

(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
2015 年 7 月 30 日(30.07.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/111432 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/06 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/050266
- (22) 国際出願日: 2015 年 1 月 7 日(07.01.2015)
- (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 2014-012838 2014 年 1 月 27 日(27.01.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社 Q D レーザ (QD LASER, INC.)
[JP/JP]; 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 京浜ビル 1 階 Kanagawa (JP). ユニバーシティ オブ シェフィールド (UNIVERSITY OF SHEFFIELD) [GB/GB]; S102TN シェフィールド ウェスタン バンク (番地なし) Sheffield (GB).
- (72) 発明者: 西研一 (NISHI, Kenichi); 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 京浜ビル 1 階 株式会社 Q D レーザ内 Kanagawa (JP). 影山健生 (KAGEYAMA, Takeo); 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 京浜ビル 1 階 株式会社 Q D レーザ内 Kanagawa (JP). 武政敬三 (TAKEMASA, Keizo); 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 京浜ビル 1 階 株式会社 Q D レーザ内 Kanagawa (JP). 菅原 充 (SUG-

AWARA, Mitsuru); 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 京浜ビル 1 階 株式会社 Q D レーザ内 Kanagawa (JP). ホッグ リチャード (HOGG, Richard); S37HQ シェフィールド、ブロードレーン、ユニバーシティ オブ シェフィールド センタ フォー ナノサイエンス アンド テクノロジー ノース キャンパス、エレクトロニック アンド エレクトロカル エンジニアリング デパートメント Sheffield (GB). チェン シミン (CHEN, Siming); S37HQ シェフィールド、ブロードレーン、ユニバーシティ オブ シェフィールド センタ フォー ナノサイエンス アンド テクノロジー ノース キャンパス、エレクトロニック アンド エレクトロカル エンジニアリング デパートメント Sheffield (GB).

- (74) 代理人: 片山修平 (KATAYAMA, Shuhei); 〒1040031 東京都中央区京橋 1-6-1 三井住友海上テブコビル Tokyo (JP).

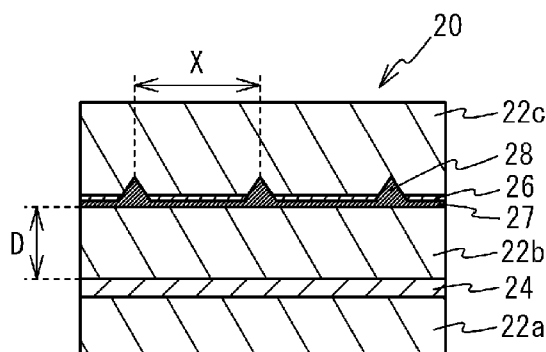
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 半導体発光素子

【図2】



(57) Abstract: The present invention is a semiconductor light-emitting element provided with a lower cladding layer (12) provided on a substrate (10), an active layer part (20) provided on the lower cladding layer (12) and including a quantum well layer (24) and a plurality of quantum dots (28) disposed so that a second barrier layer (22b) is sandwiched between the quantum well layer (24) and the quantum dots (28), and an upper cladding layer (14) provided on the active layer part (20). A gap (D) between the quantum well layer (24) and the quantum dots (28) is smaller than the average value of the gap (X) between the centers of the quantum dots (28).

(57) 要約: 本発明は、基板 10 上に設けられた下部クラッド層 12 と、下部クラッド層 12 上に設けられ、量子井戸層 24 と、量子井戸層 24 との間に第 2 障壁層 22b を挟んで配置された複数の量子ドット 28 と、を含む活性層部 20 と、活性層部 20 上に設けられた上部クラッド層 14 と、を備え、量子井戸層 24 と複数の量子ドット 28 との間隔 D は、複数の量子ドット 28 それぞれの中心間隔 X の平均値よりも小さい半導体発光素子である。



WO 2015/111432 A1



QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：半導体発光素子

技術分野

[0001] 本発明は、半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、例えばOCT (Optical Coherence Tomography) 等の光センシングに向けて、発光波長域の広い発光素子が求められている。例えば、量子井戸－量子ドットのハイブリッド構造の半導体発光素子が提案されている（例えば、非特許文献1参照）。このハイブリッド構造の半導体発光素子は、量子井戸及び量子ドットからの互いに波長が異なる発光によって、広い発光波長域を実現している。また、自己形成された量子ドットの周辺に歪み場が形成され、この歪み場の影響が量子井戸層に及ぶと、量子井戸層のバンドギャップエネルギーが変化することが知られている（例えば、非特許文献2～4参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：Siming Chen、外7名、“Hybrid Quantum Well/Quantum Dot Structure for Broad Spectral Bandwidth Emitters”、IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS、2013年、第19巻、第4号

非特許文献2：John H. Davies、“Quantum dots induced by strain from buried and surface stressors”、APPLIED PHYSICS LETTERS、1999年、第75巻、第26号、p. 4141-4144

