

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5262293号
(P5262293)

(45) 発行日 平成25年8月14日(2013.8.14)

(24) 登録日 平成25年5月10日(2013.5.10)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 31/10 (2006.01)
H01L 31/107 (2006.01)H01L 31/10
H01L 31/10A
B

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-136918 (P2008-136918)
 (22) 出願日 平成20年5月26日 (2008.5.26)
 (65) 公開番号 特開2009-283854 (P2009-283854A)
 (43) 公開日 平成21年12月3日 (2009.12.3)
 審査請求日 平成23年1月27日 (2011.1.27)

(73) 特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100082175
 弁理士 高田 守
 (74) 代理人 100106150
 弁理士 高橋 英樹
 (72) 発明者 石村 栄太郎
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
 (72) 発明者 中路 雅晴
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体基板上に、第1導電型の分布プラグ反射層、光吸收層、及び第2導電型の半導体層が順番に形成され、

前記第1導電型の分布プラグ反射層は、バンドギャップ波長が入射光の波長より小さく第1の屈折率を有する第1半導体層と、バンドギャップ波長が入射光の波長より大きく前記第1の屈折率より高い第2の屈折率を有する第2半導体層とを交互に複数ペア積層したものであり、

1層の前記第1半導体層の光学層厚と1層の前記第2半導体層の光学層厚の和は入射光の波長の半分であり、

前記第1半導体層の光学層厚は、前記第2半導体層の光学層厚より大きく、

前記第1半導体層はInP、前記第2半導体層はInGaAsであり、

前記第1半導体層の光学層厚を前記第2半導体層の光学層厚で割った値が1.2~3であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 2】

前記光吸收層で発生した光キャリアをアバランシェ増倍するキャリア増倍層が、前記光吸收層と前記第2導電型の半導体層の間に形成されていることを特徴とする請求項1記載の光半導体装置。

【請求項 3】

前記光吸收層で発生した光キャリアをアバランシェ増倍するキャリア増倍層が、前記第

1 導電型の分布プラグ反射層と前記光吸収層の間に形成されていることを特徴とする請求項1記載の光半導体装置。

【請求項4】

前記半導体基板の裏面側から光を入射することを特徴とする請求項1記載の光半導体装置。

【請求項5】

前記第2導電型の半導体層は第2導電型の分布プラグ反射層であり、

前記第2導電型の分布プラグ反射層は、バンドギャップ波長が入射光の波長より小さく第3の屈折率を有する第3半導体層と、バンドギャップ波長が入射光の波長より大きく前記第3の屈折率より高い第4の屈折率を有する第4半導体層とを交互に複数ペア積層したものであり、10

1層の前記第3半導体層の光学層厚と1層の前記第4半導体層の光学層厚の和は入射光の波長の半分であり、

前記第3半導体層の光学層厚は、前記第4半導体層の光学層厚より大きく、

前記第3半導体層の光学層厚を前記第4半導体層の光学層厚で割った値が1.2~3であることを特徴とする請求項1記載の光半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分布プラグ反射層を有する光半導体装置に関し、特に応答の線形性が良く、量子効率が高い光半導体装置に関するものである。20

【背景技術】

【0002】

光吸収層と半導体基板の間に分布プラグ反射 (DBR: Distributed Bragg Reflector) 層を有するフォトダイオードが提案されている。光吸収層で吸収されずに透過した光は、D B R 層で反射されて再び光吸収層で吸収される。これにより、D B R 層を有するフォトダイオードでは高い量子効率が得られる。

【0003】

また、光ファイバで送られて来た光信号をフォトダイオードで光電変換して電気信号に変え、電気の增幅器を介さないでそのまま電波として放出するアプリケーションがある。この場合、フォトダイオードは非常に強い光が入射した場合でも破壊せずに線形性よく応答する必要がある。応答の線形性を良くするためには、フォトダイオードの放熱性を良くして光吸収層近傍の温度上昇を抑制する必要がある。なぜなら、光吸収層の温度が上昇すると、光吸収で発生した電子と正孔の移動速度が低下し、光吸収層内に滞留した電子と正孔が光吸収層内の電界を遮蔽し(空間電荷効果)、電流が流れなくなるためである。30

