

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4077137号  
(P4077137)

(45) 発行日 平成20年4月16日(2008.4.16)

(24) 登録日 平成20年2月8日(2008.2.8)

(51) Int.Cl. F I  
**HO 1 L 33/00 (2006.01)** HO 1 L 33/00 A  
 HO 1 L 33/00 C

請求項の数 1 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2000-179591 (P2000-179591)                  (22) 出願日 平成12年6月15日(2000.6.15)                  (65) 公開番号 特開2001-358364 (P2001-358364A)                  (43) 公開日 平成13年12月26日(2001.12.26)                  審査請求日 平成16年6月24日(2004.6.24)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000221339                  東芝電子エンジニアリング株式会社                  神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地</p> <p>(73) 特許権者 000003078                  株式会社東芝                  東京都港区芝浦一丁目1番1号</p> <p>(74) 代理人 100064285                  弁理士 佐藤 一雄</p> <p>(74) 代理人 100088889                  弁理士 橋谷 英俊</p> <p>(74) 代理人 100082991                  弁理士 佐藤 泰和</p> <p>(74) 代理人 100096921                  弁理士 吉元 弘</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

透明性を有する基板と、

前記基板の一方の面の上に設けられ、貫通転位を有するフォトニクス結晶と、

前記基板の他方の面の上に設けられた第1導電型の第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層の上に設けられた活性層と、

前記活性層の上に設けられた第2導電型の第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層の上に設けられた第1の電極と、

を備え、

前記活性層から発光した光が、前記基板及び前記フォトニクス結晶を通過して外部に取り出されることを特徴とする半導体発光素子。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体発光素子は、pn接合領域に注入された電子とホールとの発光再結合を利用したデバイスである。そして、発光層の半導体材料を変えることで、赤外から紫外までの発光を実現することができる。

20

## 【0003】

ところが、半導体発光素子には、半導体結晶と大気の屈折率差による臨界角や結晶成長可能な基板での光吸収が存在する。このため、外部に取り出せる光は内部で発光した光のわずか数%にしか過ぎない。

## 【0004】

従来の半導体発光素子の構成を、図16に示す。

## 【0005】

p型半導体基板1000上に、多層反射膜1001、p型コンタクト層1002、p型クラッド層1003、発光層として作用する活性層1004、n型クラッド層1005、n型コンタクト層1006を形成し、さらにコンタクト層1002上にn型電極1007、コンタクト層1006上にp型電極1008を形成している。

10

## 【0006】

活性層1004で発光した光のうち、n型クラッド層1005側に出射された光は、クラッド層1005を通して外部に取り出される。

## 【0007】

一方、p型クラッド層1003側に出射された光は、多層反射膜1001で反射されてn型クラッド層1005を通して外部に取り出される。

## 【0008】

この構造によれば、基板1000側に出射された光を反射膜1001で反射することにより、外部へ取り出すことができる。

20

## 【0009】

しかし、反射膜1001に対して垂直に入射しない光の反射率が低いこと、光取り出し面に光を遮蔽する電極1007、1008が存在すること、反射膜1001上に活性層1004を形成することにより結晶性が悪く寿命が短い等の問題があった。

## 【0010】

また、従来の他の半導体発光素子を図17に示す。n型GaP基板1101上に、n型InGaPバッファ層1102、n型InAlPクラッド層1103、発光層として作用するInGaAlP活性層1104、p型InAlPクラッド層1105、p型GaAsコンタクト層1106、さらにコンタクト層1106上にp型電極1107、基板1101上にn型電極1100を形成している。

30

## 【0011】

活性層1104で発光した光は、n電極1100及びp電極1107に反射され、p電極1107で遮蔽されていないコンタクト層1106から外部に取り出される。

## 【0012】

しかしながら、この構造では電極1107直下に集中した光を電極1107が遮っているため、外部に出すことができないという問題があった。

## 【0013】

また、図17に示された従来の素子では、活性層1104で発光した光は、結晶と空気との屈折率差が原因となって、発光した光のうち数%しか外部に取り出すことができなかった。

40

## 【0014】

ところで、半導体発光素子には、赤色から緑色を発光するために、GaAs系半導体材料を用いた化合物半導体発光素子、紫外光領域から青色、緑色領域に至る発光を行うために、 $Al_xGa_{1-x}In_yN_{1-x-y}$  ( $0 \leq x, y \leq 1, x+y \leq 1$ )を用いた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が実用化されている。

## 【0015】

ところが、このような発光素子は、一般に屈折率 ( $GaN = 2.67$ 、 $GaAs = 3.62$ ) が高いため、臨界角 ( $GaN = 21.9$ 度、 $GaAs = 16.0$ 度) が小さく、光取り出し効率が低いという問題点があった。

## 【0016】

50

また、GaAs系においては、基板における光吸収が大きく、発光した光が基板に吸収されてしまい光取り出し効率が低かった。

【0017】

従来のガリウム砒素系化合物半導体発光素子の一例を図19に示す。

【0018】

n-GaAs基板1300に、n-GaAsバッファ層1301、n-InGaAlPクラッド層1302、InGaAlP活性層1303、p-InGaAlPクラッド層1304、p-AlGaAs電流拡散層1305を順次結晶成長する。さらに、p-AlGaAs電流拡散層1305上にはp側電極パッド1307、n-GaN基板1300上にn側電極1306を形成する。

10

【0019】

このような構造では、p側電極1307から流れた電流は、p-AlGaAs電流拡散層1305で広げられ、p-InGaAlPクラッド層1304からInGaAlP活性層1303に電流が注入されて発光し、その光はp-AlGaAs電流拡散層1305を通して素子外部に取り出される。

【0020】

このような構造のGaAs系化合物半導体発光素子においては、活性層1303で発光した光のうち、基板1300側に出射した光は基板1300により吸収されてしまい、素子外部へ光を取り出すことができないという問題があった。具体的には、発光した光のうち50%は取り出すことができず、高輝度化のためには致命的であった。

20

【0021】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、従来は光取り出し効率が低いという問題があった。

【0022】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、光取り出し効率を向上させ、高輝度化を実現することが可能な半導体発光素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】

本発明の半導体発光素子は、透明性を有する基板と、前記基板の一方の面の上に設けられ、貫通転位を有するフォトニクス結晶と、前記基板の他方の面の上に設けられた第1導電型の第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられた第2導電型の第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層の上に設けられた第1の電極と、を備え、前記活性層から発光した光が、前記基板及び前記フォトニクス結晶を通過して外部に取り出されることを特徴とする。

30

【0043】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0044】

(1) 第1の実施の形態

40

図1に、本発明の第1の実施の形態による半導体発光素子の構成を示す。

【0045】

ZnSeから成る透光性を有する半導体基板100上に、 $In(x_1)Ga(y_1)Al(1-x_1-y_1)P$ からなるバッファ層101、 $In(x_2)Ga(y_2)Al(1-x_2-y_2)P$ からなるn型コンタクト層102、 $In(x_3)Ga(y_3)Al(1-x_3-y_3)P$ からなるn型クラッド層103、 $In(x_4)Ga(y_4)Al(1-x_4-y_4)P$ からなる活性層104、 $In(x_5)Ga(y_5)Al(1-x_5-y_5)P$ からなるp型クラッド層105、 $In(x_6)Ga(y_6)Al(1-x_6-y_6)P$ からなるp型コンタクト層106を順次形成していく。