非特許文献3：M. Sopanen、外2名、“Strain-induced quantum dots by self-organized stressors”、APPLIED PHYSICS LETTERS、1995年、第66巻、第18号、p. 2363-2366

非特許文献4：H. Lipsanen、外2名、“Luminescence from excited states in strain-induced $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ quantum dots”、PHYSICAL REVIEW B、1995

年、第51巻、第19号、p. 13868-13871

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 非特許文献 1 に記載の半導体発光素子では、量子井戸及び量子ドットそれぞれの発光を重ね合わせて、広い発光波長域を実現している。したがって、量子井戸及び量子ドットそれぞれからの発光が求められるため、例えば量子ドットからの発光が得られない波長域では発光波長域を広げられない等、改善の余地が残されている。

[0005] 本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、広い発光波長域が実現可能な半導体発光素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明は、基板上に設けられた下部クラッド層と、前記下部クラッド層上に設けられ、量子井戸層と、前記量子井戸層との間に障壁層を挟んで配置された複数の量子ドットと、を含む活性層部と、前記活性層部上に設けられた上部クラッド層と、を備え、前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間隔は、前記複数の量子ドットそれぞれの中心間の間隔の平均値よりも小さいことを特徴とする半導体発光素子である。本発明によれば、広い発光波長域を実現することができる。

[0007] 上記構成において、前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間隔は、前記複数の量子ドットそれぞれの中心間の間隔の平均値の $1/3$ 以上且つ $2/3$ 以下である構成とすることができる。

[0008] 上記構成において、前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間の前記障壁層の厚さは、前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間でトンネル電流が流れない厚さである構成とすることができる。

[0009] 上記構成において、前記量子井戸層は、前記基板の上面に平行な方向において、前記複数の量子ドットによる歪み場の影響によって、バンドギャップエネルギーが変調されている構成とすることができる。

[0010] 上記構成において、前記量子井戸層及び前記量子ドットは III-V 族化

合物半導体層であり、前記量子井戸層及び前記量子ドットの少なくとも一方はⅢ族元素としてⅢを含む構成とすることができる。

[0011] 上記構成において、前記量子井戸層はⅢGaAs層で、前記量子ドットはⅢAsである構成とすることができる。

[0012] 上記構成において、前記量子井戸層はGaAs層で、前記量子ドットはAlⅢAsである構成とすることができる。

[0013] 上記構成において、前記量子井戸層及び前記量子ドットの少なくとも一方はⅤ族元素として窒素を含む構成とすることができる。

[0014] 上記構成において、前記活性層部は複数の前記量子井戸層を含み、前記複数の量子井戸層の厚さは、互いに異なる構成とすることができる。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、広い発光波長域を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1(a)は、実施例1に係る発光ダイオードの端面に平行な方向の断面図であり、図1(b)は、側面に平行な方向の断面図である。

[図2]図2は、実施例1に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。

[図3]図3は、量子ドットを示す上面図である。

[図4]図4(a)及び図4(b)は、比較例1及び比較例2に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。

[図5]図5(a)及び図5(b)は、比較例1及び比較例2の発光ダイオードのエレクトロルミネッセンス測定の測定結果を示す図である。

[図6]図6は、ハイブリッド構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す模式図である。

[図7]図7(a)及び図7(b)は、実施例1の発光ダイオードのエレクトロルミネッセンス測定の測定結果を示す図である。

[図8]図8は、発光波長幅が広がった理由を説明するための活性層部の断面図である。

[図9]図9は、実施例1の変形例1に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。

[図10]図10は、実施例1の変形例2に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。

[図11]図11は、実施例1の変形例3に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、図面を参照しつつ、本発明の実施例について説明する。

実施例 1

[0018] 図1(a)は、実施例1に係る発光ダイオードの端面に平行な方向の断面図であり、図1(b)は、側面に平行な方向の断面図である。図1(a)及び図1(b)のように、実施例1の発光ダイオード100は、基板10上に下部クラッド層12が設けられている。基板10は、例えばn型GaAs基板である。下部クラッド層12は、例えばn型AlGaAs層である。なお、基板10と下部クラッド層12との間に、例えばn型GaAs層であるバッファ層が設けられていてもよい。

[0019] 下部クラッド層12上に活性層部20が設けられている。活性層部20の詳細については後述する。活性層部20上に上部クラッド層14が設けられている。上部クラッド層14は孤立した突起形状をしている。上部クラッド層14は、例えばp型AlGaAs層である。上部クラッド層14上にp電極16が設けられ、基板10下にn電極18が設けられている。p電極16は、例えば上部クラッド層14側からAu、Zn、Auが積層された金属膜である。n電極18は、例えば基板10側からInGe、Auが積層された金属膜である。なお、上部クラッド層14とp電極16との間に、例えばp型GaAs層であるコンタクト層が設けられていてもよい。

