバンドギャップ層と同一組成の第2の繰り返し層とをそれぞれ少なくとも1層ずつ備え、前記第1の繰り返し層と前記第2の繰り返し層とは、交互に配置されており、前記第2の繰り返し層の膜厚は、臨界膜厚以下であることを特徴とする。
- [0016] また、本発明の第8の態様は、第1から第7の態様のいずれかにおいて、前記第1のn型化合物半導体層及び $\pi$ 層は、InAs、InSb、InAsSb、又はInSbNのいずれかであり、前記n型ワイドバンドギャップ層は、AlInSb、GaInSb、若しくはAlAs、GaAs、AlSb、GaSb、又はそれらの混晶のいずれかであることを特徴とする。
- [0017] また、本発明の第9の態様は、第1から第8の態様のいずれかにおいて、前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層と同等の濃度にドーピングされていることを特徴とする。
- [0018] また、本発明の第10の態様は、第1から第9の態様のいずれかにおいて、前記 $\pi$ 層上に配置され、前記 $\pi$ 層よりも高濃度にp型ドーピングされ、かつ前記第1のn型化合物半導体層または前記 $\pi$ 層と同一組成であるp型化合物半導体層をさらに備えることを特徴とする。
- [0019] また、本発明の第11の態様は、第1から第9の態様のいずれかにおいて、前記 $\pi$ 層上に直接に配置され、前記 $\pi$ 層よりも高濃度にp型ドーピングされ、かつ前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりも大きなバンドギャップを有するp型ワイドバンドギャップ層をさらに備えることを特徴とする。
- [0020] また、本発明の第12の態様は、第11の態様において、前記第1のn型化合物半導体層及び $\pi$ 層は、InAs、InSb、InAsSb、又はInSbNのいずれかであり、前記n型ワイドバンドギャップ層および前記p型ワイドバンドギャップ層は、それぞれAlInSb、GaInSb、若しくはAlAs、GaAs、AlSb、GaSb、又はそれらの混晶のいずれかであることを特徴とする。
- [0021] また、本発明の第13の態様は、第11または第12の態様において、前記p型ワイド

バンドギャップ層は臨界膜厚以下であり、前記p型ワイドバンドギャップ層上に、前記p型ワイドバンドギャップ層と同等以上にp型ドーピングされたp型化合物半導体保護層をさらに備えることを特徴とする。

[0022] また、本発明の第14の態様は、第13の態様において、前記p型ドーピングされたp型化合物半導体保護層は、n型化合物半導体層または $\pi$ 層と同一組成であることを特徴とする。

[0023] また、本発明の第15の態様は、第1から第14の態様のいずれかにおいて、前記第1のn型化合物半導体層の膜厚は、 $0.1\mu\text{m}$ を超えることを特徴とする。

[0024] また、本発明の第16の態様は、第1から第15の態様のいずれかにおいて、前記半導体基板は、半絶縁性の半導体基板、または前記半導体基板と該半導体基板に形成された前記第1のn型化合物半導体層とが絶縁分離可能な半導体基板であり、前記第1のn型化合物半導体層上のうち、前記 $\pi$ 層が形成されていない領域に形成された第1電極と、前記 $\pi$ 層上に形成された、第2電極とをさらに備えることを特徴とする。

[0025] また、本発明の第17の態様は、第16の態様において、前記半導体基板には、前記赤外線発光素子に形成された第1の電極と、該第1の電極が形成された赤外線発光素子の隣の赤外線発光素子に形成された第2の電極とが直列接続するように、複数の赤外線発光素子が連続的に形成されていることを特徴とする。

[0026] 本発明によれば、n型化合物半導体層とp型ドーピングの $\pi$ 層とにより構成された赤外線発光素子において、n型化合物半導体層と $\pi$ 層との間に、n型化合物半導体層および $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいn型ワイドバンドギャップ層を設けることにより、n型化合物半導体層で室温において熱励起により発生した正孔の $\pi$ 層方向への拡散を抑制し、正孔によるpnダイオードの暗電流を低減すると共に、 $\pi$ 層側において熱励起によって発生した正孔のn型化合物半導体層側への拡散も抑制することで、pnダイオードの拡散電流も低減したダイオード抵抗の高い赤外線発光素子を提供することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0027] [図1]図1は実施形態1に係る赤外線発光素子の模式図である。

[図2]図2は実施形態1に係る赤外線発光素子バンド図である。

[図3]図3は第1のn型化合物半導体層中の転位を示す図である。

[図4]図4は実施形態1に係る赤外線発光素子の変形形態を示す図である。

[図5]図5は実施形態1に係る赤外線発光素子の変形形態を示す図である。

[図6]図6は実施形態2に係る赤外線発光素子の模式図である。

[図7]図7は実施形態3に係る赤外線発光素子の模式図である。

[図8]図8は実施形態3に係る赤外線発光素子バンド図である。

[図9]図9は実施形態4に係る赤外線発光素子の模式図である。

[図10]図10は実施形態4に係る赤外線発光素子の変形形態を示す図である。

[図11]図11は実施形態5に係る赤外線発光素子の模式図である。

[図12]図12は第1のn型化合物半導体層の膜厚とエッチピット密度の関係を示す図である。

[図13A]図13Aは比較例2-1の断面TEM(透過型電子顕微鏡)観察結果を示す図である。

[図13B]図13Bは実施例2-1の断面TEM(透過型電子顕微鏡)観察結果を示す図である。

[図13C]図13Cは実施例2-2の断面TEM(透過型電子顕微鏡)観察結果を示す図である。

[図14]図14は比較例2-1および実施例2-1の構造を用いたPINダイオードの電流-電圧特性を示す図である。

[図15]図15は比較例2-1および実施例2-1の構造を用いたPINダイオードの発光特性を示す図である。

[図16]図16は実施例2-1および実施例2-2の構造を用いたPINダイオードの発光特性を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0028] 以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。

(実施形態1)

図1は、実施形態1に係る赤外線発光素子の模式図である。赤外線発光素子100

は、半絶縁性の半導体基板101と、半導体基板101上の、第1のn型化合物半導体層102と、第1のn型化合物半導体層102上の、n型ワイドバンドギャップ層103と、n型ワイドバンドギャップ層103上の、第1のn型化合物半導体層102と同一組成である第2のn型化合物半導体層104と、第2のn型化合物半導体層104上の、p型ドーピングの $\pi$ 層105と、 $\pi$ 層105上の電極106と、第2のn型化合物半導体層104上の電極107とを備える。

[0029] 赤外線発光素子100は、第2のn型化合物半導体層104と $\pi$ 層105との間に空乏層が形成される、いわゆるPN接合ダイオードである。PN接合部に順方向電流を流してキャリアを再結合させて赤外線を発生させる。

[0030] 本実施形態に係る赤外線発光素子100では、n型ワイドバンドギャップ層103のバンドギャップが第1のn型化合物半導体層102および $\pi$ 層105のそれよりも大きく、n型化合物半導体層で室温において熱励起により発生した正孔の $\pi$ 層方向への拡散、すなわちダイオードの暗電流を抑制する。ここで、図2がその様子を示している。第1のn型化合物半導体層102において発生したマイノリティキャリアである正孔(ホール)は $\pi$ 層105方向に拡散しようとするが、第1のn型化合物半導体層102および $\pi$ 層105よりもバンドギャップが大きく、その拡散を抑制するn型ワイドバンドギャップ層103を第1のn型化合物半導体層102と $\pi$ 層105との間に設けることで、暗電流が低減される。n型ワイドバンドギャップ層103は、n型ドーピングによりそのバンドギャップが相対的に価電子帯方向へシフトしており、正孔の拡散障壁としてより効果的に機能する。つまり、n型ワイドバンドギャップ層103は、そのバンドギャップとn型ドーピングが、正孔の拡散を抑制するように調整されている。

[0031] また、 $\pi$ 層105において熱励起によって発生した正孔は、通常はpn接合により形成されている内部電界の為に $\pi$ 層105方向へ移動するが、その一部は拡散によりn型化合物半導体層102方向へと移動し、ダイオードの拡散電流となる。前述のように、波長が $3\mu\text{m}$ 以上の赤外線を吸収できるバンドギャップの小さな半導体では、室温でも熱励起の為に真性キャリア密度が大きくなる。ここで拡散電流は真性キャリア密度の2乗に比例する関係が有り、すなわち真性キャリア密度が大きいほど拡散電流は大きくなる。大きな拡散電流は素子のダイオード抵抗を低下させる為これを抑制するこ

とは特に重要である。

- [0032] n型ワイドバンドギャップ層103は、図2に示す様に正孔による拡散電流に対する障壁にもなる。従って拡散電流を抑制することができる。これは、化合物半導体層が窒化ガリウム(GaN)やガリウム砒素(GaAs)の様な元来バンドギャップが大きく熱励起キャリアの影響が無視でき、拡散電流が元々小さいような化合物半導体である場合は意味を成さず、上記のようにバンドギャップが小さい半導体であるが故に得られる効果である。
- [0033] 更に、図2に示す様に赤外線発光素子100を発光素子として使用する場合、 $\pi$ 層105側から注入された正孔が、n型化合物半導体層102中へ拡散することを抑制することが出来る為、pn接合により形成されている空乏層内において電子と正孔の再結合効率を向上させることもできる。
- [0034] 上述した熱励起された正孔の拡散による暗電流、及び拡散電流を抑制するために、必要なn型ワイドバンドギャップ層103と価電子帯とのエネルギー差 $\Delta E$ の大きさは、正孔の持つエネルギーよりも大きい必要がある。ここで正孔に与えられるエネルギーとしては、熱エネルギーがあり、室温の場合約25meVである。従って、この場合の $\Delta E$ の大きさは少なくとも熱エネルギー以上、室温の場合は25meV以上であることが好ましい。
- [0035] 更に、発光素子の場合にはダイオードへの順バイアスによって注入される正孔が、n型化合物半導体層102中へ拡散することを抑制する為に、少なくともPN接合の電位差よりも $\Delta E$ が大きいことが好ましい。通常PN接合の電位差はトンネルリーク電流を防ぐ為にバンドギャップよりも小さくなることから、 $\Delta E$ は、少なくとも第1および第2のn型化合物半導体層102および104、ならびに $\pi$ 層105のエネルギーバンドギャップの大きさの50%以上が好ましく、より好ましくは80%以上であり、更に好ましくは同等以上である。例えば第1および第2のn型化合物半導体層102および104、ならびに $\pi$ 層105にInSbを使用した場合、室温で $\Delta E$ は0.09eV以上が好ましく、より好ましくは0.14eV以上であり、更に好ましくは0.18eV以上である。前記の様な $\Delta E$ を得る為に、適したn型ワイドバンドギャップ層103のバンドギャップの大きさは、第1および第2のn型化合物半導体層102および104、ならびに $\pi$ 層105のエネルギーバン