【0046】

50

また、一部エッチング除去したn型コンタクト層102上に、AuGeからなるn型電極107、P型コンタクト層106上にAuZnから成るp型電極108を形成する。ここで  $0 < x_1, \dots, x_6, y_1, \dots, y_6, x_1 + y_1, \dots, x_6 + y_6 <= 1$  とする。

【0047】

ここで、電極材には、コンタクト層とオーミックコンタクトをとることが可能なものであること、また光反射率が高いことが望ましい。

【0048】

活性層104で発光した光は、半導体基板100を通過して外部に取出され、さらにp型電極108側に出射した光は電極108で反射され、同じく基板100を透過して外部に取出される。光取り出し面に傷害物がないため、有効に素子内部の光を取り出すことができるので、光取り出し効率が向上する。

10

【0049】

また、基板100に用いたZnSeは、格子定数が5.667オングストロームである。しかし、基板100上に形成した  $\text{In}(x)\text{Ga}(y)\text{Al}(1-x-y)\text{P}$  層の組成  $x, y$  を変えることで、5.451オングストロームから5.868オングストロームまで格子定数を制御することができる。このため、ZnSe基板100に格子整合した発光層104、あるいは格子整合はしないが臨界膜厚以内となる発光層104を結晶性良く形成することができる。

【0050】

クラッド層103とコンタクト層106の組成は、活性層104のバンドギャップより大きくなるように調整することで、内部吸収がない構造も実現することができる。

20

【0051】

また、活性層104の組成を変えることで、赤色から緑色まで実現可能である。さらに、厚さ数10オングストロームからなる量子井戸層を用いた単一量子井戸構造や多重量子井戸構造とすることで、発光効率の向上と長寿命を実現することができる。

【0052】

n型電極107は、p型コンタクト層106にn型不純物をイオン注入し、あるいは拡散することによって形成する。これにより、p型電極108とn型電極107とが同一面上に形成される。これにより、p型電極108を放熱板に直接接着することが可能である。従って、放熱性が向上するので、数Aの高電流まで、光出力が飽和することなく動作することが可能である。

30

【0053】

(2) 第2の実施の形態

図2に、本発明の第2の実施の形態による半導体発光素子の構成を示す。

【0054】

GaAsからなる半導体基板200上に、  $\text{In}(x_1)\text{Ga}(y_1)\text{Al}(1-x_1-y_1)\text{P}$  からなるバッファ層201、  $\text{In}(x_2)\text{Ga}(y_2)\text{Al}(1-x_2-y_2)\text{P}$  からなるn型コンタクト層202、  $\text{In}(x_3)\text{Ga}(y_3)\text{Al}(1-x_3-y_3)\text{P}$  からなるn型クラッド層203、  $\text{In}(x_4)\text{Ga}(y_4)\text{Al}(1-x_4-y_4)\text{P}$  からなる活性層204、  $\text{In}(x_5)\text{Ga}(y_5)\text{Al}(1-x_5-y_5)\text{P}$  からなるp型クラッド層205、  $\text{In}(x_6)\text{Ga}(y_6)\text{Al}(1-x_6-y_6)\text{P}$  からなるp型コンタクト層206を順次形成する。

40

【0055】

さらに、一部エッチング除去したn型コンタクト層202上にAuGeからなるn型電極207、P型コンタクト層206上にAuZnからなるp型電極208を形成する。

【0056】

そして、活性層204を挟んでp型電極208と対向した位置に光を取り出すことができるように、基板200に対して光取り出し窓209を形成している。ここで、  $0 < x_1, \dots, x_6, y_1, \dots, y_6, x_1 + y_1, \dots, x_6 + y_6 <= 1$  とする。

【0057】

50

活性層 204 で発光した光は、光取り出し窓 209 を通して外部に取り出される。さらに、p 型電極 208 側に出射した光は、電極 208 で反射されて同じく窓 209 を透過して外部に取り出される。

【0058】

また、電極 208 の大きさであるが、電極 208 が光取り出し窓 209 より大きいと、光の一部が基板 200 に吸収されて十分に取り出すことができなくなる。そこで、電極 208 は光取り出し窓 209 より小さいことが望ましい。このようにすることで、活性層 204 から発光した光を有効に取り出すことができるので、素子の光出力が増加する。

【0059】

本実施の形態によれば、光取り出し面に障害物が存在しないので、有効に内部の光を取り出すことができる。また、クラッド層 203、205 とコンタクト層 202、206 の組成は、活性層 204 のバンドギャップより大きくなるように調整することで、内部吸収がない構造を実現することができる。

10

【0060】

また、活性層 204 の組成を変えることで、赤色から緑色までの発光が実現可能となる。

【0061】

さらに、活性層 204 の構造を、厚さ数 10 オングストロームからなる量子井戸層を用いた単一量子井戸構造や多重量子井戸構造とすることで、発光効率の向上と長寿命とが実現される。

【0062】

20

n 型電極 207 は、p 型コンタクト層 206 から n 型不純物をイオン注入し拡散した領域を形成することで、p 型電極 208 と n 型電極 207 とが同一面上に形成される。これにより、p 型電極 208 を放熱板に直接接着することができるため、数オングストロームの高電流まで、光出力が飽和することなく動作が可能である。

【0063】

(3) 第3の実施の形態

本発明の第3の実施の形態による素子の構成を図3に示す。

【0064】

n 型 GaP からなる基板 300 上に、 $In(x_1)Ga(y_1)Al(1-x_1-y_1)P$  からなる n 型バッファ層 301、 $In(x_2)Ga(y_2)Al(1-x_2-y_2)P$  からなる n 型クラッド層 302、 $In(x_3)Ga(y_3)Al(1-x_3-y_3)P$  からなる活性層 303、 $In(x_4)Ga(y_4)Al(1-x_4-y_4)P$  からなる p 型クラッド層 304、 $In(x_5)Ga(y_5)Al(1-x_5-y_5)P$  からなる p 型コンタクト層 305 を順次形成する。n 型 GaP 基板 300 上に、AuGeNi からなる n 型電極 306 を形成する。n 型電極 306 には、光取り出し窓 308 が形成されている。さらに、表面を凹状にエッチング除去した p 型コンタクト層 305 上に、AuZn からなる p 型電極 307 を形成する。

30

【0065】

ここで、 $x_a + y_a \leq 1$  で、 $0 \leq x_a$ 、 $y_a \leq 1$ 、 $a$  は 1 ~ 5 である。

【0066】

40

活性層 303 で発光した光は、矢印 A のように直進して p 型電極 306 側の光取り出し窓 308 から素子の外部へ取り出される。また、矢印 B で示された光は、コンタクト層 305 の凹面上に形成された p 型電極 307 下で反射され、側面から外部に取り出される。

【0067】

図 17 に示された従来の素子では、p 型電極 1107 で反射された光は、n 型電極 1100 でさらに反射され、結晶内部の不純物等に吸収されて熱に変換され、外部に取り出すことができなかった。このような光を、本実施の形態によれば有効に外部に取り出すことができるので、光取り出し効率が向上する。

【0068】

ここで、クラッド層 302 及び 304 と、コンタクト層 305 の組成は、活性層 303 の

50

バンドギャップより大きくなるように調整することで、内部吸収がない構造を実現することができる。

【0069】

また、活性層303の組成を変えることで、赤色から緑色まで発光が可能となる。

【0070】

さらに、活性層303の構造を、厚さ数10オングストロームからなる量子井戸層を用いた単一量子井戸構造や、多重量子井戸構造とすることで、発光効率の向上と長寿命とを実現することができる。