【0004】

しかし、D B R 層の構成材料であるA1InAsなどの3元混晶半導体やInGaAsPなどの4元混晶半導体は、半導体基板の構成材料であるInPやGaAsなどの2元混晶半導体よりも熱抵抗が10倍近く高い。このため、D B R 層を有するフォトダイオードでは、光吸収層で発生した熱が半導体基板へ放熱し難いという問題があった。40

【0005】

このようなD B R 層の放熱性の問題は、温度上昇に敏感な発光素子である面発光レーザ (VCSEL) で顕著に見られる。その解決策として、2層ペアのD B R 層のうち、熱抵抗が高い層である3元混晶半導体層や4元混晶半導体層を薄くし、熱抵抗が低い層を厚くする方法が開示されている(例えば、特許文献1~3参照)。

【特許文献1】特開平5-283808号公報

【特許文献2】特開2005-354061号公報

【特許文献3】特開2005-19599号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、2層ペアのD B R層のうち、熱抵抗が高い層を薄くし、熱抵抗が低い層を厚くすると、D B R層の反射率が低下し、光半導体装置の量子効率が低くなるという問題があった。

【0007】

本発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、その目的は、応答の線形性が良く、量子効率が高い光半導体装置を得るものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

第1の発明は、第1導電型の分布プラグ反射層、光吸収層、及び第2導電型の半導体層が順番に形成され、前記第1導電型の分布プラグ反射層は、バンドギャップ波長が入射光の波長より小さく第1の屈折率を有する第1半導体層と、バンドギャップ波長が入射光の波長より大きく前記第1の屈折率より高い第2の屈折率を有する第2半導体層とを交互に複数ペア積層したものであり、1層の前記第1半導体層の光学層厚と1層の前記第2半導体層の光学層厚の和は入射光の波長の半分であり、前記第1半導体層の光学層厚は、前記第2半導体層の光学層厚より大きく、前記第1半導体層はInP、前記第2半導体層はInGaAsであり、前記第1半導体層の光学層厚を前記第2半導体層の光学層厚で割った値が1.2~3であることを特徴とする光半導体装置である。

10

【発明の効果】

【0011】

20

本発明により、応答の線形性が良く、量子効率が高い光半導体装置を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置は、分布プラグ反射層を有するフォトダイオードである。

【0013】

n型InP基板10(半導体基板)上に、n型D B R層12(第1導電型の分布プラグ反射層)、低キャリア濃度のi-InGaAs光吸収層14(光吸収層)、及びp型InP窓層16(第2導電型の半導体層)が順番に形成されている。p型InP窓層16上には、反射防止膜と表面保護膜を兼ねたSiNなどの絶縁膜18とアノード(p型)電極20が形成されている。n型InP基板10の裏面にはカソード(n型)電極22が形成されている。

30

【0014】

n型D B R層12は、屈折率が低いn型InP層12a(第1半導体層)と屈折率が高いn型InGaAs層12b(第2半導体層)を交互に積層したものである。n型InP層12aは、バンドギャップ波長が入射光の波長より小さく、入射光を吸収しない。一方、n型InGaAs層12bは、バンドギャップ波長が入射光の波長より大きく、入射光を吸収する。

40

【0015】

また、1層のn型InP層12aの光学層厚(=層厚×屈折率)と1層のn型InGaAs層12bの光学層厚の和は入射光の波長の半分(= /2)である。このため、n型D B R層12は、波長の入射光に対して効率良く反射層として働く。

【0016】

また、本実施の形態では、n型InP層12aの光学層厚はn型InGaAs層12bの光学層厚より大きい。例えば、InP層の光学層厚をInGaAs層の光学層厚で割った値が約2.2である。この構成による効果については後に詳細に説明する。