ドギャップの大ききの1.5倍以上が好ましく、より好ましくは2倍以上、更に好ましくは2.3倍以上である。ただし、上記の $\Delta E$ の大ききは、n型ワイドバンドギャップ層103のバンドギャップの大ききに加えて、材料の電子親和力や、n型ワイドバンドギャップ層へのドーピング濃度によっても調整可能である。

[0036] 次に、本実施形態に係る赤外線発光素子100の各構成要素について以下に詳説する。

[0037] まず、n型ワイドバンドギャップ層103以外の層を構成する化合物半導体はナローバンドであり、特に、波長が $3\mu\text{m}$ 以上の長波長帯の赤外線を吸収および発生可能な、バンドギャップが $0.41\text{eV}$ 以下の化合物半導体であることが好ましい。素子は室温での使用を想定しているため、室温においてバンドギャップが $0.41\text{eV}$ 以下であることがより好ましいが、素子の使用温度が室温ではない場合は、それらの使用温度においてバンドギャップが $0.41\text{eV}$ 以下であればよい。また、波長 $3.6\mu\text{m}$ 以上の赤外線を発光が可能な $0.36\text{eV}$ 以下であれば好ましく、更に波長 $5\mu\text{m}$ 以上の赤外線を発光が可能な $0.25\text{eV}$ 以下であればより好ましい。これは上述のようにn型ワイドバンドギャップ層103の暗電流、拡散電流、を抑制する効果は、n型ワイドバンドギャップ層103以外の層を構成する化合物半導体のバンドギャップが小さいほど効果を増す為である。

[0038] 室温でエネルギーバンドギャップが $0.41\text{eV}$ 以下であるナローバンドギャップの化合物半導体としては、InAs、InSb、InAsSb、又はInSbNのいずれかを用いることができる。InAs、InSbの室温でのエネルギーバンドギャップは、それぞれ $0.36\text{eV}$ 、 $0.18\text{eV}$ である。InAs<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub> 混晶 ( $0 < x < 1$ ) のエネルギーバンドギャップ $E_g$  は、 $0.58x^2 - 0.41x + 0.18 = E_g$  で表され、非常に大きな非線形因子がある。したがって、InAsSbの室温でのエネルギーバンドギャップは、InAsの室温でのエネルギーバンドギャップよりも低く、 $0.36\text{eV}$ 以下である。また、InSb<sub>1-y</sub>N<sub>y</sub> 混晶 ( $0 < y < 0.01$ ) のバンドギャップは更に大きな非線形因子があり、窒素Nの組成 $y$ が僅か $0.01$ でバンドギャップがほぼ0に近くなることが知られている。

[0039] また、n型ワイドバンドギャップ層103としては、AlInSb、GaInSb、若しくはAlAs、GaAs、AlSb、GaSb、又はそれらの混晶のいずれかを用いることができる。各n型ワ

イドバンドギャップ層の室温でのエネルギーバンドギャップは、組成比により決まり、例えば、 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層の室温におけるバンドギャップは0.46eVである。上記の材料はHgCdTe(MCT)の様なHgの蒸気圧が高く結晶成長時の組成制御や再現性が難しい材料に比べて、安定した化合物や混晶半導体を作成可能な材料であり、より好ましい。

[0040] 本実施形態に係る赤外線発光素子100の素子特性をさらに向上するために、 $\pi$ 層105を第1のn型化合物半導体層102と同一組成とし、n型ワイドバンドギャップ層103の膜厚を臨界膜厚以下とすることができる。以下でn型ワイドバンドギャップ層103の膜厚が臨界膜厚以下である場合について述べる。赤外線発光素子100の備えるn型ワイドバンドギャップ層103は第1のn型化合物半導体層102よりもバンドギャップが大きく、第1のn型化合物半導体層102と組成が異なる。このような層を第1のn型化合物半導体層102上に形成すると、半導体基板101と第1のn型化合物半導体層102との界面で発生したミスフィット転位が、n型ワイドバンドギャップ層103と第1のn型化合物半導体層102との界面において図3に示すように界面と平行な方向に伝播の向きが変えられることが実験的に分かった。向きが変わった転位は転位同士が対消滅するか、あるいは転位ループを作り半導体基板101との界面に再び戻ることになる。すなわち、転位を第1のn型化合物半導体層102中に閉じ込めることができる。実施例は後述する。これによりPN接合部分への転位の伝播を大幅に減らすことが可能となり、赤外線発光素子100の素子特性に対する結晶欠陥の影響を低減することができる。化合物半導体層中の結晶欠陥は、キャリアのリークパスとしてダイオード特性を、また再結合中心として発光特性を劣化させる可能性がある。なお上述した様に、上記のn型ワイドバンドギャップ層103による基板界面からの貫通転位の低減効果は、臨界膜厚以上の膜を成長し、膜中に新たに発生した転位と、基板界面からの貫通転位とを対消滅させる方法や、基板から徐々に組成を変えた格子整合層を基板と活性層の間に設ける等の方法とは異なる効果であり、量産に適した簡易な構造で、活性層となる $\pi$ 層の結晶性を向上出来ると共に暗電流、拡散電流を低減することも出来るものである。

[0041] n型ワイドバンドギャップ層103は、第1のn型化合物半導体層102、第2のn型化合

物半導体層104および $\pi$ 層105よりもバンドギャップが大きく、第1のn型化合物半導体層102と組成の異なる材料である。組成が異なると一般に格子定数も異なり、n型ワイドバンドギャップ層103はその格子全体を歪ませて、下地である第1のn型化合物半導体層102に格子整合して成長していく。n型ワイドバンドギャップ層103の膜厚が、そのように格子整合した状態で成長できる膜厚が、いわゆる「臨界膜厚」である。一方で膜厚が増大し、膜中の歪エネルギーが大きくなると、格子定数の違いを調節する為に膜と下地との界面に転位(ミスフィット転位)を導入した方が膜のエネルギー的に低くなる為、界面から膜中にミスフィット転位が導入される。すなわち、「臨界膜厚」とはミスフィット転位が入らず格子整合が格子歪で吸収される最大膜厚である。n型ワイドバンドギャップ層103の膜厚を臨界膜厚以下とし、更に第1のn型化合物半導体層102と第2のn型化合物半導体層104の組成が同じであることによって、第1のn型化合物半導体層102とn型ワイドバンドギャップ層103と第2のn型化合物半導体層104の格子定数は一致することになる。この為n型ワイドバンドギャップ層103と第1のn型化合物半導体層102および第2のn型化合物半導体層104との界面から新たにミスフィット転位が発生することを抑制できる。これにより、結晶性の高いn型ワイドバンドギャップ層103を得ることが出来、前述した暗電流、及び拡散電流の抑制効果が高めることが出来る。更に前述した界面からの貫通転位を減少させる効果と合わせて、活性層となる $\pi$ 層の結晶性も向上させることが出来る為、発光効率を高めることが可能となる。なお、本明細書において使用する「同一組成」という用語は、完全に組成が同一の場合に加え、格子不整合による応力が臨界膜厚以下のn型ワイドバンドギャップ層との界面において欠陥を発生させない程度に同一である場合を含むことが意図されている。

[0042] 半導体基板101としては、SiやGaAs等を用いることができる。結晶面は、(100)、(111)、(110)方向等がある。半絶縁性の半導体基板101は、一般にそのバンドギャップが0.41eVよりも大きい為長波長帯の赤外線に対して透明であるので、発生した赤外線の基板側からの取り出しを妨げない。基板側には電極が無い為に発生した赤外線が電極により遮られることが無く好ましい。一方、本実施形態では半絶縁性の基板を用いたが、図4に示すようにn型半導体基板を用いてもよい。この場合、一方

の電極407は図4に示すように基板の裏面に作製することも可能である。

- [0043] 第1のn型化合物半導体層102は、n型ドーピングされたナローバンドギャップの化合物半導体である。ナローバンドギャップの化合物半導体は正孔に比べて電子の移動度が非常に大きいため、p型ドーピングよりもn型ドーピングの方が半導体層のシート抵抗を容易に下げることができる。したがって、素子構造において大きな面積を占めている第1のn型化合物半導体層102にn型ドーピングすることで、赤外線発光素子100のシート抵抗を容易に低減することができる。シート抵抗が増加すると、ダイオードの等価回路上ダイオードに対して直列に接続されたシリーズ抵抗が増加することになる。このシリーズ抵抗は素子に注入した電力を消費する為になるべく小さい方が望ましい。n型ドーパントとしては、Si、Te、Sn、S、Se等を用いることができる。
- [0044] 第1のn型化合物半導体102と同様の理由で、所望のシート抵抗が得られるようにn型ワイドバンドギャップ層103のn型ドーピングを調整することができる。なお前述のようにn型ワイドバンドギャップ層103のn型ドーピングはそのバンドギャップを相対的に価電子帯方向へシフトさせる効果も持つ。
- [0045] n型ワイドバンドギャップ層103の組成は、必要なバンドギャップの大きさ及び薄膜成長の容易さ等を考慮して適切な値に設計される。一例として、第1および第2のn型化合物半導体層101および104がInSbであり、n型ワイドバンドギャップ層103が $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ である場合、Alの組成は $0.06 \leq x \leq 0.7$ 、より好ましくは $0.1 \leq x \leq 0.5$ 、更に好ましくは $0.15 \leq x \leq 0.3$ である。膜厚は各組成における臨界膜厚以下とすることができるが、それは概ね10nmから30nm程度である。
- [0046] 第2のn型化合物半導体層104も、第1のn型化合物半導体層102と同様にn型ドーピングされたナローバンドギャップの化合物半導体である。n型ドーピングの濃度は第1のn型化合物半導体層102やn型ワイドバンドギャップ層103と同一である必要はないが、素子のシート抵抗を上げない程度にドーピングされていることが好ましく、第1のn型化合物半導体層102やn型ワイドバンドギャップ層103と同一であっても良い。
- [0047]  $\pi$ 層105は、p型ドーピングの $\pi$ 層である。n型ワイドバンドギャップ層103を臨界膜厚とした場合、第2のn型化合物半導体層104について説明したのと同じ理由により