[0020] 図2は、実施例1に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。図2のように、活性層部20は、第1障壁層22a～第3障壁層22cと量子井戸層24とInGaAs層26と濡れ層27と複数の量子ドット28と

を含む。第1障壁層22a上に量子井戸層24が設けられ、量子井戸層24上に第2障壁層22bが設けられている。第2障壁層22b上に複数の量子ドット28が設けられ、複数の量子ドット28と同じ材料の濡れ層27上にInGaAs層26が設けられている。これら複数の量子ドット28及びInGaAs層26上に、第3障壁層22cが設けられている。量子井戸層24と複数の量子ドット28との間隔D（即ち、量子井戸層24の上面と複数の量子ドット28の下端との間隔）は、複数の量子ドット28それぞれの中心間隔Xの平均値よりも小さくなっている。

[0021] 第1障壁層22a～第3障壁層22cは、量子井戸層24よりもバンドギャップエネルギーの大きな材料からなり、例えばGaAs層である。量子井戸層24は、例えばInGaAs層である。複数の量子ドット28は、第1障壁層22a～第3障壁層22cよりもバンドギャップエネルギーの小さい材料からなり、例えばInAsからなる。濡れ層27は、複数の量子ドット28と同じ材料からなるため、例えばInAsからなる。複数の量子ドット28は、S-K（Stranski-Krastanov）成長モードを基礎とした自己形成成長法によって形成されている。つまり、基板10と異なる格子定数の材料（例えばInAs）を第2障壁層22b上にエピタキシャル成長させることで、初めは2次元的な層状成長が起こり、成長量を増やしていくと格子定数差を起因とする歪みエネルギーの増大を抑制するように3次元成長へと遷移して複数の量子ドット28が形成される。

[0022] 図3は、量子ドットを示す上面図である。なお、InGaAs層26及び濡れ層27については図示を省略している。図3のように、第2障壁層22b上に、複数の量子ドット28が点在している。複数の量子ドット28の面密度は、例えば $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ である。複数の量子ドット28の面密度は、成長条件によって制御することができ、一般的な成長条件では、上記の範囲となる。また、一般的な成長条件では、量子ドット28の高さは例えば4～12nm、量子ドット28の直径は例えば20～30nm、複数の量子ドット28それぞれの中心間隔Xの平均値は例えば25nm～

300 nmとなる。複数の量子ドット28それぞれの中心間の間隔Xの平均値は、例えば複数の量子ドット28の面密度の逆数の平方根を計算することで求めることができる。

[0023] ここで、発明者が行った実験について説明する。まず、比較例1及び比較例2に係る発光ダイオードに対して行った実験について説明する。図4(a)及び図4(b)は、比較例1及び比較例2に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。図4(a)のように、比較例1の発光ダイオードの活性層部80は、第1障壁層82aと第2障壁層82bとの間に量子井戸層84が挟まれた構造をしている。比較例1の発光ダイオードのその他の構成は、実施例1と同じであるため説明を省略する。このように、比較例1は、量子井戸構造を有する発光ダイオードである。図4(b)のように、比較例2の発光ダイオードの活性層部90は、第1障壁層92a上に複数の量子ドット98が設けられ、複数の量子ドット98と同じ材料の濡れ層97上にInGaAs層96が設けられている。そして、これら複数の量子ドット98及びInGaAs層96上に、第2障壁層92bが設けられた構造をしている。比較例2の発光ダイオードのその他の構成は、実施例1と同じであるため説明を省略する。このように、比較例2は、量子ドット構造を有する発光ダイオードである。

[0024] 発明者は、比較例1及び比較例2の発光ダイオードを作製し、エレクトロルミネッセンス測定を行った。作製した比較例1の発光ダイオードの具体的構成を表1に示し、作製した比較例2の発光ダイオードの具体的構成を表2に示す。

[0025]

[表1]

層名		材料	膜厚 (nm)
コンタクト層		p-GaAs	100.0
上部クラッド層		$p\text{-Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$	400.0
活性層部	第2障壁層	GaAs	100.0
	量子井戸層	$\text{In}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}$	7.0
	第1障壁層	GaAs	76.5
下部クラッド層		$n\text{-Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$	400.0
バッファ層		n-GaAs	200.0
基板		n-GaAs	—

表1のように、作製した比較例1の発光ダイオードは、基板10にn型GaAs基板を用い、基板10と下部クラッド層12との間に膜厚200nmのn型GaAs層からなるバッファ層を設けた。下部クラッド層12には膜厚400nmのn型 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 層を用いた。活性層部80を構成する第1障壁層82aは膜厚76.5nmのGaAs層とし、量子井戸層84は膜厚7.0nmの $\text{In}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}$ 層とし、第2障壁層82bは膜厚100nmのGaAs層とした。上部クラッド層14には膜厚400nmのp型 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 層を用いた。また、上部クラッド層14上に膜厚100nmのp型GaAs層からなるコンタクト層を設けた。

[0026]

[表2]