【0017】

本実施の形態に係る光半導体装置の動作について説明する。アノード電極20の電位が

50

カソード電極 22 の電位に比べて低くなるように 0.5 ~ 3 V の逆バイアスが印加される。入射光は、図の上側から絶縁膜 18 と p 型 InP 窓層 16 を通って i-InGaAs 光吸收層 14 へ入射される。そして、入射光は i-InGaAs 光吸收層 14 で吸収される。

【0018】

i-InGaAs 光吸收層 14 の層厚を t 、i-InGaAs 光吸收層 14 の入射光に対する吸収係数を α とすると、i-InGaAs 光吸收層 14 に吸収された入射光の割合 (= 量子効率) は以下の式 (1) で表される。

$$1 - e^{-\alpha t} \quad \dots (1)$$

【0019】

i-InGaAs 光吸收層 14 で吸収されずに透過した光は、n 型 DBR 層 12 で反射されて、再び i-InGaAs 光吸收層 14 で吸収される。n 型 DBR 層 12 における光の反射率を R とすると、n 型 DBR 層 12 による戻り光を考慮した場合の量子効率は以下の式 (2) で表される。

$$1 - e^{-\alpha t} + R \cdot e^{-\alpha t} \cdot (1 - e^{-\alpha t}) \dots (2)$$

【0020】

式 (1) と式 (2) の差が n 型 DBR 層 12 による量子効率の増加分である。i-InGaAs 光吸收層 14 の中は、逆バイアスのために空乏層化している。空乏層中は電界がかかっており、電子と正孔は、それぞれカソード電極 22 とアノード電極 20 側に流れて電流として取り出される。

【0021】

本実施の形態に係る光半導体装置の効果について参考例と比較しながら説明する。図 2 は、光半導体装置の参考例を示す断面図である。n 型 DBR 層 100 は、屈折率が異なる n 型 InP 層 100a と n 型 InGaAsP 層 100b を交互に積層したものである。n 型 InP 層 100a と n 型 InGaAsP 層 100b の両方とも、バンドギャップ波長が入射光の波長 より 小さく、入射光を吸収しない。DBR 層以外は本実施の形態に係る光半導体装置と同様である。

【0022】

参考例の n 型 DBR 層 100 は、n 型 InP 層 100a の光学層厚と n 型 InGaAsP 層 100b の光学層厚がそれぞれ $1/4$ の場合に、反射率が最大となる。例えば、 α が $1.55 \mu\text{m}$ である場合、InP の屈折率を 3.169 とすると n 型 InP 層 100a の層厚は $0.123 \mu\text{m}$ 、InGaAsP の屈折率を 3.437 とすると n 型 InGaAsP 層 100b の層厚は $0.113 \mu\text{m}$ である。

【0023】

ここで、InP の熱伝導率は約 70 W/mK で、InGaAs や InGaAsP の熱伝導率 (= 約 5 W/mK) と比べると約 10 倍高い。従って、反射層の熱伝導率を上げる (= 熱抵抗を下げる) ためには、InP 層の層厚を増やし、InGaAs (P) 層の層厚を減らせばよい。しかし、参考例では、n 型 InGaAsP 層 100b の層厚を減らすと反射率が低下してしまう。これに対し、本実施の形態では、反射率を低下させることなく、n 型 InGaAsP 層 12b の層厚を減らすことができる。この理由について以下に詳細に説明する。

【0024】

図 3 は、DBR 層の反射率と熱抵抗を計算した図である。図 3 の横軸は「InP 層の光学層厚 ÷ InGaAs (P) 層の光学層厚」である。入射光の波長を $1.55 \mu\text{m}$ 、InGaAsP のバンドギャップ波長を $1.4 \mu\text{m}$ とし、InGaAs 光吸收層から DBR 層に光を入射するものとして計算を行った。「吸収性 DBR 層」は InP 層と InGaAs 層を 13 ペア積層したものであり、本実施の形態の DBR 層に対応する。一方、「非吸収性 DBR 層」は InP 層と InGaAsP 層を 13 ペア積層したものであり、参考例の DBR 層に対応する。