【0071】

(4) 第4の実施の形態

次に、本発明の第4の実施の形態について、図4を用いて説明する。本実施の形態は、半導体基板としてZnSeを用いた場合に相当する。

【0072】

n型ZnSeから成る基板400上に、基板400に格子整合したIn(x1)Ga(y1)Al(1-x1-y1)Pから成るn型バッファ層401、In(x2)Ga(y2)Al(1-x2-y2)Pから成るn型クラッド層402、In(x3)Ga(y3)Al(1-x3-y3)Pから成る活性層403、In(x4)Ga(y4)Al(1-x4-y4)Pから成るp型クラッド層404、In(x5)Ga(y5)Al(1-x5-y5)Pから成るp型コンタクト層405を順次形成する。

【0073】

さらに、n型ZnSe基板400上に、AuGeNiから成るn電極406を形成し、一部エッチング除去したp型コンタクト層405上にAuZnから成るp型電極407を形成する。

【0074】

ここで、各層401~405における組成比x1~x5、y1~y5は、n型ZnSe基板400に対して格子整合が可能な範囲で調整する必要がある。また、p型クラッド層404及びn型クラッド層402のバンドギャップは、活性層403のバンドギャップよりも大きく設定することで、ダブルヘテロ効果をより有効に得ることができる。

【0075】

上記構成によれば、上記第3の実施の形態と同様に、p型コンタクト層405の表面を凹状にエッチング除去している。このため、活性層403で発光した光が、p型電極407下で反射されて端面から取り出すことができるので、取り出し効率が向上する。

【0076】

また、素子の寸法に関し、従来の素子では一般に縦300 $\mu$ m $\times$ 横300 $\mu$ mであった。本実施の形態では、縦100 $\mu$ m $\times$ 横100 $\mu$ mとすることで、素子内部における光の吸収を減少させて、光取り出し効率を向上させることができる。具体的には、素子全体として光出力が約2倍に向上する。

【0077】

活性層403の組成比x3、y3を変えることにより、赤色から緑色までの発光を実現することができる。また、素子の厚さが約数10オングストロームの量子井戸構造とすることで、ZnSe基板による応力の影響を少なくして長寿命化を達成することができる。

【0078】

(5) 第5の実施の形態

図5に、本発明の第5の実施の形態の構成を示す。

【0079】

n型GaPからなる半導体基板500上に、In(x1)Ga(y1)Al(1-x1-y1)Pからなるn型バッファ層501、In(x2)Ga(y2)Al(1-x2-y2)Pからなるn型クラッド層502、In(x3)Ga(y3)Al(1-x3-y3)Pからなる活性層503、In(x4)Ga(y4)Al(1-x4-y4)PからなるP型クラッド層504、In(x5)Ga(y5)Al(1-x5-y5)Pからなる

10

20

30

40

50

P型コンタクト層505を順次形成する。

【0080】

n型GaP基板500上に、AuGeNiからなるn型電極506、P型コンタクト層505上にAuZnからなるP型電極507を形成する。

【0081】

ここで、 $x a + y a < 1$ で、 $0 < = x a$ 、 $y a < = 1$ 、 $a$ は1～5である。

【0082】

そして、素子形状として、図5に示されたように表面が八角形である八角柱に加工されている。これにより、従来の素子のような表面が四角である四角柱の場合において四隅に放射された光も、この四隅の部分が切断された形状となっていることから、全反射されることなく外部へ取り出すことができる。

10

【0083】

ここで、素子形状は八角形に限らず、五角形以上であればよい。角数が多いほど光の取り出し効率は向上する。さらに、素子形状が、表面が円形である円柱になると、さらに光の取り出し効率が向上する。

【0084】

クラッド層502及び504と、コンタクト層505の組成は、活性層503のバンドギャップより大きくなるように調整することで、内部吸収がない構造が実現される。また、活性層503の組成を変えることで赤色から緑色まで発光が実現可能である。

【0085】

さらに、厚さ数10オングストロームからなる量子井戸層を用いた単一量子井戸構造、多重量子井戸構造とすることで、発光効率の向上と長寿命とを実現することができる。

20

【0086】

(6) 第6の実施の形態

図6に、本発明の第6の実施の形態を示す。

【0087】

n型GaNからなる基板600上に、 $In(x1)Ga(y1)Al(1-x1-y1)N$ からなるn型バッファ層601、 $In(x2)Ga(y2)Al(1-x2-y2)N$ からなるn型クラッド層602、 $In(x3)Ga(y3)Al(1-x3-y3)N$ からなる活性層603、 $In(x4)Ga(y4)Al(1-x4-y4)N$ からなるP型クラッド層604、 $In(x5)Ga(y5)Al(1-x5-y5)N$ からなるP型コンタクト層605を順次形成する。

30

【0088】

n型GaN基板600上に、TiAuからなるn型電極606、P型コンタクト層605上にNiAuからなるP型電極607を形成する。

【0089】

ここで、 $x a + y a < = 1$ で、 $0 < = x a$ 、 $y a < = 1$ 、 $a$ は1～5である。

【0090】

そして、図6に示されたように、素子形状を、表面が八角形である八角柱に加工したことにより、光取り出し効率が向上する。素子形状は八角形に限らず、五角形以上の多角形であればよく、さらに円柱にすることで光取り出し効率が向上する。

40

【0091】

クラッド層602及び604とコンタクト層605の組成は、活性層603のバンドギャップより大きくなるように調整することで、内部吸収がない構造が実現できる。

【0092】

また、活性層603の組成を変えることで紫外から赤色まで発光が実現可能となる。

【0093】

さらに、厚さ数10Åからなる量子井戸層を用いた単一量子井戸構造や多重量子井戸構造とすることで、発光効率の向上と長寿命が実現できる。

【0094】

50

## (7) 第7の実施の形態

ところで、近年いわゆるフォトニクス結晶が実用化されつつある。フォトニクス結晶とは、媒質に周期的な屈折率分布を設けたものであって、2次元・3次元となるにつれてその効果が増大し、特徴的な光学特性を示す。

## 【0095】

フォトニクス結晶の特徴は、バンドギャップの存在に起因する。バンドギャップ中では光の状態が存在しないため、バンドギャップに相当する光子エネルギーを持つ光は、この結晶中に存在することができない。そこで、外から結晶に入射した光は反射されることになる。また、結晶中に欠陥を線状に導入すると、そこには光子の存在が許される。このため、光閉じ込め効果や導波路が実現される。

10

## 【0096】

フォトニクス結晶の一例としては、ウェーハ接着技術を用いたものとして野田等の以下の文献に開示されている。

## 【0097】

電子情報通信学会誌、1999年3月、第232～241頁

図18に、その製造方法を工程別に示す。図18(a)に示されたように、GaAs基板1200上に、AlGaAs層1201、GaAs層1202を形成する。

## 【0098】

図18(b)に示されたように、GaAs層1202をパターンニングし、格子状に加工する。

20

## 【0099】

このような加工を施した基板と、同じ構成を有するGaAs基板1210、AlGaAs層1211、GaAs層1212から成る基板とを用意し、図18(c)に示されたように格子状のGaAs層1202とGaAs層1212とが直交するように位置あわせしながら融着する。

## 【0100】

そして、図18(d)に示されたように、一方の基板1210及びAlGaAs層1211を選択エッチャントで除去する。

## 【0101】

以上の図18(a)～図18(d)の工程をさらに繰り返すことで、図18(e)に示されたように、GaAs系半導体材料と空気とから成る回折格子を有するフォトニクス結晶を作製する。ここで、互いに平行する一つおきの回折格子は、発光する光の半周期分位相がずれている必要がある。