層名		材料	膜厚 (nm)
コンタクト層		p-GaAs	100.0
上部クラッド層		p-Al _{0.35} Ga _{0.65} As	400.0
活性層部	第2障壁層	GaAs	100.0
	InGaAs層	In _{0.18} Ga _{0.82} As	1.0
	量子ドット	InAs	0.7
	第1障壁層	GaAs	76.5
下部クラッド層		n-Al _{0.35} Ga _{0.65} As	400.0
バッファ層		n-GaAs	200.0
基板		n-GaAs	—

表2のように、作製した比較例2の発光ダイオードは、活性層部90を構成する第1障壁層92aを膜厚76.5nmのGaAs層とし、複数の量子ドット98を供給量0.7nm厚分のInAsとして、その高さを5nm程度とし、InGaAs層96を膜厚1.0nmのIn_{0.18}Ga_{0.82}As層とし、第2障壁層92bを膜厚100nmのGaAs層とした。また、複数の量子ドット98の面密度は、 $2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。その他については、表1に示す比較例1の発光ダイオードと同じにした。

[0027] 図5(a)及び図5(b)は、比較例1及び比較例2の発光ダイオードのエレクトロルミネッセンス測定の測定結果を示す図である。なお、エレクトロルミネッセンス測定は、20℃の環境温度の下で行い、比較例1の発光ダイオードに対しては、注入電流を0mAから40mA刻みで400mAまで上げて発光スペクトルを測定し、比較例2の発光ダイオードに対しては、0mAから20mA刻みで200mAまで上げて発光スペクトルを測定した。図5(a)のように、量子井戸構造を有する発光ダイオードである比較例1は、1080nm付近に発光ピーク波長を有している。図5(b)のように、量子ドット構造を有する発光ダイオードである比較例2は、1190nm

付近と1290nm付近に発光ピーク波長を有している。1290nm付近にピークを有する発光は基底状態からの発光であり、1190nm付近にピークを有する発光は第1励起状態からの発光である。

[0028] ここで、非特許文献1のハイブリッド構造の発光ダイオードにおいて、量子井戸からの発光波長が量子ドットよりも短い場合での発光スペクトルについて説明する。図6は、ハイブリッド構造の発光ダイオードの発光スペクトルを示す模式図である。図6のように、量子井戸からの発光と量子ドットからの発光とがそれぞれ生じ、量子井戸及び量子ドットそれぞれからの発光を重ね合わせることで広い発光波長域を得ることができる。しかしながら、この場合では、量子井戸及び量子ドットそれぞれからの発光が求められるため、例えば量子ドットからの発光が得られない波長域では発光波長域を広げられない等の課題がある。

[0029] 次に、実施例1に係る発光ダイオードに対して行った実験について説明する。発明者は、活性層部20を構成する第1障壁層22aと第2障壁層22bとの膜厚を異ならせた2つのサンプル（サンプル1及びサンプル2）を作製し、エレクトロルミネッセンス測定を行った。作成した実施例1の発光ダイオード（サンプル1及びサンプル2）の具体的構成を表3に示す。

[0030]

[表3]

層名		材料	膜厚 (nm)	
			サンプル1	サンプル2
コンタクト層		p-GaAs	100.0	100.0
上部クラッド層		p-Al _{0.35} Ga _{0.65} As	400.0	400.0
活性層部	第3障壁層	GaAs	100.0	100.0
	InGaAs層	In _{0.18} Ga _{0.82} As	1.0	1.0
	量子ドット	InAs	0.7	0.7
	第2障壁層	GaAs	35.5	15.5
	量子井戸層	In _{0.34} Ga _{0.66} As	7.0	7.0
	第1障壁層	GaAs	56.5	76.5
下部クラッド層		n-Al _{0.35} Ga _{0.65} As	400.0	400.0
バッファ層		n-GaAs	200.0	200.0
基板		n-GaAs	—	—

表3のように、作製したサンプル1は、活性層部20を構成する第1障壁層22aを膜厚56.5nmのGaAs層とし、量子井戸層24を膜厚7nmのIn_{0.34}Ga_{0.66}As層とした。第2障壁層22bを膜厚35.5nmのGaAs層とし、複数の量子ドット28を供給量0.7nm厚分のInAsとして、その高さを5nm程度とし、InGaAs層26を膜厚1.0nmのIn_{0.18}Ga_{0.82}As層とし、第3障壁層22cを膜厚100nmのGaAs層とした。また、複数の量子ドット28の面密度は、 $2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。即ち、複数の量子ドット28それぞれの中心間の間隔の平均値は70nmであった。その他については、表1に示す比較例1の発光ダイオードと同じにした。

[0031] 作製したサンプル2は、活性層部20を構成する第1障壁層22aを膜厚76.5nmのGaAs層とし、量子井戸層24を膜厚7nmのIn_{0.34}Ga_{0.66}As層とした。第2障壁層22bを膜厚15.5nmのGaAs層とし、複数の量子ドット28を供給量0.7nm厚分のInAsとして、その高さを5nm程度とし、InGaAs層26を膜厚1.0nmのIn_{0.18}G