、第1のn型化合物半導体層102と同一組成とする。p型ドーピングする場合のドーピング濃度は $1 \times 10^{16}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上 $1 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>未満が好ましく、更に好ましくは $1 \times 10^{16}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上 $1 \times 10^{17}$ 原子/cm<sup>3</sup>未満である。また $\pi$ 層105の膜厚は、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、より好ましくは $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下である。p型ドーパントとしては、Be、Zn、Cd、C、Mg、Ge、Cr等を用いることができる。

[0048] 半導体基板101の上に順次、層を形成し、化学エッチングによる素子分離と $\pi$ 層105の部分除去を行い、そして電極106および107を形成することで赤外線発光素子100を得る。本実施形態に係る赤外線発光素子100を構成する各化合物半導体層は、各種の成膜方法を用いて形成できる。たとえば、分子線エピタキシー(MBE)法、有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法などが好ましい。また、素子の加工方法としては、たとえば、まず酸またはイオンミリングなどを用いてn型ドーピング層とコンタクトを取るための段差形成を行い、次に素子分離のためのメサエッチングを行い、その後SiNやSiO<sub>2</sub>などのパッシベーション膜で覆った後、電極部分のみを窓開けし、Ti/AuやCr/Au等の電極をリフトオフ法などで形成する方法が使用される。また、専用のマスクセットを使用することで素子を複数個直列接続した構造を作製できる。

[0049] なお、第2のn型化合物半導体層104は、n型ワイドバンドギャップ層103との界面において第1のn型化合物半導体層102と同一組成であり、膜厚方向に組成が傾斜しているものを用いることができる。 $\pi$ 層105の組成を第2のn型化合物半導体層104の上面と同一にし、第1のn型化合物半導体層102とは異なるようにすることで、n型ワイドバンドギャップ層103を臨界膜厚とした場合に赤外線の発光波長の調整が可能となる。

[0050] また、 $\pi$ 層105は、n型ワイドバンドギャップ層103の上に直接に配置してもよい。この構成においてn型ワイドバンドギャップ層103を臨界膜厚とした場合に $\pi$ 層105の組成を第1のn型化合物半導体層102とは異なるようにするために、n型ワイドバンドギャップ層103との界面において第1のn型化合物半導体層102と同一組成であり、膜厚方向に組成が傾斜しているp型ドーピングの組成遷移層を、n型ワイドバンドギャップ層103と $\pi$ 層105との間に設けてもよい。

[0051] また、図5に示すようにn型ワイドバンドギャップ層を複数層積層させることで、転位

を止め得る界面を複数に増やし、PN接合部分への転位の伝播を抑制する効果を更に高めることができる。ここでn型ワイドバンドギャップ層の膜厚はすべて臨界膜厚以下であるが、その間のn型化合物半導体層の膜厚は、n型にドーピングされた層(以下、「n型ドーピング層」という。)全体の膜厚を考慮して任意に決めることができる。また、何層繰り返し積層するかも、n型ドーピング層全体の膜厚を考慮して任意に決めることができる。

[0052] また、第1および第2のn型化合物半導体層102および104を高濃度にドーピングをすることで、バーシュタイン・モス・シフトにより、ドーピング濃度が高くなければ吸収してしまう赤外線に対して透明にすることができる。半導体基板101側から赤外線を抽出する場合、半導体基板101は赤外線に対して透明であり、またn型ワイドバンドギャップ層103もそのバンドギャップの大きさから透明であるので、 $\pi$ 層105に存在するPN接合の空乏層部分で発生した赤外線を効率的に取り出すことができ、素子の外部量子効率を向上できる。ドーピング濃度としては、 $1 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上が好ましく、より好ましくは $1 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上である。

[0053] また、半導体基板101上に成長する第1のn型化合物半導体層101の結晶性を上げるために、半導体基板101と第1のn型化合物半導体層102との間に、格子定数が半導体基板101と第1のn型化合物半導体層102の中間程度であり、格子不整合を緩和させるバッファ層を用いる場合もある。この場合バッファ層は赤外線の光を吸収しないような材料が選択される。

[0054] 本実施形態では、 $\pi$ 層105にp型、 $\pi$ 層105以外にn型の層を使用した。n型とp型を入れ替えた構造においてはワイドバンドギャップ層により電子の暗電流や拡散電流の抑制や結晶欠陥による素子特性の劣化低減という効果が得られる。ただし、第1のn型化合物半導体層102に関して説明したように、p型ドーピングにすると素子のシート抵抗が増大してしまう。また、p型の化合物半導体は長波長帯の赤外線を吸収し易いため基板側からの赤外線の取り出しが難しくなる。

[0055] また、図1に示した赤外線発光素子100は、第2のn型化合物半導体層104上に電極107を設けたが、n型ワイドバンドギャップ層103または第1のn型化合物半導体層102に接続する形に設けてもよい。ただし、n型ドーピング層のシート抵抗を下げるた

めにはそれらの膜厚が厚い方がよいので、電極107を設ける位置としては図1のように第2のn型化合物半導体層の直上(あるいはn型ドーピング層の上面)が好ましい。

[0056] (実施形態2)

図6は、実施形態2に係る赤外線発光素子600を示している。半導体基板101から $\pi$ 層105までは実施形態1と同一であり、また同様の変形形態が考えられる。赤外線発光素子600は、 $\pi$ 層105上に配置され、 $\pi$ 層105よりも高濃度にp型ドーピングされ、かつ前記第1のn型化合物半導体層または前記 $\pi$ 層と同一組成であるp型化合物半導体層601をさらに備える。この構造はいわゆるPINダイオードの構造である。

[0057] p型化合物半導体層601は $\pi$ 層105よりも高濃度にp型ドーピングされている為にn型ドーピング層(101~104)側から注入された電子を実施形態1の例よりも効率的に $\pi$ 層中に留め、キャリアの再結合発光効率を上げることが出来る。さらに高濃度にp型ドーピングされている為に電極106とのコンタクト抵抗を下げる事ができる。p型化合物半導体層601のp型ドーピング濃度は $7 \times 10^{17}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上が好ましく、より好ましく $1 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上である。

[0058] (実施形態3)

図7は、実施形態3に係る赤外線発光素子700を示している。半導体基板101から $\pi$ 層105までは実施形態1と同一であり、また同様の変形形態が考えられる。赤外線発光素子700は、 $\pi$ 層105上に直接に配置され、 $\pi$ 層105よりも高濃度にp型ドーピングされ、かつ第1のn型化合物半導体層102および $\pi$ 層105よりも大きなバンドギャップを有するp型ワイドバンドギャップ層701をさらに備える。この構造もいわゆるPINダイオードの構造である。

[0059] 図8は、実施形態3に係る赤外線発光素子におけるエネルギーバンドギャップの模式図である。p型ワイドバンドギャップ層701のバンドギャップを第1のn型化合物半導体層102および $\pi$ 層105よりも大きくすることで、p型ワイドバンドギャップ層701中における、マイノリティキャリアである電子の熱励起による発生を効果的に抑制することができる。これにより、p型ワイドバンドギャップ層701より $\pi$ 層105側へ流れる電子による暗電流を抑制すると共に、 $\pi$ 層105において熱励起により発生し、p型ワイドバンドギャップ層701側へ流れる電子の拡散電流を抑制し、ダイオード抵抗が下がること

を効果的に抑制がすることが可能である。

[0060] ここで、p型ワイドバンドギャップ層701は長波長帯の赤外線を発生することができない程度のワイドバンドギャップであるが、赤外線の発生は $\pi$ 層105で行われるため問題とならない。また、n型ドーピング層(101~104)側から注入された電子が、p型ワイドバンドギャップ層701中へ拡散することを、実施形態2の場合よりも更に抑制することが出来る為、 $\pi$ 層105内において電子と正孔の再結合発光効率を更に向上させることもできる。

[0061] p型ワイドバンドギャップ層701の組成は必要なバンドギャップの大きさ及び薄膜成長の容易さ等を考慮して適切な値に設計される。一例として、ナローバンドギャップの化合物半導体がInSbであり、p型ワイドバンドギャップ層が $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ である場合、Alの組成は $0.06 \leq x \leq 0.7$ 、より好ましくは $0.1 \leq x \leq 0.5$ 、更に好ましくは $0.15 \leq x \leq 0.3$ である。また、p型ワイドバンドギャップ層701のp型ドーピング濃度は $7 \times 10^{17}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上が好ましく、より好ましく $1 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上である。

[0062] (実施形態4)

図9は、実施形態4に係る赤外線発光素子900を示している。半導体基板101から $\pi$ 層105までは実施形態1と同一であり、また同様の変形形態が考えられる。 $\pi$ 層105の上に $\pi$ 層105よりも高濃度にp型ドーピングされ、第1のn型化合物半導体層102および $\pi$ 層105よりも大きなバンドギャップを有するp型ワイドバンドギャップ層をさらに備える点は実施形態3と共通するが、本実施形態では、p型ワイドバンドギャップ層901を臨界膜厚以下(概ね10nmから30nm程度)とする。このようにすることで、 $\pi$ 層105との界面においてミスフィット転位等の格子欠陥が発生することを防ぎ、p型ワイドバンドギャップ層901の結晶性を高めることができ、格子欠陥起因のリーク電流を抑制することが出来る。さらに本実施形態では、p型ワイドバンドギャップ層901上に、 $\pi$ 層105よりも高濃度にp型ドーピングされたp型化合物半導体保護層902を備える。p型ワイドバンドギャップ層901は臨界膜厚以下であり非常に薄い。したがってp型ワイドバンドギャップ層901に電極を直接に形成すると電極形成のプロセス中に何らかの損傷を受ける可能性がある。p型化合物半導体保護層902は、このような損傷からp型ワイドバンドギャップ層901を保護する約割がある。