10

20

30

40

50

【0025】

非吸収性DBR層では、「InP層の光学層厚÷InGaAsP層の光学層厚」が1の場合に反射率が最大になる。一方、吸収性DBR層では、「InP層の光学層厚÷InGaAs層の光学層厚」が1.75付近で反射率が最大になる。従って、吸収性DBR層は、反射率を非吸収性DBR層と同程度に保ちながら、InGaAs層を非吸収性DBR層よりも薄くすることができる。これは、入射光を吸収するInGaAs層を薄くすることで吸収が減り、高い反射率が得られるからである。また、InGaAsPに比べてInGaAsの方がInPに対する屈折率差が大きいからである。

【0026】

図3に示すように、参考例では「InP層の光学層厚÷InGaAs層の光学層厚」が1であり、反射率が最大となっている。これに対し、実施の形態1では「InP層の光学層厚÷InGaAs層の光学層厚」が約2.2であるが、参考例と同程度の反射率(=6.6%)を実現することができる。従って、InGaAs層が薄いため、DBR層の熱抵抗を参考例よりも900k/Wも低減することができる。よって、本実施の形態に係る光半導体装置は、応答の線形性が良く、量子効率が高い。

10

【0027】

ただし、上記の値に限らず、実施の形態1の構成において「InP層の光学層厚÷InGaAs層の光学層厚」を1.2~3にすれば、DBR層の反射率を参考例と同程度に保ちながら、DBR層の熱抵抗を低減することができる。

【0028】

なお、n型InP層12aの代わりに、GaAs層、S層、AlInAs層、バンドギャップ波長が入射光の波長より小さいInGaAsP層やAlGaInAs層などを用いてもよい。n型InGaAs層12bの代わりに、バンドギャップ波長が入射光の波長より大きいInGaAsP層やAlGaInAs層などを用いてもよい。

20

【0029】

実施の形態2.

図4は、本発明の実施の形態2に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置は、p型領域を選択拡散で形成したプレーナ型pinフォトダイオードである。

【0030】

i-InGaAs光吸収層14上に低キャリア濃度のn型InP層24が形成され、n型InP層24の一部に選択拡散等によりp型InP層26(第2導電型の半導体層)が形成されている。その他の構成は実施の形態1と同様である。これにより実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

30

【0031】

実施の形態3.

図5は、本発明の実施の形態3に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置はプレーナ型InPアバランシェフォトダイオードである。

【0032】

i-InGaAs光吸収層14上にn型InP増倍層28(キャリア増倍層)が形成され、n型InP増倍層28の一部に選択拡散等によりp型InP層26(第2導電型の半導体層)が形成されている。p型InP層26の外周にBeのイオン注入などによりガードリング30が形成されている。n型InP増倍層28は、i-InGaAs光吸収層14で発生した光キャリアをアバランシェ増倍する。その他の構成は実施の形態1と同様である。

40

【0033】

アバランシェフォトダイオードは空間電荷効果が特に生じやすく、かつ高い電圧で使用するために発熱量が大きいが、DBR層の熱抵抗を低減することで高光入力時にも安定に動作する。

【0034】

実施の形態4.

50

図6は、本発明の実施の形態4に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置はプレーナ型AlInAsアバランシェフォトダイオードである。

【0035】

n型DBR層12とi-InGaAs光吸収層14の間に、n型AlInAs増倍層32(キャリア増倍層)と電界緩和層34が形成されている。n型AlInAs増倍層32は、i-InGaAs光吸収層14で発生した光キャリアをアバランシェ増倍する。その他の構成は実施の形態2と同様である。

【0036】

発熱源となるn型AlInAs増倍層32の近くに、熱抵抗が低いn型InP層12aが存在するため、効率良く放熱を行うことができる。また、n型DBR層12の屈折率が低い層として、n型InP層12aの代わりに、n型AlInAs増倍層32と同じAlInAs層を用いれば、材料が同じなので結晶成長を安定に行うことができる。
10