$a_{0.82}As$ 層とし、第3障壁層22cを膜厚100nmのGaAs層とした。また、複数の量子ドット28の面密度は、 $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。即ち、複数の量子ドット28それぞれの中心間の間隔の平均値は45nmであった。その他については、表1に示す比較例1の発光ダイオードと同じにした。

[0032] 図7(a)及び図7(b)は、実施例1の発光ダイオードのエレクトロルミネッセンス測定の測定結果を示す図である。なお、エレクトロルミネッセンス測定は、20℃の環境温度の下で行い、サンプル1に対しては、注入電流を0mAから20mA刻みで300mAまで上げて発光スペクトルを測定し、サンプル2に対しては、0mAから10mA刻みで100mAまで上げて発光スペクトルを測定した。図7(a)及び図7(b)のように、1080nm付近に発光ピーク波長を有する量子井戸からの発光に関して、実施例1の発光ダイオード(サンプル1及びサンプル2)は、図5(a)に示す比較例1の発光ダイオードに比べて、発光波長幅が広がっていることが分かる。実施例1の発光ダイオードにおける量子井戸からの発光波長幅(例えば3dBバンド幅)は、比較例1に比べて、例えば2倍程度となっている。なお、図7(b)において、980nm付近にも発光のピークがあるが、これが何による発光なのかは不明である。

[0033] このように、実施例1では、比較例1に比べて、量子井戸からの発光波長幅が広がっているが、これは以下の理由によるものと考えられる。図8は、発光波長幅が広がった理由を説明するための活性層部の断面図である。なお、図8では、図の明瞭化のためにハッチを省略している。図8のように、S-Kモードによる自己形成成長法によって形成された量子ドット28は、その周辺に歪み場(破線)を形成する。量子井戸層24と複数の量子ドット28との間隔Dが、複数の量子ドット28それぞれの中心間の間隔Xの平均値よりも小さいため、量子ドット28による歪み場の影響は、量子井戸層24のうちの量子ドット28下の領域30では大きい、近接する量子ドット28の中央部下の領域32では小さい。非特許文献2～4に記載されているよ

うに、量子ドット 28 による歪み場は、量子井戸層 24 のバンドギャップエネルギーを小さくする。したがって、量子井戸層 24 のうちの量子ドット 28 下の領域 30 のバンドギャップエネルギーは、近接する量子ドット 28 の中央部下の領域 32 よりも小さくなる。つまり、量子井戸層 24 のバンドギャップエネルギーは、基板 10 の上面に平行な方向において、変調されることとなる。これにより、図 7 (a) 及び図 7 (b) のように、量子井戸からの発光波長幅が広がったものと考えられる。

[0034] 実施例 1 によれば、活性層部 20 は、量子井戸層 24 と、量子井戸層 24 との間に第 2 障壁層 22 b を挟んで配置された複数の量子ドット 28 と、を含む。そして、量子井戸層 24 と複数の量子ドット 28 との間隔 D は、複数の量子ドット 28 それぞれの中心間の間隔 X の平均値よりも小さくなっている。このため、図 8 で説明したように、量子井戸層 24 は、基板 10 の上面に平行な方向において、複数の量子ドット 28 による歪み場の影響によって、バンドギャップエネルギーが変調される。これにより、図 7 (a) 及び図 7 (b) のように、量子井戸からの発光波長幅を広げることができ、その結果、広い発光波長域を実現することができる。

[0035] 非特許文献 1 に記載の発光ダイオードでは、量子井戸及び量子ドットそれぞれからの発光が得られる波長域でないと発光波長域を広げることが難しかったのに対し、実施例 1 では、量子井戸からの発光さえ得られれば、発光波長域を広げることが可能となる。したがって、例えば量子井戸層 24 に GaAs 層を用いた場合での発光波長域を広げることができ、眼の OCT に用いられる 800~900 nm において広い発光波長域を実現することが可能となる。また、量子井戸からの発光さえ得られればよいことから、複数の量子ドット 28 から発光が生じない場合、例えば複数の量子ドット 28 が発光しない材料からなる場合でもよい。この場合、注入電流による量子井戸からの発光強度を強めることができる。勿論、複数の量子ドット 28 から発光させることで、より広い発光波長域を実現するようにしてもよい。