30

## 【0102】

このようなフォトニクス結晶を用いた本発明の第7の実施の形態を、図7を用いて説明する。

## 【0103】

図7(a)に示されたように、p-GaAs基板700上に、MOCVD法によりn-GaAsバッファ層701、p-GaNコンタクト層712、p-InGaAlPクラッド層702、InGaAlP活性層703、n-InGaAlPクラッド層704を順次結晶成長させる。

40

## 【0104】

これとは別に、上述した工程を経てフォトニクス結晶705を作製し、n-InGaAlPクラッド層704上に融着させる。フォトニクス結晶705上に、n-GaAs層706を形成する。

## 【0105】

p-GaAs基板700及びn-GaAsバッファ層701を除去する。さらに、図7(b)のように、n-GaAs層706上にn電極708を形成し、p-InGaAlP層703上にp型透明電極709を形成する。さらに、p型透明電極709の一部を除去して、ブロック層711を形成し、p型透明電極709からブロック層711にかけてp-

50



電極パッド710を形成する。

【0106】

この構成により、p-電極パッド710から注入された電流がp型透明電極709で拡げられ、活性層703に注入されて発光した光がフォトニクス結晶705で反射され、p型透明電極709を通して光が取り出される。

【0107】

フォトニクス結晶709では90%以上の光が反射される。これにより、電流値が20mAのときに光出力として8mW、発光波長として630nmが得られる。この値は、図17に示された従来の素子の約2倍の値であり、光取り出し効率が大幅に向上している。

【0108】

(8) 第8の実施の形態

本発明の第8の実施の形態による素子の構成を、図8を用いて説明する。

【0109】

本実施の形態は、貫通転位を有するフォトニクス結晶を、光取り出し面に形成したGaN系化合物半導体発光素子に相当する。

【0110】

サファイア基板801上に、GaNバッファ層(図示せず)、n型GaN層802、n型AlGaNクラッド層803、InGaN活性層804、p-AlGaNクラッド層805、p-GaNコンタクト層809を順次結晶成長させている。

【0111】

さらに、p-AlGaNクラッド層805、InGaN活性層804及びn型AlGaN層803の一部をエッチングにより除去し、n型GaN層802の表面を露出させる。p-GaNコンタクト層809上にはp側電極及びボンディング電極(透明である必要はない)806を形成し、さらにn型GaN層802上にn側電極807を形成する。

【0112】

これとは別に、サファイア基板上に、例えばGaN等からなるフォトニクス結晶を作製しておく。ここで、サファイア基板上のGaNには、多くの貫通転位が存在する。このようなフォトニクス結晶808とサファイア基板801とを融着させる。この場合、サファイア基板801が透明であるので発光した光は基板801に吸収されない。

【0113】

このような構造によれば、p側電極806から流された電流は、p型GaNコンタクト層809からInGaN発光層804に電流が注入されて発光し、その光はフォトニクス結晶808を通して素子の外部に取り出される。

【0114】

フォトニクス結晶808は、上述したように多くの貫通転位を有する。このため、上記第7の実施の形態におけるフォトニクス結晶706のように光を反射するのではなく、貫通転位に沿って光が進み、チップ外に光が効率良く取り出される。このフォトニクス結晶808はフィルタとしても機能し、より波長半値幅の狭い単色性の高い発光が得られる。

【0115】

(9) 第9の実施の形態

第9の実施の形態について、図9を用いて説明する。これはフォトニクス結晶を導入しない場合の一例に相当する。

【0116】

本実施の形態は、GaN系化合物半導体発光素子であって、n-GaN基板901上にGaNバッファ層(図示せず)、n型GaNコンタクト層902、n型AlGaNクラッド層903、InGaN活性層904、p-AlGaNクラッド層905、p-GaNコンタクト層911を順次結晶成長し、p-GaNコンタクト層911、p-AlGaNクラッド層905、InGaN活性層904及びn型AlGaNクラッド層903、n型GaNコンタクト層902の一部をエッチング除去してn型GaN層902の表面を露出している。

10

20

30

40

50

## 【0117】

p型AlGaIn層905上に、p側透明電極906を形成し、このp側透明電極906に隣接して電流阻止用の絶縁膜から成る電流ブロック層907を形成し、電流ブロック層907上に、p側透明電極906と接続されたp側ボンディング電極908を形成する。さらに、n型GaInコンタクト層902上にN側電極910を形成する。

## 【0118】

ここで、n-GaIn層902の界面に凹凸を形成した後、n-AlGaInクラッド層903を成長させて、屈折率に分布を持たせている。n-GaIn層14の界面に凹凸を形成する方法として、例えば図10(a)~図10(d)、あるいは図11(a)~図11(c)に示された方法等を用いてもよい。

10

## 【0119】

図10に示された方法は、先ず図10(a)に示されたように、サファイア基板2000上に、GaInバッファ層2001、n型GaInコンタクト層2002を順次形成する。

## 【0120】

図10(b)のように、レジストを塗布して写真蝕刻法を用いてパターニングを行い、レジスト膜2003を形成する。

## 【0121】

図10(c)のように、レジスト膜2003をマスクとしてn型GaInコンタクト層2002の表面に凹凸を形成する。

## 【0122】

この後、図10(d)のように、p-AlGaInクラッド層2003を形成して表面を平坦化する。

20

## 【0123】

あるいは、図11に示された方法は、先ず図11(a)に示されたように、サファイア基板2100上に、GaInバッファ層2101、n型GaInコンタクト層2102を順次形成する。

## 【0124】

図11(b)のように、例えば反応性イオンエッチングの際のエッチングガスの流量比をBC13:C12=1:1にすることにより、C12ガスの比を高くすると、n型GaInコンタクト層2102の表面に荒れが発生する。

30

## 【0125】

この後、図11(c)のように、p-AlGaInクラッド層2103を形成して表面を平坦化する。

## 【0126】

本実施の形態によれば、n-GaIn層902の界面の凹凸が形成され、n-AlGaInクラッド層903との屈折率に分布が存在することにより、その界面において光が反射、散乱されるので、素子外部へ取り出される光が増加する。

## 【0127】

(10) 第10の実施の形態

第10の実施の形態に係わる素子を、図12を用いて説明する。図12(a)に示されるように、基板2200上に図示されていないバッファ層、クラッド層2201、活性層2202、クラッド層2203を順次形成し、基板2200の素子形成面と反対側の面上にレジスト膜2204を形成する。

40

## 【0128】

図12(b)に示されるように、レジスト膜2204を加熱すると、エッジ部分にだれが生じる。

## 【0129】

図12(c)に示されるように、レジスト膜2204をマスクとしてイオンミリング法によりエッチングすると、レジスト膜2204のだれに応じた形状に半導体基板2200のエッジ部分が加工される。

50

## 【 0 1 3 0 】

図 1 2 ( d ) のように、基板 2 2 0 0 に反射率の高いフォトニクス結晶層 2 2 0 4 を溶着する。

## 【 0 1 3 1 】

本実施の形態によれば、図 1 2 ( d ) において矢印により図示されたように、活性層 2 2 0 2 から発光した光が、基板 2 2 0 0 のエッチングされた部分において様々な角度に反射されるので、光の取り出し効率が向上し、発光強度が高くなる。