【0037】

実施の形態5。

図7は、本発明の実施の形態5に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置は実施の形態4と同様にプレーナ型AlInAsアバランシェフォトダイオードである。

【0038】

n型DBR層12のn型InP層12aとn型AlInAs増倍層32の間にキャリア濃度の高いn型AlInAs層36を挿入している。その他の構成は実施の形態4と同様である。これにより、n型AlInAs増倍層32の電界がn型InP層12aにからならないため、n型InP層12aでの正孔の増倍が抑制され、低雑音のアバランシェフォトダイオードを実現することができる。
20

【0039】

実施の形態6。

図8は、本発明の実施の形態6に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置は基板側から光を入射する裏面入射共振型フォトダイオードである。

【0040】

n型InP基板10の裏面に反射防止膜40が形成されている。そして、n型InP基板10の裏面側から光を入射する。その他の構成は実施の形態2と同様である。
30

【0041】

n型DBR層12が光の入射側にあるが、屈折率が高いn型InGaAs層12bが薄いので、入射光の損失が少ないという利点がある。その他、実施の形態1,2と同様の効果を得ることができる

【0042】

実施の形態7。

図9は、本発明の実施の形態7に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置は共振型フォトダイオードである。

【0043】

実施の形態1のp型InP窓層16の代わりにp型DBR層38(第2導電型の分布ブラング反射層)が形成されている。その他の構成は実施の形態1と同様である。
40

【0044】

p型DBR層38は、屈折率が低いp型InP層38a(第1半導体層)と屈折率が高いp型InGaAs層38b(第2半導体層)を交互に積層したものである。p型InP層38aは、バンドギャップ波長が入射光の波長より小さく、入射光を吸収しない。一方、p型InGaAs層38bは、バンドギャップ波長が入射光の波長より大きく、入射光を吸収する。

【0045】

また、1層のp型InP層38aの光学層厚と1層のp型InGaAs層38bの光学層厚の和は入射光の波長の半分($= \lambda / 2$)である。このため、n型DBR層12は、
50

波長 の入射光に対して効率良く反射層として働く。

【0046】

また、p型InP層38aの光学層厚はp型InGaAs層38bの光学層厚より大きい。具体的には、「InP層の光学層厚÷InGaAs層の光学層厚」は1.2~3である。このように熱抵抗が大きいp型InGaAs層38bが薄いため、n型DBR層12は放熱性が良い。

【0047】

このようにi-InGaAs光吸收層14の上下をDBR層で挟むと、上下のDBR層の間で光が往復することにより高い感度を得ることができるが、熱の逃げ場所がなくなりi-InGaAs光吸收層14に熱が閉じ篭ってしまう。そこで、上記のように放熱の良いDBR層を用いることで、放熱性を改善できる。よって、本実施の形態に係る光半導体装置は、応答の線形性が良く、量子効率が高い。また、屈折率が高いp型InGaAs層38bが薄いので、入射光の損失が少ないという利点もある。

【0048】

実施の形態8.

図10は、本発明の実施の形態8に係る光半導体装置を示す断面図である。この光半導体装置は面発光レーザである。

【0049】

n型InP基板10(半導体基板)上に、n型DBR層12(第1導電型の分布プラッタ反射層)、低キャリア濃度のi-InGaAs活性層42(活性層)、及びp型DBR層38(第2導電型の分布プラッタ反射層)が順番に形成されている。p型DBR層38上には、反射防止膜と表面保護膜を兼ねたSiNなどの絶縁膜18とアノード(p型)電極20が形成されている。n型InP基板10の裏面にはカソード(n型)電極22が形成されている。

【0050】

n型DBR層12は、屈折率が低いn型InP層12a(第1半導体層)と屈折率が高いn型InGaAs層12b(第2半導体層)を交互に積層したものである。p型DBR層38は、屈折率が低いp型InP層38a(第1半導体層)と屈折率が高いp型InGaAs層38b(第2半導体層)を交互に積層したものである。n型InP層12a及びp型InP層38aは、バンドギャップ波長が出射光の波長より小さく、出射光を吸収しない。一方、n型InGaAs層12b及びp型InGaAs層38bは、バンドギャップ波長が出射光の波長より大きく、出射光を吸収する。