[0036] 量子井戸層 24 と複数の量子ドット 28 との間隔 D が短すぎると、量子井

戸層 2 4 のうち複数の量子ドット 2 8 による歪み場の影響が大きい領域と小さい領域とのサイズバランスが悪くなってしまう。反対に、量子井戸層 2 4 と複数の量子ドット 2 8 の間隔 D が長すぎると、複数の量子ドット 2 8 による歪み場の影響を量子井戸層 2 4 の全領域で一様に受けるようになってしまう。このようなことを踏まえると、量子井戸層 2 4 のバンドギャップエネルギーを適切に変調させる観点から、量子井戸層 2 4 と複数の量子ドット 2 8 との間隔 D は、複数の量子ドット 2 8 それぞれの中心間隔 X の平均値の $1/4$ 以上且つ $3/4$ 以下である場合が好ましく、 $1/3$ 以上且つ $2/3$ 以下である場合がより好ましく、 $2/5$ 以上且つ $3/5$ 以下であることがさらに好ましく、 $1/2$ である場合がもっと好ましい。

[0037] また、量子井戸層 2 4 と複数の量子ドット 2 8 との間の第 2 障壁層 2 2 b の厚さは、量子井戸層 2 4 と複数の量子ドット 2 8 との間でトンネル電流が流れない厚さである場合が好ましい。これにより、量子井戸からの発光強度を高めることができる。

[0038] 量子井戸層 2 4 及び量子ドット 2 8 は III-V 族化合物半導体層で、量子井戸層 2 4 及び量子ドット 2 8 の少なくとも一方は III 族元素として In を含む構成とすることができる。例えば、実施例 1 のように、基板 1 0 が GaAs 層、量子井戸層 2 4 が InGaAs 層、第 1～第 3 障壁層 2 2 a～2 2 c が GaAs 層、複数の量子ドット 2 8 が InAs からなり、量子井戸から $1000\text{ nm} \sim 1200\text{ nm}$ の範囲で発光がなされる構成とすることができる。また、上述したように、量子井戸層 2 4 が GaAs 層からなる場合でもよく、この場合、複数の量子ドット 2 8 として例えば AlInAs を用いることができる。

[0039] また、例えば、基板 1 0 が GaAs 基板、量子井戸層 2 4 が AlGaInP 層、第 1～第 3 障壁層 2 2 a～2 2 c が AlGaInP 層、複数の量子ドット 2 8 が InP からなり、量子井戸から $630\text{ nm} \sim 850\text{ nm}$ の範囲で発光がなされる場合でもよい。例えば、基板 1 0 が InP 基板、量子井戸層 2 4 が InGaAsP 層と AlInGaAs 層、第 1～第 3 障壁層 2 2 a～

22cがInGaAsP層とAlGaInGaAs層、複数の量子ドット28がInAsからなり、量子井戸から1200nm～1700nmの発光がなされる場合でもよい。例えば、量子井戸層24及び量子ドット28の少なくとも一方がV族元素として窒素（N）を含む場合でもよく、基板10がGaN基板、量子井戸層24がInGaN層、第1～第3障壁層22a～22cがAlGaN層、複数の量子ドット28がInNからなり、量子井戸から300nm～600nmの発光がなされる場合でもよい。

[0040] 図9は、実施例1の変形例1に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。図9のように、実施例1の変形例1の発光ダイオードの活性層部40は、実施例1と比較して、量子井戸層44と複数の量子ドット48の位置が反対となっている。つまり、第1障壁層42a上に複数の量子ドット48が設けられ、複数の量子ドット48と同じ材料の濡れ層47上にInGaAs層46が設けられている。これら複数の量子ドット48及びInGaAs層46上に、第2障壁層42bが設けられている。第2障壁層42b上に量子井戸層44が設けられ、量子井戸層44上に第3障壁層42cが設けられている。実施例1の変形例1の発光ダイオードのその他の構成は、実施例1と同じであるため説明を省略する。

[0041] 実施例1の変形例1の場合でも、量子井戸層44と複数の量子ドット48との間隔D（即ち、量子井戸層44の下面と複数の量子ドット48の上端との間隔）を、複数の量子ドット48それぞれの中心間隔の平均値よりも小さくすることで、量子井戸からの発光波長幅を広げることができ、広い発光波長域を実現することができる。

[0042] 図10は、実施例1の変形例2に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。図10のように、実施例1の変形例2の発光ダイオードの活性層部50は、実施例1の発光ダイオードの活性層部20と実施例1の変形例1の発光ダイオードの活性層部40とを組み合わせたような構造をしている。つまり、第1障壁層52a上に第1量子井戸層54aが設けられ、第1量子井戸層54a上に第2障壁層52bが設けられている。第2障壁層52b

上に複数の量子ドット 5 8 が設けられ、複数の量子ドット 5 8 と同じ材料の濡れ層 5 7 上に InGaAs 層 5 6 が設けられている。これら複数の量子ドット 5 8 及び InGaAs 層 5 6 上に、第 3 障壁層 5 2 c が設けられている。第 3 障壁層 5 2 c 上に第 2 量子井戸層 5 4 b が設けられ、第 2 量子井戸層 5 4 b 上に第 4 障壁層 5 2 d が設けられている。実施例 1 の変形例 2 の発光ダイオードのその他の構成は、実施例 1 と同じであるため説明を省略する。