[0063] なお、p型化合物半導体保護層902は、電極106とのコンタクト層となる。電極とのコンタクト抵抗は等価回路上のシリーズ抵抗となり、発光素子の電力を消費する。したがって、p型化合物半導体保護層902と電極106とのコンタクト抵抗を下げる為にp型化合物半導体保護層902にはp型ワイドバンドギャップ層901と同等またはそれ以上のp型ドーピングがなされていることが好ましい。特にp型ドーピング濃度は $7 \times 10^{17}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上が好ましく、より好ましく $1 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>以上である。またp型化合物半導体保護層902の膜厚は0.05 μm以上1 μm以下が好ましく、より好ましくは0.1 μm以上0.7 μm以下である。

[0064] また、前記のようにp型化合物半導体保護層902は電極106とのコンタクト層となる為、その膜シート抵抗はなるべく小さい方が好ましい。従ってp型化合物半導体保護層902のバンドギャップはp型ワイドバンドギャップ層801よりも小さい方が好ましい。これはバンドギャップの小さい半導体は膜シート抵抗も小さい為である。ここで、p型化合物半導体保護層902の組成を、第1のn型化合物半導体層102、またはπ層105と同じ組成にすると、バンドギャップが小さい為その膜シート抵抗も小さく出来る。さらに、格子定数が臨界膜厚以下のp型ワイドバンドギャップ層901に近い為にp型ワイドバンドギャップ層901に対して応力を与えることが無く、その結晶性を更に高めることが出来る。特にπ層105と同じ組成の場合、π層105とp型ワイドバンドギャップ層901とp型化合物半導体保護層902の格子定数が一致する為、高い結晶性の膜成長を行うことが出来る為、好ましい。

[0065] 図10は、赤外線発光素子900の変形形態110を示している。赤外線発光素子110は、実施形態1において説明したように、π層105をn型ワイドバンドギャップ層103の上に直接に配置した構造である。この構造を特に発光素子として用いると、光の発光層であるπ層105をn型ワイドバンドギャップ層103とp型ワイドバンドギャップ層901とによって挟み込むことになり、キャリアをπ層105内に効果的に閉じ込めることができる。したがって、素子の再結合発光効率を高めることができて望ましい。

[0066] (実施形態5)

図11は、半導体基板上に複数の赤外線発光素子設けた構造を示している。各赤外線発光素子は電極により直列に接続されている。図10の構造は、化学エッチング

による素子分離と層の部分除去の後、全体に絶縁性の保護膜を積層し、素子とのコンタクト部分に窓開けした後、各素子が直列に繋がるように電極を形成することで得ることができる。この様な構造は基板がInSb基板の様な導電性の基板では実現することが出来ない。

- [0067] 発光素子の場合、上記のように複数の素子を直列に接続することで、接続素子数に比例した、より多くの発光量を得ることができる。この場合でも、素子のダイオード抵抗以外の直列抵抗成分、すなわちn型ドーピング層の膜シート抵抗や、電極とのコンタクト抵抗等の抵抗が大きいと不必要な入力電力を必要とし、更に素子の発熱も大きくなるので、ダイオード抵抗以外の直列抵抗成分はなるべく小さい方が好ましい。

### 実施例 1

- [0068] n型ワイドバンドギャップ層による結晶欠陥の伝播抑制という効果を得るために適切な第1のn型化合物半導体層の膜厚を検討した。
- [0069] 半導体基板上に最初に成長する第1のn型化合物半導体層は、基板材料と格子不整合の大きいヘテロ成長となるために、最初は島状に成長し、成長した島が互いに接触し結合することで連続膜となる成長過程をとる。したがって、その膜厚が非常に薄い場合、連続膜を形成できないか、あるいは連続膜であっても十分な結晶性が得られない場合がある。このような結晶性の第1のn型化合物半導体層上にn型ワイドバンドギャップ層を成長しても、下層の第1のn型化合物半導体層の結晶性が影響し、n型ワイドバンドギャップ層も十分な結晶性が得られず十分な結晶欠陥の伝播抑制効果を発揮できない。
- [0070] ここで、GaAs基板上に合計1  $\mu$  mのInSb膜を成長する際、膜厚20nmのn型ワイドバンドギャップ層 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ を、基板から0.1  $\mu$  m、0.2  $\mu$  m、および0.3  $\mu$  mの位置にそれぞれ挿入した。このInSb膜をHF(フッ酸): $\text{HNO}_3$ (硝酸): $\text{H}_2\text{O}$ (水)=1:1:3のエッチャントでエッチングすると、表面に達した転位部分、いわゆる貫通転位がエッチピットとして得られた。エッチピットの数数を数えることで、膜の表面に達した転位の数が得られる。
- [0071] 図12は、このようにして得られたエッチピットの数とn型ワイドバンドギャップ層 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ の挿入位置の関係を示すグラフである。この図から分かるように、n型ワイドバ

ンドギャップ層 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ の挿入位置が基板から $0.2\mu\text{m}$ 及び $0.3\mu\text{m}$ の位置ではn型ワイドバンドギャップ層 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ のない膜に比べて貫通転位の数 $20\%$ 以上も減少している。すなわちn型ワイドバンドギャップ層 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ が結晶欠陥の伝播を効果的に抑制している。一方でn型ワイドバンドギャップ層 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ の挿入位置が基板から $0.1\mu\text{m}$ の位置ではエッチングによりInSbの膜自体が溶解してしまった。すなわち膜の結晶性を逆に悪化させてしまうことを示している。従って、n型ワイドバンドギャップ層の挿入位置は、基板から $0.1\mu\text{m}$ より離れた位置であることが好ましい。換言すれば、第1のn型化合物半導体層の膜厚は $0.1\mu\text{m}$ を超えることが好ましい。

[0072] 一方、この膜厚が厚過ぎると膜の成長に長い時間が必要となる。このため好ましい第1のn型化合物半導体層の膜厚としては $0.1\mu\text{m} < x \leq 3.0\mu\text{m}$ であり、より好ましくは $0.2\mu\text{m} \leq x \leq 2.0\mu\text{m}$ であり、更に好ましくは $0.3\mu\text{m} \leq x \leq 1.0\mu\text{m}$ である。

[0073] 第1および第2のn型化合物半導体層を合わせた全体のn型化合物半導体層の膜厚は $0.1\mu\text{m}$ より厚ければよいが、好ましくは $0.1\mu\text{m}$ より厚く $3\mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $0.7\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下である。

## 実施例 2

### [0074] 実施例2-1

図10に示した素子構造をMBE法により作製した。まず、半絶縁性のGaAs単結晶基板(001)面上に、Sn(n型ドーパント)を $1.0 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層(第1のn型化合物半導体層)を $1.0\mu\text{m}$ 成長し、この上に、同じくSn(n型ドーパント)を $1.0 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングした $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)を $0.02\mu\text{m}$ 成長し、この上にZn(p型ドーパント)を $6.0 \times 10^{16}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層( $\pi$ 層)を $1.0\mu\text{m}$ 成長し、この上にZn(p型ドーパント)を $2.0 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングした $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(p型ワイドバンドギャップ層)を $0.02\mu\text{m}$ 成長し、最後に、この上にZn(p型ドーパント)を $2.0 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層(p型化合物半導体保護層)を $0.5\mu\text{m}$ 成長した。ここで、各InSb層の室温におけるバンドギャップは $0.18\text{eV}$ であり、各 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層の室温におけるバンドギャップは $0.46\text{eV}$ である。これは、他の実施例及び比較例についても同様である。

[0075] このようにして作製した赤外線発光素子について断面TEM(透過型電子顕微鏡)観察を行った。まず、イオンリング法により薄片化し、続いて、HITACHI H-900 ONARの電子顕微鏡を用いて加速電圧300kVの条件で観察した。

図13Bに、倍率12500倍の観察結果を示す。図中に見られる斜めの線が転位である。写真から分かるようにn型InSb層と $\pi$ 層との間にあるn型の $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)によって、基板との界面から発生した転位が曲げられており、 $\pi$ 層への転位の伝播が大幅に抑制されている効果がはっきりと分かる。

[0076] なお、膜厚 $0.02\mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層はInSbの下地に対して臨界膜厚以下であり、膜表面に平行な方向に関してInSb層と $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層は完全に格子整合していることを、断面TEMの写真と、X線回折による(115)面の逆格子マッピングの結果から確認した。

#### [0077] 比較例2-1

実施例2-1から $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)を抜いた構造を作製した。この素子について、実施例2-1と同一条件で断面TEM観察を行った結果が図13Aである。図13Aから分かるように界面で発生した転位は $\pi$ 層を貫通している。

#### [0078] 実施例2-2

図10に示した素子構造において第1のn型化合物半導体層中に図5のようにn型ワイドバンドギャップ層を5層挿入した構造をMBE法により作製した。まず、半絶縁性のGaAs単結晶基板(001)面上に、Sn(n型ドーパント)を $1.0 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層を $0.5\mu\text{m}$ 成長し、この上に、同じくSn(n型ドーパント)を $1.0 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングした $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)を $0.02\mu\text{m}$ 成長し、この上にSn(n型ドーパント)を $1.0 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層を $0.02\mu\text{m}$ 成長する。この後、上記と同じ $0.02\mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)と $0.02\mu\text{m}$ のInSb層を交互に積層し、 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)が合計5層になるまで繰り返し積層する。5層目の $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{Sb}$ 層(n型ワイドバンドギャップ層)上にはSn(n型ドーパント)を $1.0 \times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層を $0.3\mu\text{m}$ 成長する。この上に更にSn(n型ドーパント)を $1.0$

$\times 10^{19}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたAl<sub>0.17</sub>In<sub>0.83</sub>Sb層を0.02 μm成長する。ここまでのn型ドーピング層(Snドーピング層)は合計で1 μmの膜厚となっている。この上にZn(p型ドーパント)を $6.0 \times 10^{16}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層(π層)を1.0 μm成長し、この上にZn(p型ドーパント)を $2.0 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたAl<sub>0.17</sub>In<sub>0.83</sub>Sb層(p型ワイドバンドギャップ層)を0.02 μm成長し、最後に、この上にZn(p型ドーパント)を $2.0 \times 10^{18}$ 原子/cm<sup>3</sup>ドーピングしたInSb層(p型化合物半導体保護層)を0.2 μm成長した。

[0079] このようにして作製した赤外線発光素子について実施例2-1と同一の条件で断面TEM観察を行った結果が図13Cである。図13Cから分かるように界面で発生した転位が、挿入された5層のAl<sub>0.17</sub>In<sub>0.83</sub>Sb層によって更に効果的に伝播抑制されていることがわかる。