【0051】

また、1層のn型InP層12aの光学層厚と1層のn型InGaAs層12bの光学層厚の和は出射光の波長の半分であり、1層のp型InP層38aの光学層厚と1層のp型InGaAs層38bの光学層厚の和は出射光の波長の半分である。このため、n型DBR層12及びp型DBR層38は、波長の入射光に対して効率良く反射層として働く。

【0052】

また、n型InP層12aの光学層厚はn型InGaAs層12bの光学層厚より大きく、p型InP層38aの光学層厚はp型InGaAs層38bの光学層厚より大きい。具体的には、「InP層の光学層厚÷InGaAs層の光学層厚」は1.2~3である。このように熱抵抗が大きいp型InGaAs層38bやp型InGaAs層38bが薄いため、n型DBR層12及びp型DBR層38は放熱性が良い。

【0053】

このようにi-InGaAs活性層42の上下をDBR層で挟むと、上下のDBR層の間で光が往復してレーザ発振が起こるが、熱の逃げ場所がなくなりi-InGaAs活性層42に熱が閉じ篭ってしまう。そこで、上記のように放熱の良いDBR層を用いることで、放熱性を改善できる。よって、本実施の形態に係る光半導体装置は、応答の線形性が良く、量子効率が高い。また、屈折率が高いp型InGaAs層38bが薄いので、出射

10

20

30

40

50

光の損失が少ないという利点もある。

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図1】本発明の実施の形態1に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図2】光半導体装置の参考例を示す断面図である。

【図3】D B R層の反射率と熱抵抗を計算した図である。

【図4】本発明の実施の形態2に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図5】本発明の実施の形態3に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図6】本発明の実施の形態4に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図7】本発明の実施の形態5に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図8】本発明の実施の形態6に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図9】本発明の実施の形態7に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図10】本発明の実施の形態8に係る光半導体装置を示す断面図である。

【符号の説明】

【0055】

10 n型InP基板(半導体基板)

12 n型DBR層(第1導電型の分布プラグ反射層)

12a n型InP層(第1半導体層)

12b n型InGaAs層(第2半導体層)

14 i-InGaAs光吸收層(光吸收層)

16 p型InP窓層(第2導電型の半導体層)

26 p型InP層(第2導電型の半導体層)

28 n型InP増倍層(キャリア増倍層)

32 n型AlInAs増倍層(キャリア増倍層)

38 p型DBR層(第2導電型の分布プラグ反射層)

38a p型InP層(第1半導体層)

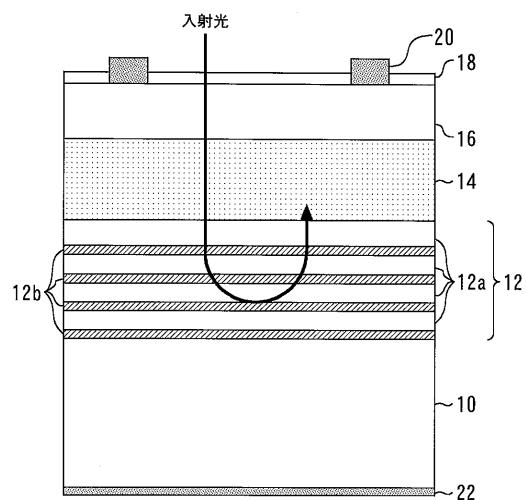
38b p型InGaAs層(第2半導体層)

42 i-InGaAs活性層(活性層)