[0043] 実施例 1 の変形例 2 の場合でも、第 1 量子井戸層 5 4 a と複数の量子ドット 5 8 との間隔 D_1 及び第 2 量子井戸層 5 4 b と複数の量子ドット 5 8 との間隔 D_2 を、複数の量子ドット 5 8 それぞれの中心間隔の平均値よりも小さくする。これにより、量子井戸からの発光波長幅を広げることができ、広い発光波長域を実現することができる。

[0044] また、活性層部 5 0 が複数の量子井戸層（第 1 量子井戸層 5 4 a と第 2 量子井戸層 5 4 b）を含む場合、第 1 量子井戸層 5 4 a と第 2 量子井戸層 5 4 b の厚さは互いに異なる場合が好ましい。これにより、より広い発光波長域を実現することができる。

[0045] 図 1 1 は、実施例 1 の変形例 3 に係る発光ダイオードの活性層部を示す断面図である。図 1 1 のように、実施例 1 の変形例 3 の発光ダイオードの活性層部 6 0 は、実施例 1 の変形例 2 の発光ダイオードの活性層部 5 0 の上側及び下側に、さらに複数の量子ドットを設けたような構造をしている。つまり、第 1 障壁層 6 2 a 上に複数の第 1 量子ドット 6 8 a が設けられ、複数の第 1 量子ドット 6 8 a と同じ材料の第 1 濡れ層 6 7 a 上に第 1 InGaAs 層 6 6 a が設けられている。これら複数の第 1 量子ドット 6 8 a 及び第 1 InGaAs 層 6 6 a 上に、第 2 障壁層 6 2 b が設けられている。第 2 障壁層 6 2 b 上に第 1 量子井戸層 6 4 a が設けられ、第 1 量子井戸層 6 4 a 上に第 3 障壁層 6 2 c が設けられている。第 3 障壁層 6 2 c 上に複数の第 2 量子ドット 6 8 b が設けられ、複数の第 2 量子ドット 6 8 b と同じ材料の第 2 濡れ層 6 7 b 上に第 2 InGaAs 層 6 6 b が設けられている。これら複数の第 2 量子ドット 6 8 b 及び第 2 InGaAs 層 6 6 b 上に、第 4 障壁層 6 2 d が

設けられている。第4障壁層62d上に第2量子井戸層64bが設けられ、第2量子井戸層64b上に第5障壁層62eが設けられている。第5障壁層62e上に複数の第3量子ドット68cが設けられ、複数の第3量子ドット68cと同じ材料の第3濡れ層67c上に第3InGaAs層66cが設けられている。これら複数の第3量子ドット68c及び第3InGaAs層66c上に、第6障壁層62fが設けられている。

[0046] 実施例1の変形例3の場合でも、第1量子井戸層64aと複数の第1量子ドット68aとの間隔D1を、複数の第1量子ドット68aそれぞれの中心間隔の平均値よりも小さくする。第1量子井戸層64aと複数の第2量子ドット68bとの間隔D2及び第2量子井戸層64bと複数の第2量子ドット68bとの間隔D3を、複数の第2量子ドット68bそれぞれの中心間隔の平均値よりも小さくする。第2量子井戸層64bと複数の第3量子ドット68cとの間隔D4を、複数の第3量子ドット68cそれぞれの中心間隔の平均値よりも小さくする。これにより、量子井戸からの発光波長幅を広げることができ、広い発光波長域を実現することができる。また、第1量子井戸層64aと第2量子井戸層64bの厚さを互いに異ならせることで、より広い発光波長域を実現することができる。

[0047] 実施例1では、下部クラッド層がn型半導体で、上部クラッド層がp型半導体の場合を例に示したが、反対の場合、即ち下部クラッド層がp型半導体で、上部クラッド層がn型半導体の場合でもよい。