[0080] 実施例2-3

実施例2-1の構造を用いて、次の手順でPINダイオードを作製した。まず、n型ドーピング層とのコンタクトを取るための段差形成エッチングを酸により行い、次いで段差形成がされた化合物半導体薄膜に対して、素子分離のためのメサエッチングを行った。その後プラズマCVDを用いて、全面(GaAs基板およびこの基板に形成された化合物半導体構造)をSiN保護膜で覆った。次いで、形成されたSiN保護膜上で電極部分のみ窓開けを行い、Au/Ti(Tiが膜側)をEB蒸着し、リフトオフ法により電極を形成した。PN接合部分は八角形の形状をしており、面積は $120.7 \mu\text{m}^2$ となるように設計した。また、比較例2-1の構造を用いてもPINダイオードを作製した。

[0081] 図14は、このようにして作製したPINダイオードの電流-電圧特性を示している。実施例2-1の構造を用いたPINダイオードは、比較例2-1の構造を用いたものと比べて、逆バイアス時の電流すなわちダイオードの暗電流が減少している。また、正バイアス時の電流の立ち上がりがバイアスの大きい側へシフトしている。これはダイオードの拡散電流が抑制された効果である。

[0082] 実施例2-4

実施例2-1の構造を用いて、実施例2-3と同じ手順でPINダイオードを作製した。ただし、PN接合部分が直径500 μmの円形となるように設計した。実施例2-3と

比べて非常に大きな素子である。

[0083] このように作製したPINダイオードの発光特性を次の手順で評価した。まず、PINダイオードを、光を取り出すための穴を開けたガラスエポキシ基板上に貼り付け、ワイヤーボンディングにより電極とガラスエポキシ基板上の端子を接続した。この端子から素子に対してパルスジェネレータ(Pulse Generator)を用いて、周波数1kHz、デューティサイクル(Duty Cycle)50%、電流値100mA(ピークトウピーク値)のパルス電流を入れ、発光素子として駆動させた。発光特性の測定はガラスエポキシ基板の穴から取り出した赤外光をFTIR(フーリエ変換赤外分光光度計)によって測定することで行った。使用したFTIRはNicolet社製のNexus870FTIRである。なお測定は室温(25°C)で行っており、測定中素子の冷却等を行っていない。また、比較例2-1の構造を用いて同様のPINダイオード構造を作製し、発光特性を測定した。

[0084] 図15は、測定によって得られた赤外線発光強度をバイアス電圧×バイアス電流(100mA)の値で割って規格化した結果を、分光した各波長に対して示している。n型ワイドバンドギャップ層の存在しない比較例2-1の構造を用いたPINダイオードと比較して実施例2-1の構造を用いたPINダイオードは、ピークを示す波長6.3 $\mu$ mにおいて発光強度が約2.3倍と著しく強くなることが確認できた。

[0085] 実施例2-5

実施例2-2の構造を用いて、実施例2-4と同様のPINダイオード構造を作製し、その発光特性を測定した。図16は、実施例2-1の構造を用いた実施例2-4のPINダイオードと本実施例のPINダイオードの、波長5 $\mu$ mから6 $\mu$ mの範囲における発光強度を示している。この波長範囲は2つのPINダイオードで最も明確に差が得られた範囲である。本実施例のPINダイオードでは実施例2-4よりも更に強い発光強度が得られている。

## 請求の範囲

- [1] 半導体基板と、  
前記半導体基板上の、第1のn型化合物半導体層と、  
前記第1のn型化合物半導体層上の、n型ワイドバンドギャップ層と、  
前記n型ワイドバンドギャップ層上の、p型ドーピングの $\pi$ 層とを備え、  
前記n型ワイドバンドギャップ層以外の層のバンドギャップは、0.41eV以下であつて、  
前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいことを特徴とする赤外線発光素子。
- [2] 前記 $\pi$ 層は、前記n型ワイドバンドギャップ層上に直接に配置されていることを特徴とする請求項1に記載の赤外線発光素子。
- [3] 前記n型ワイドバンドギャップ層と前記 $\pi$ 層との間に、前記第1のn型化合物半導体層と同一組成である第2のn型化合物半導体層をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の赤外線発光素子。
- [4] 前記 $\pi$ 層は、前記第1のn型化合物半導体層と同一組成であり、  
前記n型ワイドバンドギャップ層の膜厚は、臨界膜厚以下であることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の赤外線発光素子。
- [5] 半導体基板と、  
前記半導体基板上の、第1のn型化合物半導体層と、  
前記第1のn型化合物半導体層上の、臨界膜厚以下のn型ワイドバンドギャップ層と、  
、  
前記n型ワイドバンドギャップ層上の、前記n型ワイドバンドギャップ層との界面において前記第1のn型化合物半導体層と同一組成であり、膜厚方向に組成が傾斜している第2のn型化合物半導体層と、  
前記第2のn型化合物半導体層上の、p型ドーピングの $\pi$ 層であつて、前記第2のn型化合物半導体層との界面において前記第2のn型化合物半導体層と同一組成である $\pi$ 層と  
を備え、

前記n型ワイドバンドギャップ層以外の層のバンドギャップは、0.41eV以下であつて、

前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいことを特徴とする赤外線発光素子。

[6] 半導体基板と、

前記半導体基板上の、第1のn型化合物半導体層と、

前記第1のn型化合物半導体層上の、臨界膜厚以下のn型ワイドバンドギャップ層と、

前記n型ワイドバンドギャップ層上の、前記n型ワイドバンドギャップ層との界面において前記第1のn型化合物半導体層と同一組成であり、膜厚方向に組成が傾斜しているp型ドーピングの組成遷移層と、

前記組成遷移層上の、p型ドーピングの $\pi$ 層であつて、前記組成遷移層との界面において前記組成遷移層と同一組成である $\pi$ 層とを備え、

前記n型ワイドバンドギャップ層以外の層のバンドギャップは、0.41eV以下であつて、

前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりもバンドギャップが大きいことを特徴とする赤外線発光素子。

[7] 前記第1のn型化合物半導体層と前記n型ワイドバンドギャップ層との間に、前記第1のn型化合物半導体層と同一組成の第1の繰り返し層と、前記n型ワイドバンドギャップ層と同一組成の第2の繰り返し層とをそれぞれ少なくとも1層ずつ備え、

前記第1の繰り返し層と前記第2の繰り返し層とは、交互に配置されており、

前記第2の繰り返し層の膜厚は、臨界膜厚以下であることを特徴とする請求項4から6のいずれかに記載の赤外線発光素子。

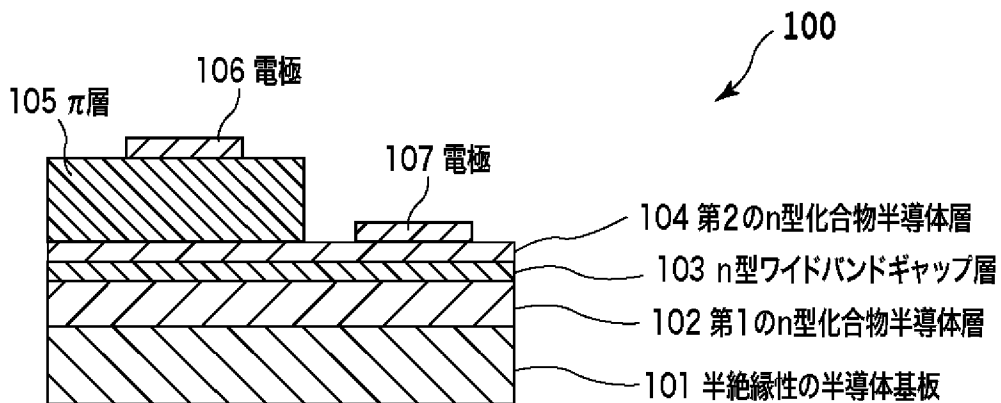
[8] 前記第1のn型化合物半導体層及び $\pi$ 層は、InAs、InSb、InAsSb、又はInSbNのいずれかであり、前記n型ワイドバンドギャップ層は、AlInSb、GaInSb、若しくはAlAs、GaAs、AlSb、GaSb、又はそれらの混晶のいずれかであることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の赤外線発光素子。

- [9] 前記n型ワイドバンドギャップ層は、前記第1のn型化合物半導体層と同等の濃度にドーピングされていることを特徴とする請求項1から8のいずれかに記載の赤外線発光素子。
- [10] 前記 $\pi$ 層上に配置され、前記 $\pi$ 層よりも高濃度にp型ドーピングされ、かつ前記第1のn型化合物半導体層または前記 $\pi$ 層と同一組成であるp型化合物半導体層をさらに備えることを特徴とする請求項1から9のいずれかに記載の赤外線発光素子。
- [11] 前記 $\pi$ 層上に直接に配置され、前記 $\pi$ 層よりも高濃度にp型ドーピングされ、かつ前記第1のn型化合物半導体層および前記 $\pi$ 層よりも大きなバンドギャップを有するp型ワイドバンドギャップ層をさらに備えることを特徴とする請求項1から9のいずれかに記載の赤外線発光素子。
- [12] 前記第1のn型化合物半導体層及び $\pi$ 層は、InAs、InSb、InAsSb、又はInSbNのいずれかであり、前記n型ワイドバンドギャップ層および前記p型ワイドバンドギャップ層は、それぞれAlInSb、GaInSb、若しくはAlAs、GaAs、AlSb、GaSb、又はそれらの混晶のいずれかであることを特徴とする請求項11に記載の赤外線発光素子。
- [13] 前記p型ワイドバンドギャップ層は臨界膜厚以下であり、  
前記p型ワイドバンドギャップ層上に、前記p型ワイドバンドギャップ層と同等以上にp型ドーピングされたp型化合物半導体保護層をさらに備えることを特徴とする請求項11または12に記載の赤外線発光素子。
- [14] 前記p型ドーピングされたp型化合物半導体保護層は、第1のn型化合物半導体層または $\pi$ 層と同一組成であることを特徴とする請求項13に記載の赤外線発光素子。
- [15] 前記第1のn型化合物半導体層の膜厚は、0.1  $\mu$ mを超えることを特徴とする請求項1から14のいずれかに記載の赤外線発光素子。
- [16] 前記半導体基板は、半絶縁性の半導体基板、または前記半導体基板と該半導体基板に形成された前記第1のn型化合物半導体層とが絶縁分離可能な半導体基板であり、  
前記第1のn型化合物半導体層上のうち、前記 $\pi$ 層が形成されていない領域に形成された第1電極と、  
前記 $\pi$ 層上に形成された、第2電極と