## 【 0 1 3 2 】

## ( 1 1 ) 第 1 1 の実施の形態

フォトニクス結晶上に、サファイア基板上に形成した発光素子と同様であって発光波長の異なる発光素子を 3 つ形成することで、3 波長で発光する発光素子の実現される。

10

## 【 0 1 3 3 】

図 1 3 に示されたように、フォトニクス結晶層 2 3 0 0 の一方の面上に青色発光素子 2 3 0 2、緑色発光素子 2 3 0 3 を形成し、他方の面上に赤色発光素子 2 3 0 1 を形成する。

## 【 0 1 3 4 】

青色発光素子 2 3 0 2 及び緑色発光素子 2 3 0 3 からの短波長の光が、フォトニクス結晶層 2 3 0 0 を通過して赤色発光素子 2 3 0 1 の活性層を光励起して発光させてしまわないように、短波長領域の光に対して反射率の高いフォトニクス結晶層 2 3 0 0 を設け、その裏面側に長波長の光を発光する赤色発光素子 2 3 0 1 を融着させている。これにより、青色、緑色及び赤色の光が混色し、白色が得られる。

20

## 【 0 1 3 5 】

ここで、複数の発光素子の色の組合せは必要に応じて様々に変えることが可能であり、これに応じて混色された色も変化する。

## 【 0 1 3 6 】

## ( 1 2 ) 第 1 2 の実施の形態

本発明の第 1 2 の実施の形態について、図 1 4 を用いて説明する。本実施の形態は、GaN系のRC-LED (Resonance Cavity LED) である。GaN系の透明な半導体基板 2 4 0 0 上に、n-GaNパツファ層 2 4 0 1、AlGaIn/GaNから成る中程度の反射率を有するDBR (Distributed Bragg Reflector) 層 2 4 0 2 を形成し、さらにInGaN-多重量子井戸構造 (MQW) 活性層 2 4 0 3、p-AlGaInクラッド層 2 4 0 4、p-InGaN接着層 2 4 0 5 を形成する。

30

## 【 0 1 3 7 】

さらに、別途準備した、高い反射率を有するフォトニクス結晶層 2 4 0 6 を接着層 2 4 0 5 を介してクラッド層 2 4 0 4 に接着する。そして、フォトニクス結晶層 2 4 0 6 の上面にp電極 2 4 0 7、半導体基板 2 4 0 0 の上面にn電極 2 4 0 8 を形成する。

## 【 0 1 3 8 】

GaN系半導体材料を用いたのでは、高反射率を有するDBR層を得ることが困難である。そこで、フォトニクス結晶層 2 4 0 6 を導入することで、高い光取り出し効率を実現することができる。

## 【 0 1 3 9 】

ここで、各層の材料は上記材料に限定されず、GaN系の他の半導体材料であってもよく、あるいはGaAs系の半導体材料等を用いてもよい。但し、GaAs系材料を用いた場合は、GaAsが発光した光を吸収してしまうため、基板を除去して発光層をGaP基板等に融着させる必要がある。

40

## 【 0 1 4 0 】

本実施の形態による素子は、VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) に適用することもできる。

## 【 0 1 4 1 】

次に、GaN系フォトニクス結晶の形成方法を図 1 5 を用いて説明する。

## 【 0 1 4 2 】

50

図15(a)に示されたように、GaN基板2500上に、バッファ層2501、InxAllyGa(1-x-y)N(0<x、y<1)層2502を形成する。

【0143】

図15(b)に示されたように、InxAllyGa(1-x-y)N層2502をパターンニングし、格子状に加工する。

【0144】

このような加工を施した基板と、同じ構成を有するGaN基板2600、バッファ層2601、InxAllyGa(1-x-y)N層2602から成る基板とを用意し、図15(c)に示されたように格子状の層2502と層2602とが直交するように位置あわせしながら融着する。

10

【0145】

そして、図15(d)に示されたように、一方の基板2600をレーザ光照射によって剥離する。

【0146】

さらに、図15(e)のように、反応性イオンエッチングによりバッファ層2601を除去する。

【0147】

以上の図15(a)～図15(e)の工程をさらに繰り返すことで、回折格子を有するフォトニクス結晶を作製する。ここで、互いに平行する一つおきの回折格子は、発光する光の半周期分位相がずれている必要がある。

20

【0148】

上述した第7～第12の実施の形態によれば、化合物半導体発光素子の発光層の少なくとも一方の面に、フォトニクス結晶領域、あるいは所定の屈折率分布を有する領域を備えている。

【0149】

特に、フォトニクス結晶は、バンドギャップに対応した光が存在できないため、高反射膜として作用する。また垂直入射以外の成分に対しても、大きい反射率を有するため、反射層として導入することで光取り出し効率を向上させることができる。

【0150】

あるいは、GaN系化合物半導体発光素子では、GaN層に多くの貫通転位が存在する。このような結晶を用いてフォトニクス結晶を作製すると、基板に融着したフォトニクス結晶には多くの貫通転位が存在する。このため、この転位に沿って光が進み、素子外部に光が効率良く取り出される。この場合のフォトニクス結晶は、フィルタとしても作用するので、波長半値幅の狭い単色性の高い発光が得られる。

30

【0151】

また、フォトニクス結晶上にサファイア基板上に形成した発光素子と発光波長の異なる発光素子を形成しておくことにより、2波長で発光する発光素子を得ることができる。

【0152】

あるいは、半導体層の界面に凹凸を形成しておくことで、半導体層内部に屈折率分布が存在し、この界面において光が反射し散乱することにより、より効果的に素子外部に光を取り出すことができる。

40

【0153】

このような半導体層内部において屈折率に分布を持たせるには、屈折率の異なる半導体層を組み合わせることで実現してもよい。

【0154】

このように、屈折率分布を持たせた領域において、活性層から発光した光をチップ内でより多く反射させて光取り出し面側で光を取り出すことにより、光取り出し効率を大幅に向上させることが可能となり、高輝度化が実現される。

【0155】

また、高輝度化により、注入電流をより小さくすることができるため、素子の信頼性の向

50

上にも寄与する。

【0156】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、透光性を有する基板から光を取り出すことにより、光取り出し効率の向上及び高輝度化が実現され、また基板に格子整合したバッファ層を有するため、結晶性が良く長寿命を達成することができる。

【0157】

さらに、第1、第2電極が同一面側に形成されることから、このうちの一つの電極を放熱板上に直接形成することで、大電流まで光出力が飽和することなく高輝度化が実現される。

10

【0158】

透光性を有する基板上に形成されたコンタクト層に凹状の領域を設けることで、発光層からの光を側面等に反射して素子外部へ有効に取り出せることができるので、光取り出し効率が向上する。

【0159】

素子形状が多角柱、あるいは円柱であることから、四角柱である場合と比較して端面での全反射が減少し、素子内部の光を端面から外部へ有効に取り出すことが可能であり、光取り出し効率が向上する。

【0160】

あるいはまた、発光層の一方の面にフォトンクス結晶層、あるいは半導体層内部において屈折率分布を有する領域が設けられていることにより、発光層において発光した光が効率よく素子の外部へ取り出されるので、取り出し効率が向上し高輝度化が実現される。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図2】本発明の第2の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図3】本発明の第3の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図4】本発明の第4の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図5】本発明の第5の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図6】本発明の第6の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図7】本発明の第7の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

30

【図8】本発明の第8の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図9】本発明の第9の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図10】同第9の実施の形態による半導体発光素子におけるGaN層の表面に凹凸を形成する方法を示した縦断面図。

【図11】同第9の実施の形態による半導体発光素子におけるGaN層の表面に凹凸を形成する他の方法を示した縦断面図。

【図12】本発明の第10の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図13】本発明の第11の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