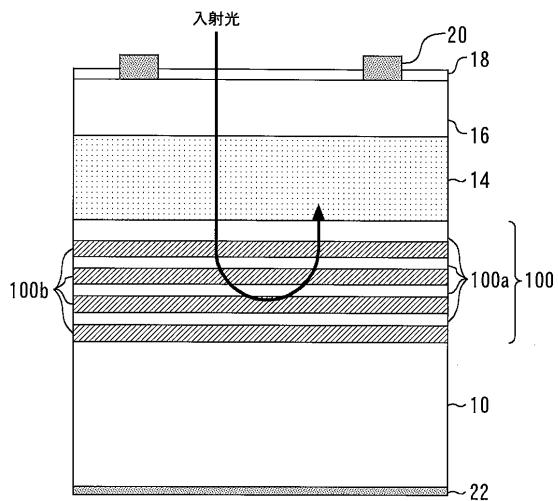
10

20

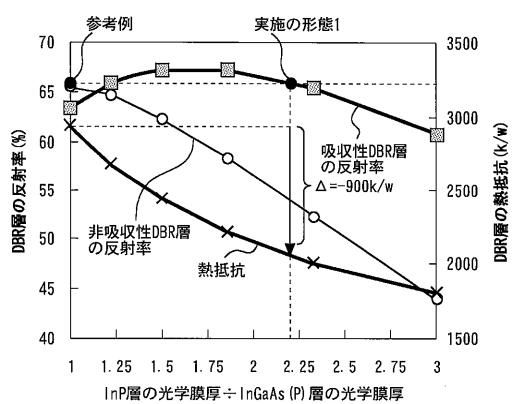
【図1】



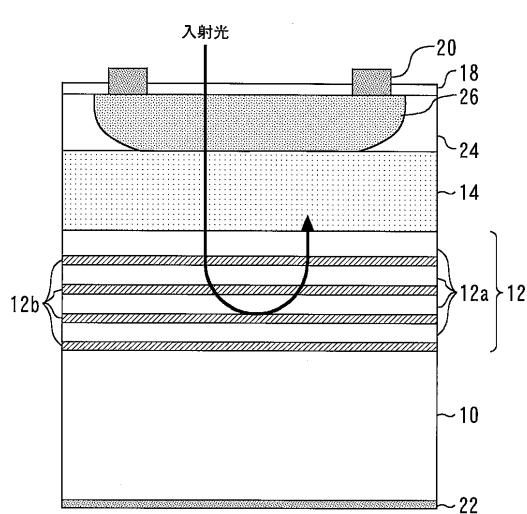
【図2】



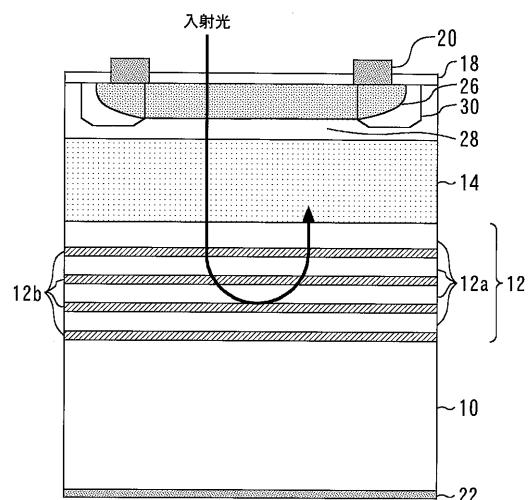
【図3】



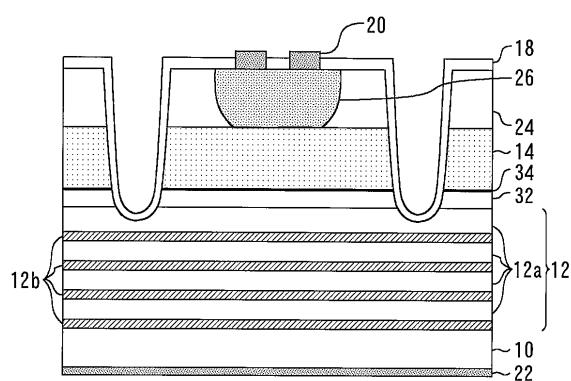
【図4】



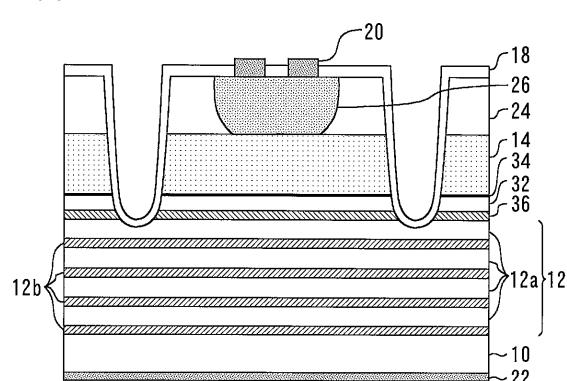
【図5】



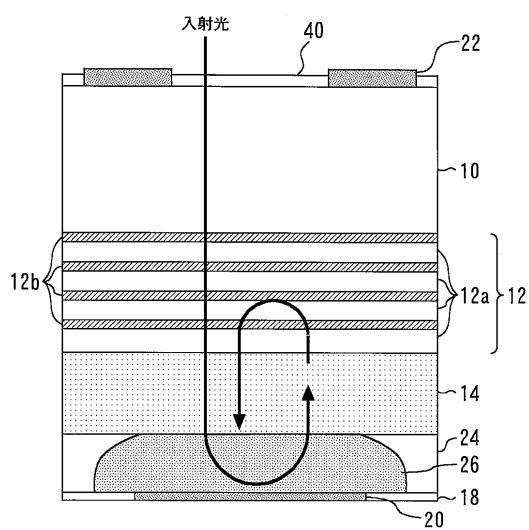
【図6】



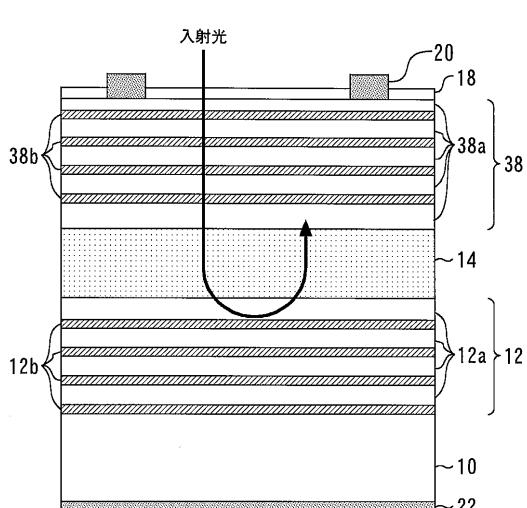
【図7】



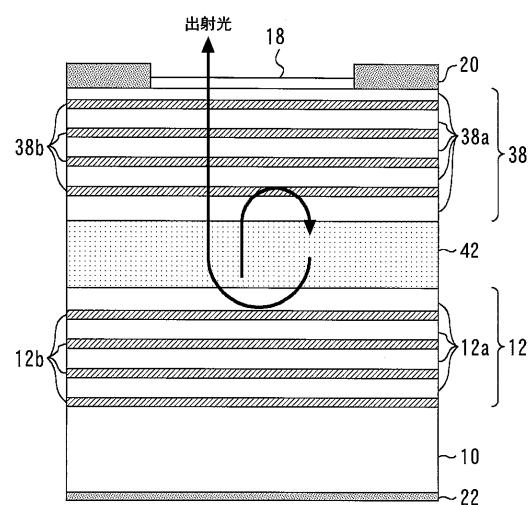
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 柳生 栄治

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 山本 元彦

(56)参考文献 特開昭63-009163 (JP, A)

特開2006-253548 (JP, A)

特開2004-327886 (JP, A)

国際公開第2006/046276 (WO, A1)

特開昭62-282469 (JP, A)

特開2002-203984 (JP, A)

特開2008-078615 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/10 - 31/119

H01S 5/00 - 5/50

JSTPlus (JDreamII)

JST7580 (JDreamII)