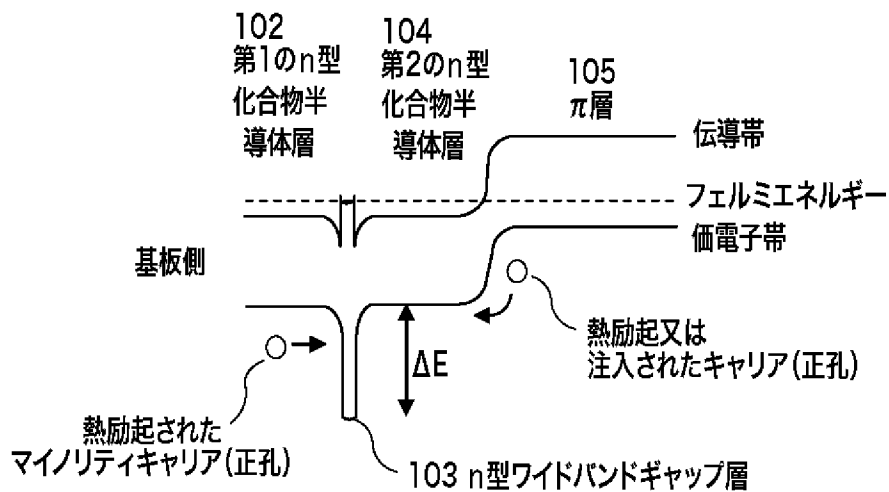
をさらに備えることを特徴とする請求項1から15のいずれかに記載の赤外線発光素子。

- [17] 前記半導体基板には、前記赤外線発光素子に形成された第1の電極と、該第1の電極が形成された赤外線発光素子の隣の赤外線発光素子に形成された第2の電極とが直列接続するように、複数の赤外線発光素子が連続的に形成されていることを特徴とする請求項16に記載の赤外線発光素子。

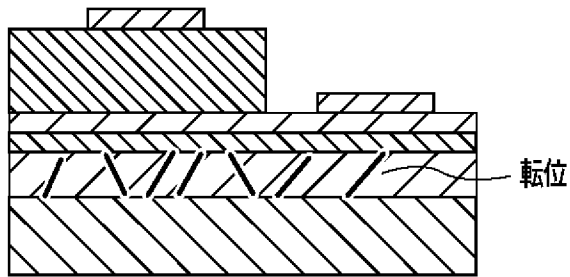
[図1]



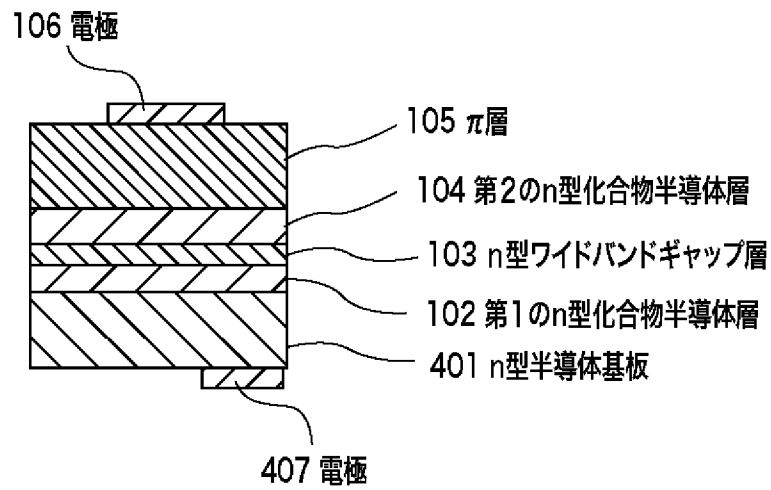
[図2]



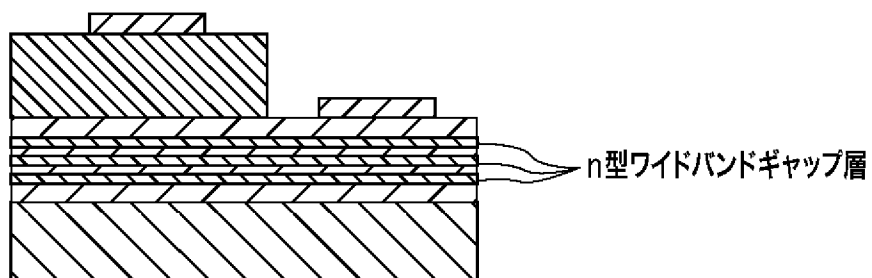
[図3]



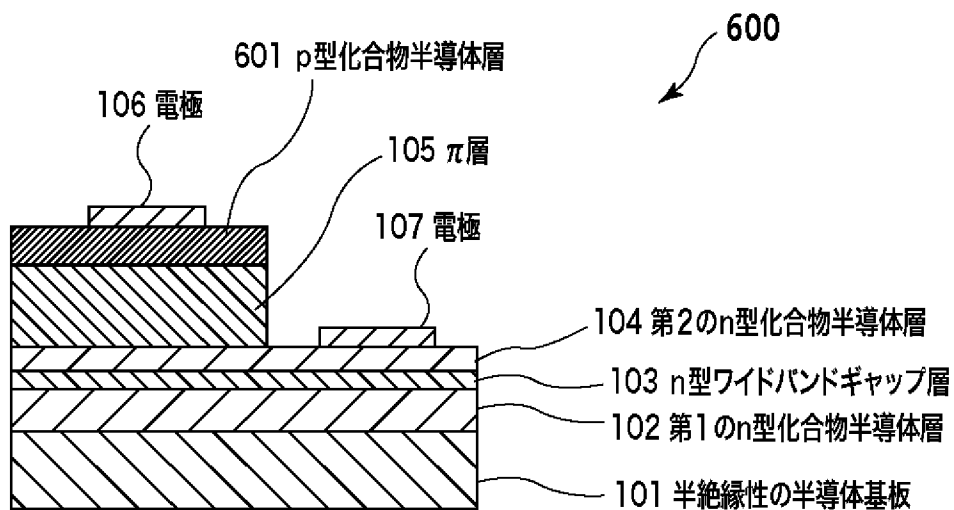
[図4]



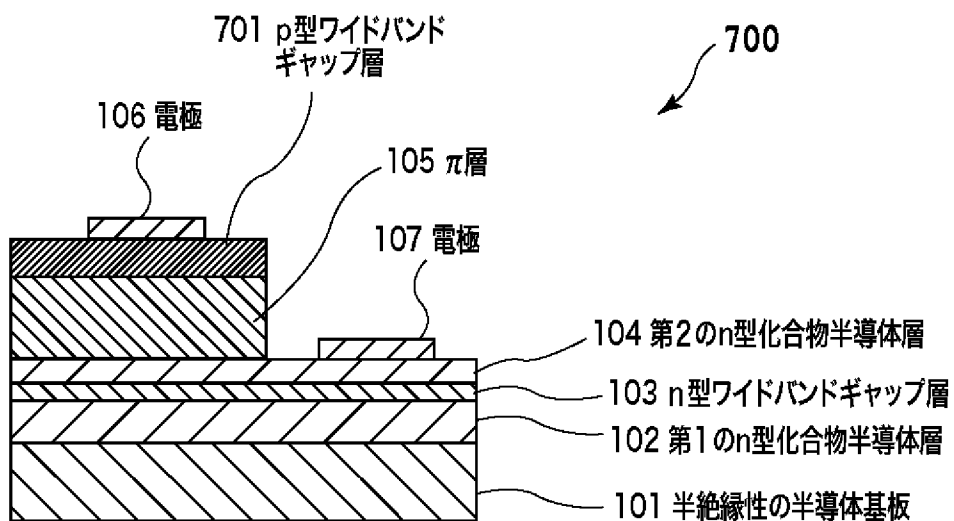
[図5]



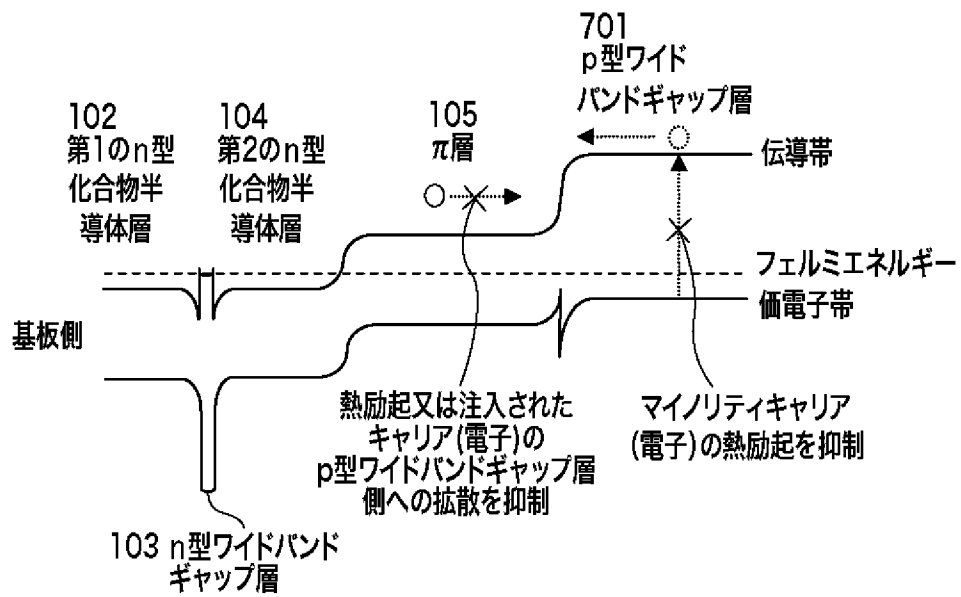
[図6]