40

【図14】本発明の第12の実施の形態による半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図15】GaNを用いたフォトンクス結晶の作製方法の手順を示す縦断面図。

【図16】従来の半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図17】従来の他の半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【図18】GaNを用いたフォトンクス結晶の作製方法の手順を示す縦断面図。

【図19】従来のさらに他の半導体発光素子の断面構造を示した縦断面図。

【符号の説明】

100 ZnSe基板

101  $In(x_1)Ga(y_1)Al(1-x_1-y_1)P$ からなるバッファ層

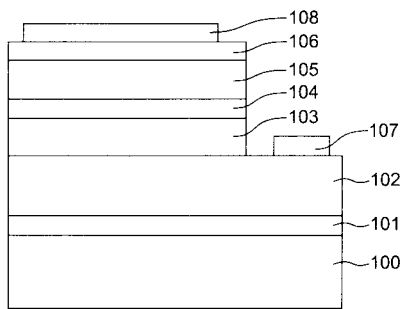
50

1 0 2	In ( x 2 ) Ga ( y 2 ) Al ( 1 - x 2 - y 2 ) P からなる n 型コンタクト層	
1 0 3	In ( x 3 ) Ga ( y 3 ) Al ( 1 - x 3 - y 3 ) P からなる n 型クラッド層	
1 0 4	In ( x 4 ) Ga ( y 4 ) Al ( 1 - x 4 - y 4 ) P からなる活性層	
1 0 5	In ( x 5 ) Ga ( y 5 ) Al ( 1 - x 5 - y 5 ) P からなる P 型クラッド層	
1 0 6	In ( x 6 ) Ga ( y 6 ) Al ( 1 - x 6 - y 6 ) P からなる P 型コンタクト層	
1 0 7	n 型電極	
1 0 8	p 型電極	
2 0 0	GaAs 半導体基板	
2 0 1	In ( x 1 ) Ga ( y 1 ) Al ( 1 - x 1 - y 1 ) P からなるバッファ層	
2 0 2	In ( x 2 ) Ga ( y 2 ) Al ( 1 - x 2 - y 2 ) P からなる n 型コンタクト層	10
2 0 3	In ( x 3 ) Ga ( y 3 ) Al ( 1 - x 3 - y 3 ) P からなる n 型クラッド層	
2 0 4	In ( x 4 ) Ga ( y 4 ) Al ( 1 - x 4 - y 4 ) P からなる活性層	
2 0 5	In ( x 5 ) Ga ( y 5 ) Al ( 1 - x 5 - y 5 ) P からなる p 型クラッド層	
2 0 6	In ( x 6 ) Ga ( y 6 ) Al ( 1 - x 6 - y 6 ) P からなる p 型コンタクト層	
2 0 7	n 型電極	
2 0 8	p 型電極	
3 0 0	n 型 GaP 基板	
3 0 1	In ( x 1 ) Ga ( y 1 ) Al ( 1 - x 1 - y 1 ) P からなるバッファ層	
3 0 2	In ( x 3 ) Ga ( y 3 ) Al ( 1 - x 2 - y 2 ) P からなる n 型クラッド層	
3 0 3	In ( x 4 ) Ga ( y 4 ) Al ( 1 - x 3 - y 3 ) P からなる活性層	20
3 0 4	In ( x 5 ) Ga ( y 5 ) Al ( 1 - x 5 - y 5 ) P からなる p 型クラッド層	
3 0 5	In ( x 6 ) Ga ( y 6 ) Al ( 1 - x 6 - y 6 ) P からなる p 型コンタクト層	
3 0 6	n 型電極	
3 0 7	p 型電極	
3 0 8	光取り出し窓	
4 0 0	ZnSe 基板	
4 0 1	n - InGaAlP バッファ層	
4 0 2	n - InGaAlP クラッド層	
4 0 3	InGaAlP 活性層	
4 0 4	p - InGaAlP クラッド層	30
4 0 5	P - InGaAlP コンタクト層	
4 0 6	n 型電極	
4 0 7	p 型電極	
5 0 0	n 型 GaP からなる基板	
5 0 1	In ( x 1 ) Ga ( y 1 ) Al ( 1 - x 1 - y 1 ) P からなる n 型バッファ層	
5 0 2	In ( x 2 ) Ga ( y 2 ) Al ( 1 - x 2 - y 2 ) P からなる n 型クラッド層	
5 0 3	In ( x 3 ) Ga ( y 3 ) Al ( 1 - x 3 - y 3 ) P からなる活性層	
5 0 4	In ( x 4 ) Ga ( y 4 ) Al ( 1 - x 4 - y 4 ) P からなる p 型クラッド層	
5 0 5	In ( x 5 ) Ga ( y 5 ) Al ( 1 - x 5 - y 5 ) P からなる p 型コンタクト層	
5 0 6	AuGeNi からなる n 型電極	40
5 0 7	AuZn からなる p 型電極	
6 0 0	n 型 GaN からなる基板	
6 0 1	In ( x 1 ) Ga ( y 1 ) Al ( 1 - x 1 - y 1 ) N からなる n 型バッファ層	
6 0 2	In ( x 2 ) Ga ( y 2 ) Al ( 1 - x 2 - y 2 ) N からなる n 型クラッド層	
6 0 3	In ( x 3 ) Ga ( y 3 ) Al ( 1 - x 3 - y 3 ) N からなる活性層	
6 0 4	In ( x 4 ) Ga ( y 4 ) Al ( 1 - x 4 - y 4 ) N からなる p 型クラッド層	
6 0 5	In ( x 5 ) Ga ( y 5 ) Al ( 1 - x 5 - y 5 ) N からなる p 型コンタクト層	
6 0 6	TiAu からなる n 型電極	
6 0 7	NiAu からなる p 型電極	
7 0 0	p - GaAs 基板	50

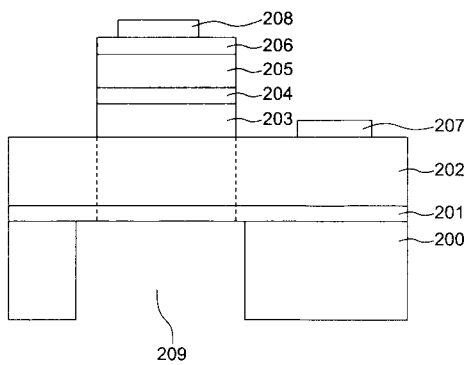
7 0 1	p - G a Nバッファ層	
7 0 2	p - I n G a A l Pクラッド層	
7 0 3	I n A l G a P活性層	
7 0 4	n - I n G a A l Pクラッド層	
7 0 5	フォトニクス結晶層	
7 0 6	n - G a A s層	
7 0 8	N電極	
7 0 9	p透明電極	
7 1 0	p電極パッド	
7 1 1	ブロック層	10
7 1 2	p - G a Nコンタクト層	
8 0 1	サファイア基板	
8 0 2	n - G a Nコンタクト層	
8 0 3	n - A l G a N層	
8 0 4	I n G a N活性層	
8 0 5	p - A l G a Nクラッド層	
8 0 6	p電極パッド	
8 0 7	N電極	
8 0 8	フォトニクス結晶層	
8 0 9	p - G a Nコンタクト層	20
9 0 1	n - G a N基板	
9 0 2	n - G a Nコンタクト層	
9 0 3	n - A l G a Nクラッド層	
9 0 4	I n G a N活性層	
9 0 5	p - A l G a Nクラッド層	
9 0 6	p透明電極	
9 0 8	pボンディング電極パッド	
9 0 9	凹凸が形成された屈折率分布層	
9 1 0	n電極	
9 1 1	p - G a Nコンタクト層	30
2 0 0 0	サファイア基板	
2 0 0 1	G a Nバッファ層 2 0 0 1	
2 0 0 2	n型G a Nコンタクト層	
2 0 0 3	レジスト膜	
2 1 0 0	サファイア基板	
2 1 0 1	G a Nバッファ層	
2 1 0 2	n型G a Nコンタクト層	
2 1 0 3	p - A l G a Nクラッド層	
2 2 0 0	基板	
2 2 0 1	クラッド層	40
2 2 0 2	活性層	
2 2 0 3	クラッド層	
2 2 0 4	レジスト膜	
2 3 0 0	フォトニクス結晶層	
2 3 0 1	赤色発光素子	
2 3 0 2	青色発光素子	
2 3 0 3	緑色発光素子	
2 4 0 0	半導体基板	
2 4 0 1	n - G a Nバッファ層	
2 4 0 2	D B R層	50

- 2 4 0 3 InGa<sub>N</sub> - 多重量子井戸構造 (MQW) 活性層
- 2 4 0 4 p - AlGa<sub>N</sub>クラッド層 2 4 0 4
- 2 4 0 5 p - InGa<sub>N</sub>接着層
- 2 4 0 6 フォトニクス結晶層
- 2 4 0 7 p電極
- 2 4 0 8 n電極
- 2 5 0 0 Ga<sub>N</sub>基板
- 2 5 0 1 バッファ層
- 2 5 0 2 In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>(1-x-y)</sub>N (0 ≤ x, y, z ≤ 1) 層
- 2 6 0 0 Ga<sub>N</sub>基板
- 2 6 0 1 バッファ層
- 2 6 0 2 In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>(1-x-y)</sub>N層

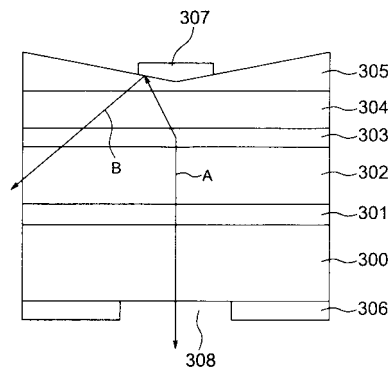
【図1】



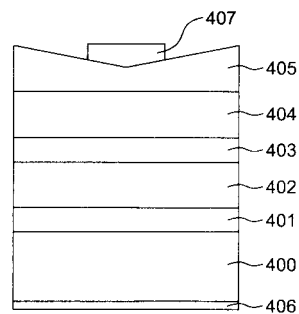
【図2】



【図3】

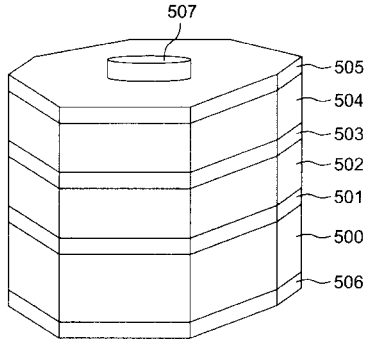


【図4】

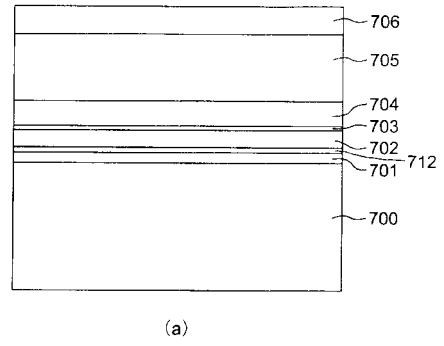




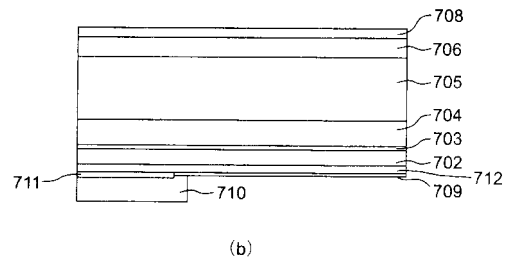
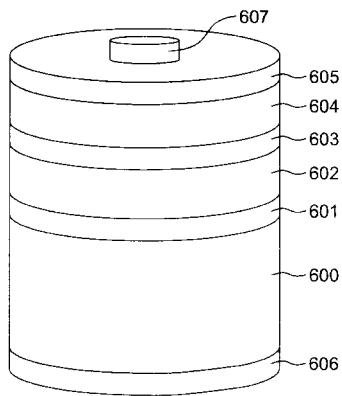
【 図 5 】