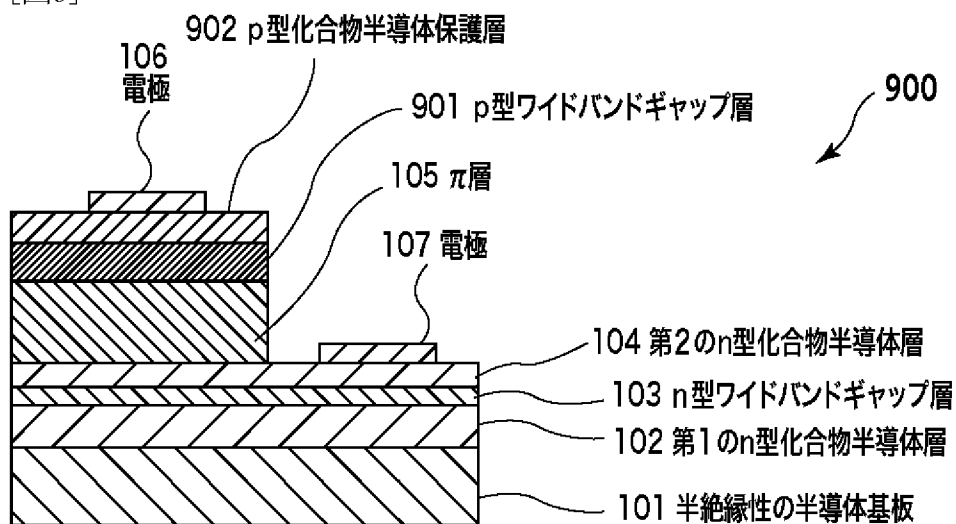
[図7]



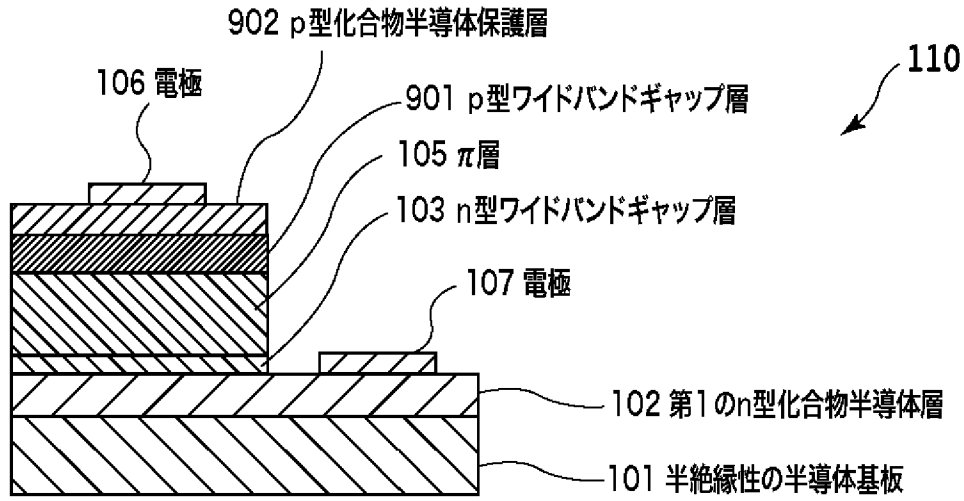
[図8]



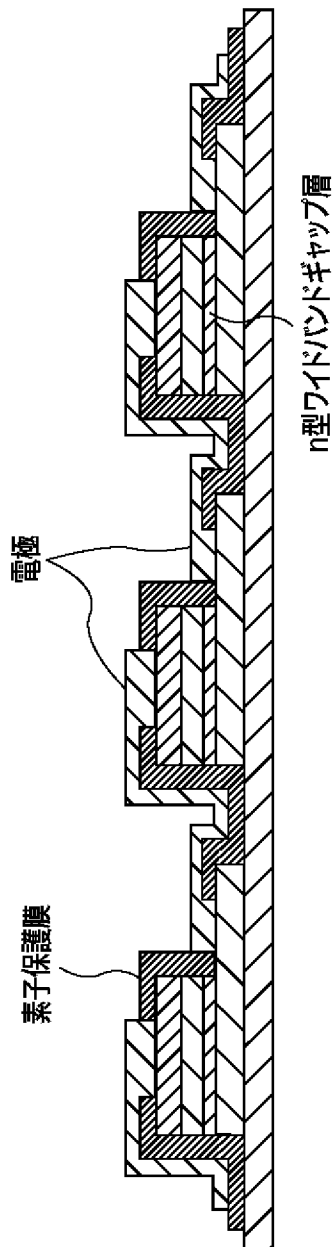
[図9]



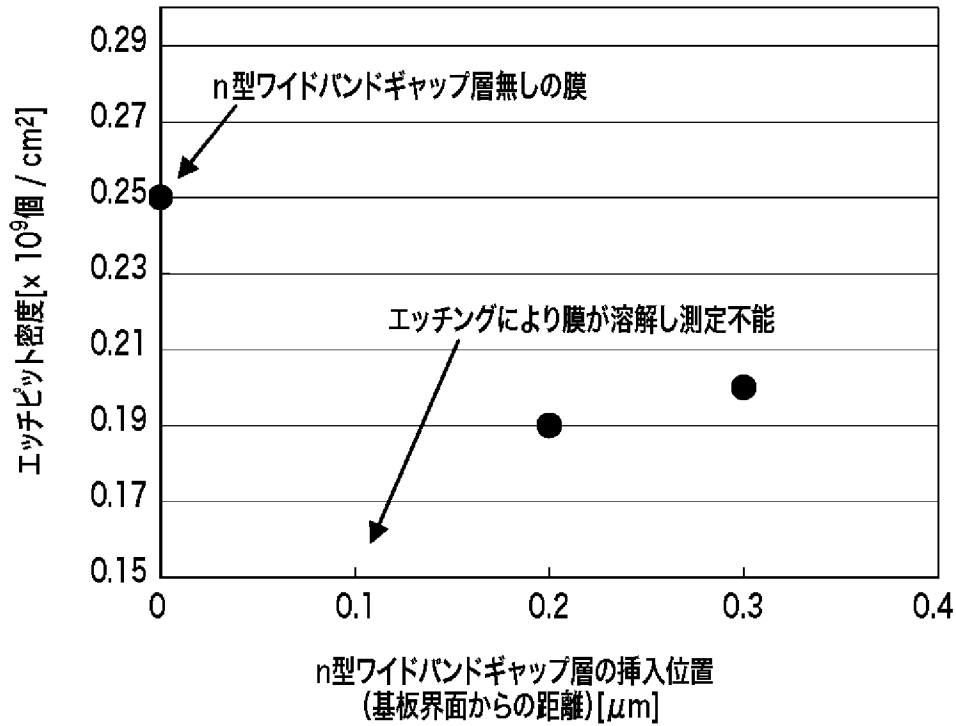
[図10]



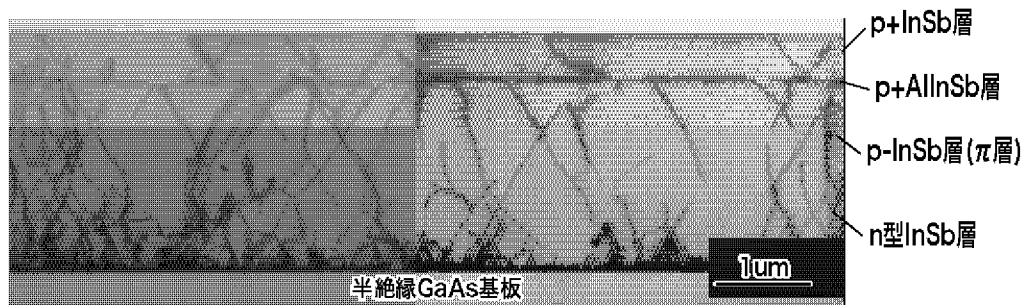
[図11]



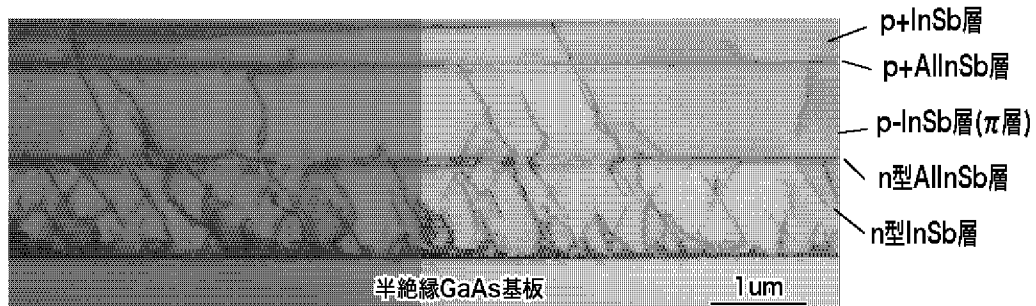
[図12]



[図13A]



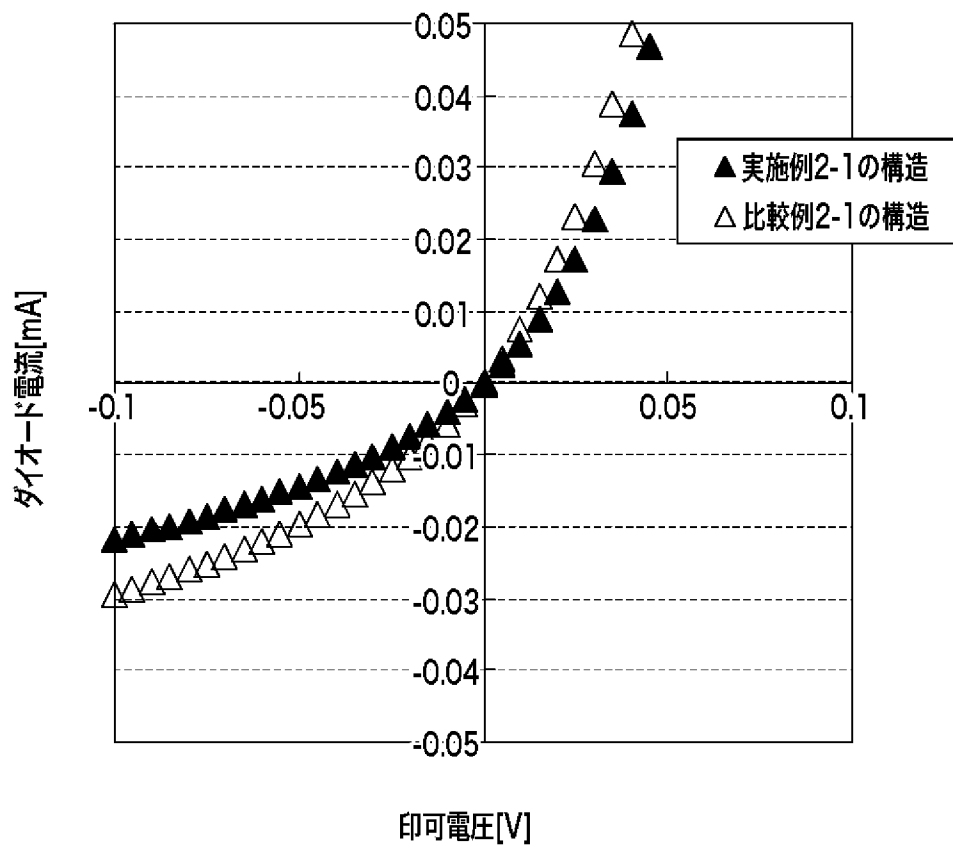
[図13B]