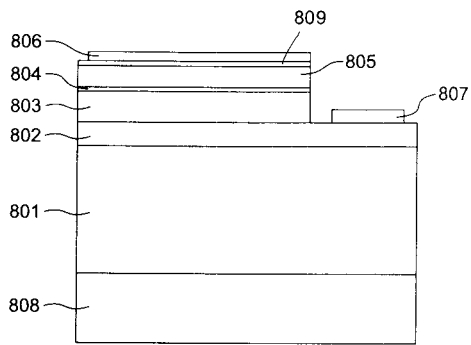
【 図 7 】



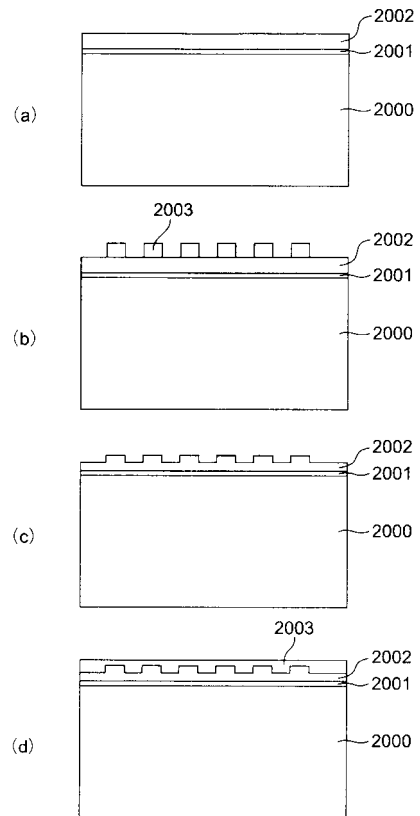
【 図 6 】



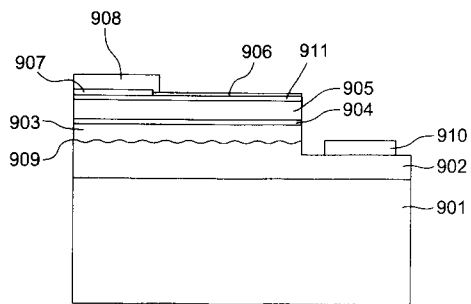
【 図 8 】



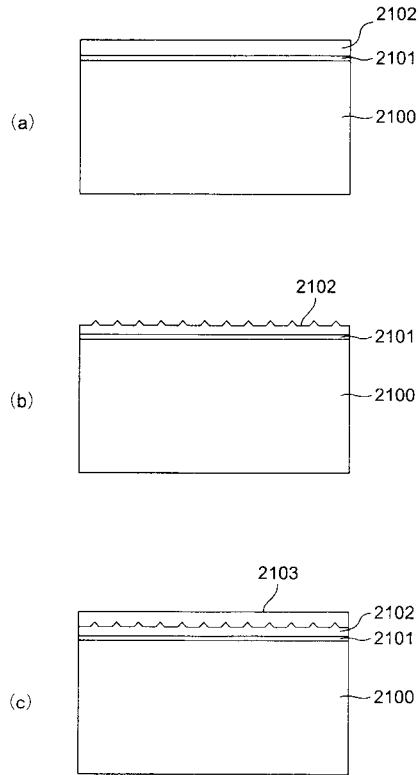
【 図 10 】



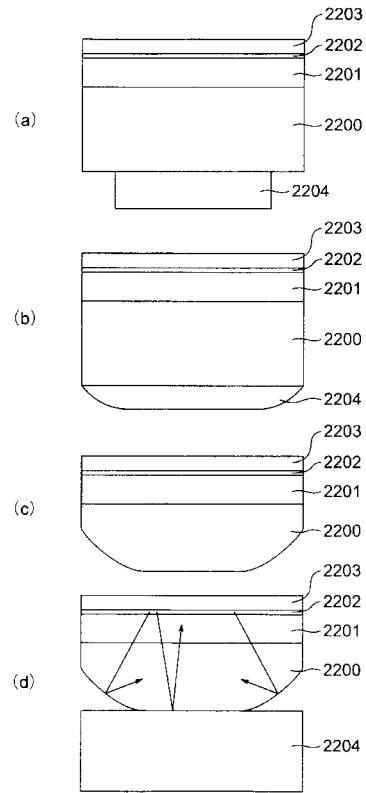
【 図 9 】



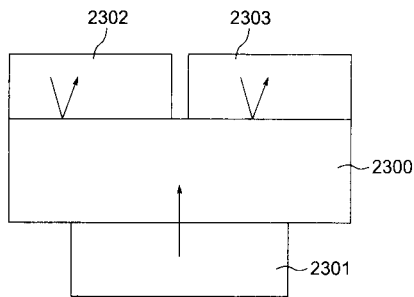
【 図 1 1 】



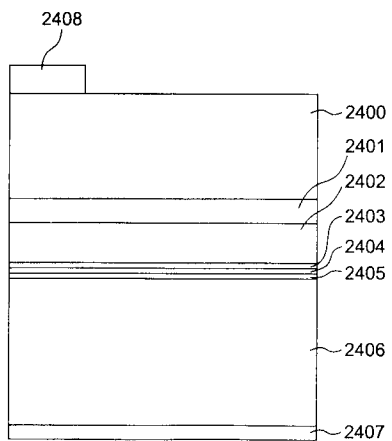
【 図 1 2 】



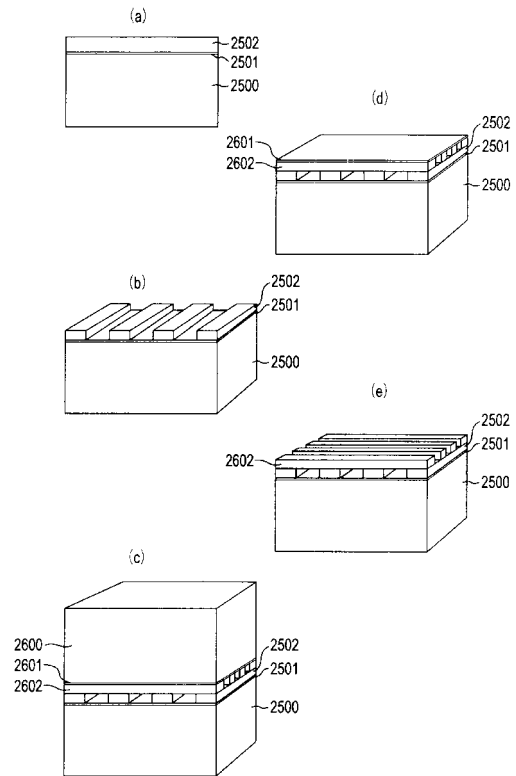
【 図 1 3 】



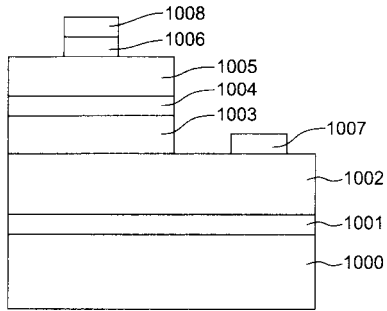
【 図 1 4 】



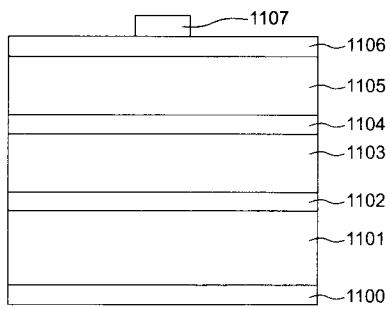
【 図 1 5 】



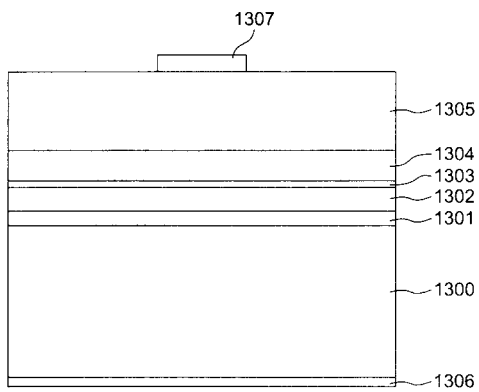
【図 16】



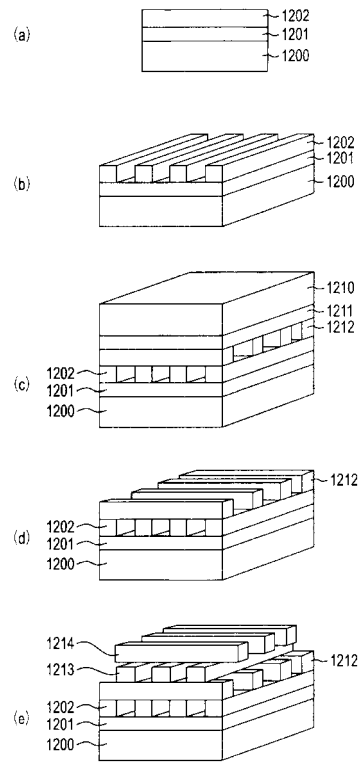
【図 17】



【図 19】



【図 18】



## フロントページの続き

- (72)発明者 新 田 康 一  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 マイクロエレクトロニクスセンター内
- (72)発明者 岡 崎 治 彦  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 マイクロエレクトロニクスセンター内
- (72)発明者 渡 辺 幸 雄  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 マイクロエレクトロニクスセンター内
- (72)発明者 古 川 千 里  
神奈川県川崎市川崎区日進町7番地1 東芝電子エンジニアリング株式会社内

審査官 吉野 三寛

- (56)参考文献 特開2000-332351(JP,A)  
特開平04-096389(JP,A)  
特開昭62-238672(JP,A)  
特開昭62-130571(JP,A)  
特開平08-204228(JP,A)  
特開平11-186593(JP,A)  
特開平11-251627(JP,A)  
特開2000-031587(JP,A)  
特開平10-284806(JP,A)  
特開2000-091639(JP,A)  
特開昭59-004088(JP,A)  
実開昭51-014565(JP,U)  
特開平11-220168(JP,A)  
特開2000-114598(JP,A)  
特開平11-340507(JP,A)  
実開昭57-121152(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00