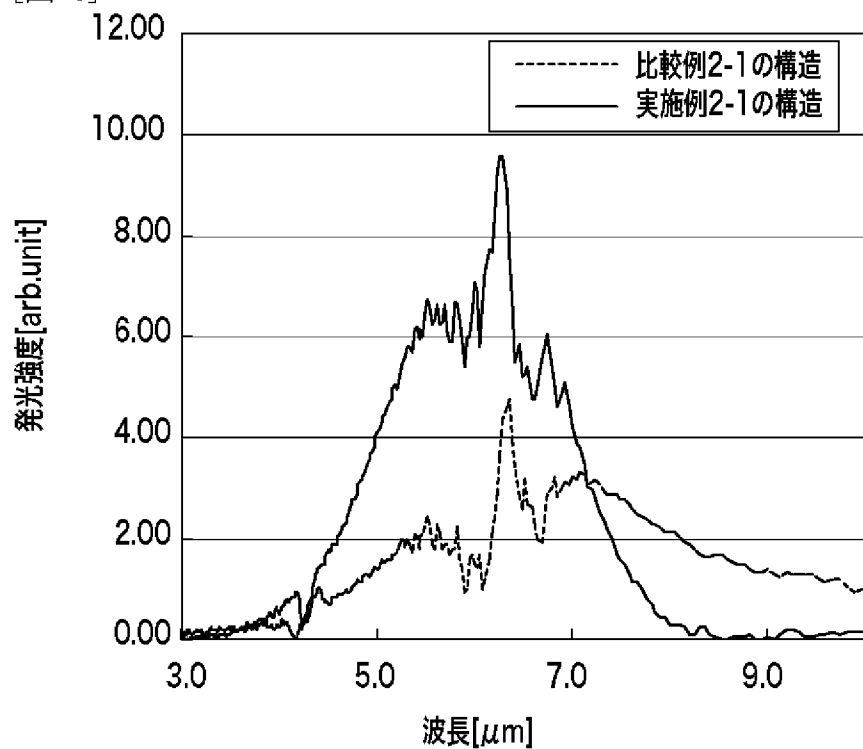
[図13C]



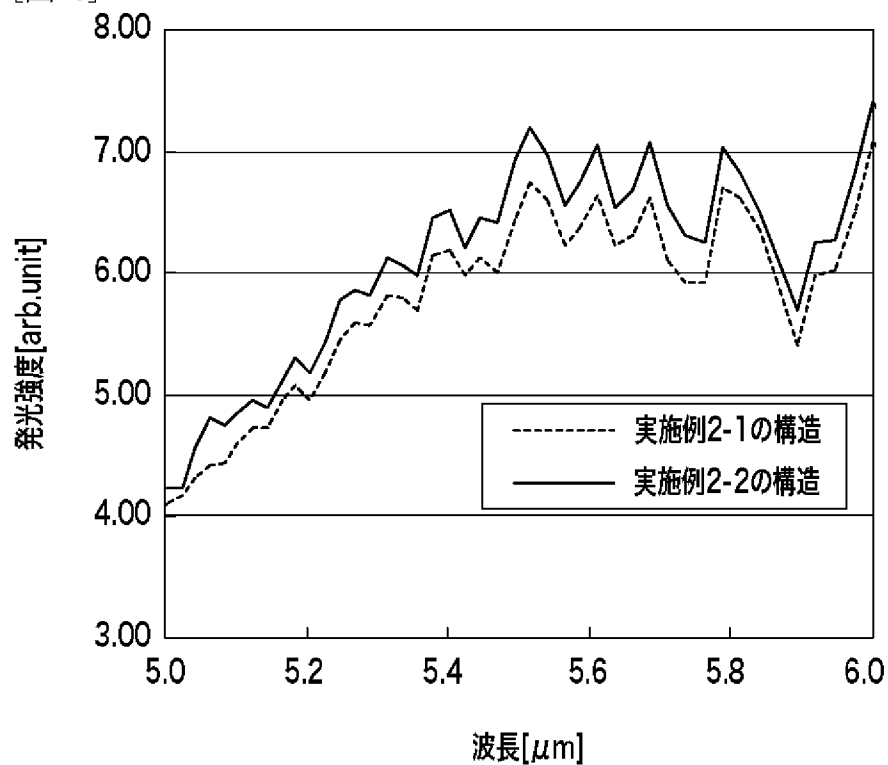
[図14]



[図15]



[図16]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/054954

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/00(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)

H01L33/00

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 62-291985 A (KDD Kabushiki Kaisha), 18 December, 1987 (18.12.87), Page 1, right column, lines 11 to 13; page 2, upper right column, line 4 to lower left column, line 16; page 3, upper left column, line 1 to upper right column, line 6; Figs. 3, 4 (Family: none)	1-17
Y	JP 01-264287 A (Fujitsu Ltd.), 20 October, 1989 (20.10.89), Page 2, lower right column, line 7 to page 3, upper left column, line 16; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-17

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
30 March, 2009 (30.03.09)Date of mailing of the international search report  
07 April, 2009 (07.04.09)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/054954

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-501238 A (Defence Evaluation & Research Agency), 02 February, 2000 (02.02.00), Page 6, the last line to page 7, line 14; Fig. 1 & US 6133590 A & US 6455879 B1 & GB 2321783 A & GB 9524414 A0 & EP 864180 A & WO 1997/020353 A1 & DE 69632961 T & AU 7636096 A & CA 2238952 A & AU 721907 B & RU 2166222 C	1-17
Y	JP 2001-284737 A (Ricoh Co., Ltd.), 12 October, 2001 (12.10.01), Par. No. [0032]; Figs. 1, 2 (Family: none)	3,4,7-17
Y	JP 64-009668 A (KDD Kabushiki Kaisha), 12 January, 1989 (12.01.89), Page 4, upper right column, line 3 to lower left column, line 14; Figs. 5(a), 5(b) & US 4918496 A & GB 2207283 A & GB 8815561 A0 & KR 10-1997-0004851 B	5-17
Y	JP 08-250810 A (Sharp Corp.), 27 September, 1996 (27.09.96), Par. Nos. [0008], [0107], [0114], [0115]; Figs. 30, 31 & JP 2004-274089 A & JP 2007-81449 A & JP 2007-324628 A & US 5747827 A & GB 2298735 A & GB 9504666 A0 & EP 731510 A2 & EP 1213771 A2 & DE 69636110 T	7-17
A	JP 06-053602 A (Hitachi, Ltd.), 25 February, 1994 (25.02.94), Par. No. [0010] & US 5331656 A	1-17
A	JP 2004-031635 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 29 January, 2004 (29.01.04), Par. Nos. [0061], [0066]; Fig. 5 (Family: none)	1-17
A	JP 10-163567 A (NEC Corp.), 19 June, 1998 (19.06.98), Par. Nos. [0003], [0004]; Figs. 7, 8 & US 6078602 A	1-17

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00(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. H01L33/00

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	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009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 請求の範囲の番号
Y	JP 62-291985 A (ケイディディ株式会社) 1987. 12. 18, 第1 ページ右欄第11-13行, 第2 頁右上欄第4行-同頁左下欄第16行, 第3 頁左上欄第1行-同頁右上欄第6行, 第3, 4 図 (ファミリーなし)	1-17
Y	JP 01-264287 A (富士通株式会社) 1989. 10. 20, 第2 ページ右下欄第7行-第3 頁左上欄第16行, 第1, 2 図 (ファミリーなし)	1-17

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、一般的な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

30. 03. 2009

国際調査報告の発送日

07. 04. 2009

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)

高 椋 健 司

2K

3715

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-501238 A (デイフエンス・イバリユエイション・アンド・ リサーチ・エージェンシー) 2000. 02. 02, 第 6 頁最終行-第 7 頁第 14 行, 第 1 図 & US 6133590 A & US 6455879 B1 & GB 2321783 A & GB 9524414 A0 & EP 864180 A & WO 1997/020353 A1 & DE 69632961 T & AU 7636096 A & CA 2238952 A & AU 721907 B & RU 2166222 C	1-17
Y	JP 2001-284737 A (株式会社リコー) 2001. 10. 12, 段落 0032, 図 1, 2 (ファミリーなし)	3, 4, 7-17
Y	JP 64-009668 A (ケイディディ株式会社) 1989. 01. 12, 第 4 頁右上欄第 3 行-同頁左下欄第 14 行, 第 5(a), 5(b) 図 & US 4918496 A & GB 2207283 A & GB 8815561 A0 & KR 10-1997-0004851 B	5-17
Y	JP 08-250810 A (シャープ株式会社) 1996. 09. 27, 段落 0008, 0107, 0114, 0115, 図 30, 31 & JP 2004-274089 A & JP 2007-81449 A & JP 2007-324628 A & US 5747827 A & GB 2298735 A & GB 9504666 A0 & EP 731510 A2 & EP 1213771 A2 & DE 69636110 T	7-17
A	JP 06-053602 A (株式会社日立製作所) 1994. 02. 25, 段落 0010 & US 5331656 A	1-17
A	JP 2004-031635 A (住友電気工業株式会社) 2004. 01. 29, 段落 0061, 0066, 図 5 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 10-163567 A (日本電気株式会社) 1998. 06. 19, 段落 0003, 0004, 図 7, 8 & US 6078602 A	1-17