[0048] 以上、発明の好ましい実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

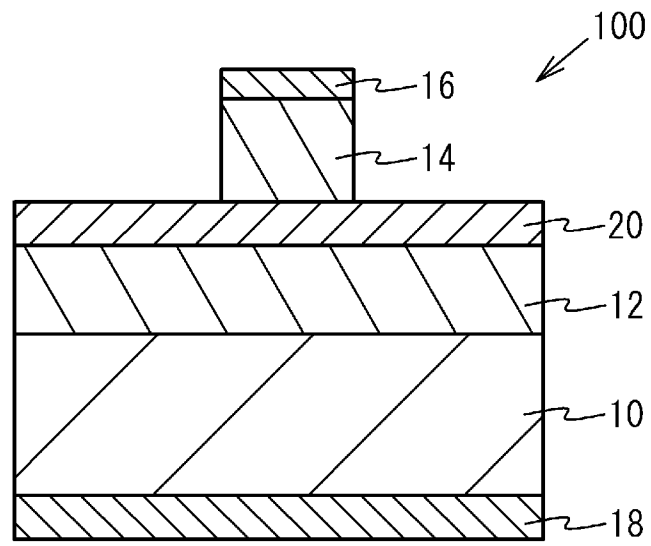
請求の範囲

- [請求項1] 基板上に設けられた下部クラッド層と、
 前記下部クラッド層上に設けられ、量子井戸層と、前記量子井戸層との間に障壁層を挟んで配置された複数の量子ドットと、を含む活性層部と、
 前記活性層部上に設けられた上部クラッド層と、を備え、
 前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間隔は、前記複数の量子ドットそれぞれの中心間の間隔の平均値よりも小さいことを特徴とする半導体発光素子。
- [請求項2] 前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間隔は、前記複数の量子ドットそれぞれの中心間の間隔の平均値の $1/3$ 以上且つ $2/3$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。
- [請求項3] 前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間の前記障壁層の厚さは、前記量子井戸層と前記複数の量子ドットとの間でトンネル電流が流れない厚さであることを特徴とする請求項1または2記載の半導体発光素子。
- [請求項4] 前記量子井戸層は、前記基板の上面に平行な方向において、前記複数の量子ドットによる歪み場の影響によって、バンドギャップエネルギーが変調されていることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項記載の半導体発光素子。
- [請求項5] 前記量子井戸層及び前記量子ドットはⅢ-Ⅴ族化合物半導体層であり、前記量子井戸層及び前記量子ドットの少なくとも一方はⅢⅠ族元素としてⅢnを含むことを特徴とする請求項1から4のいずれか一項記載の半導体発光素子。
- [請求項6] 前記量子井戸層はⅢnGaAs層で、前記量子ドットはⅢnAsであることを特徴とする請求項5記載の半導体発光素子。
- [請求項7] 前記量子井戸層はGaAs層で、前記量子ドットはAlⅢnAsであることを特徴とする請求項5記載の半導体発光素子。

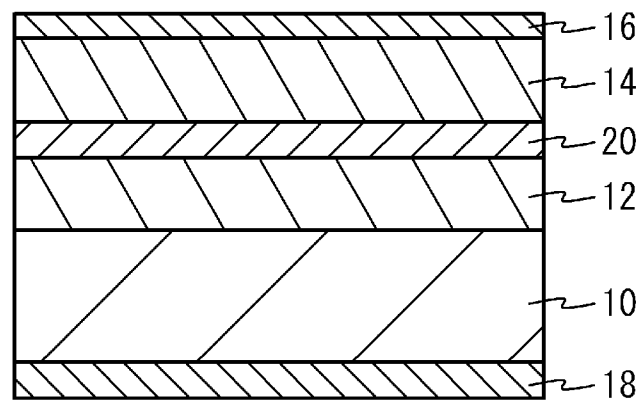
[請求項8] 前記量子井戸層及び前記量子ドットの少なくとも一方はⅤ族元素として窒素を含むことを特徴とする請求項5記載の半導体発光素子。

[請求項9] 前記活性層部は複数の前記量子井戸層を含み、
前記複数の量子井戸層の厚さは、互いに異なることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項記載の半導体発光素子。

[図1]

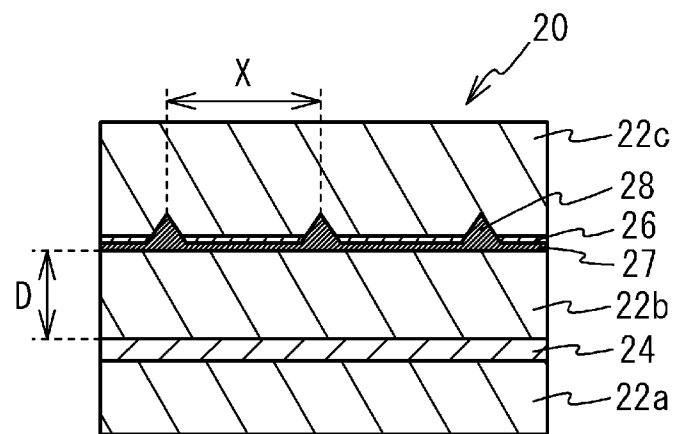


(a)

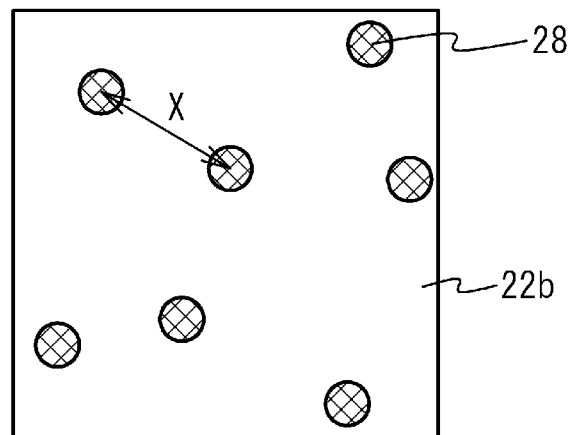


(b)

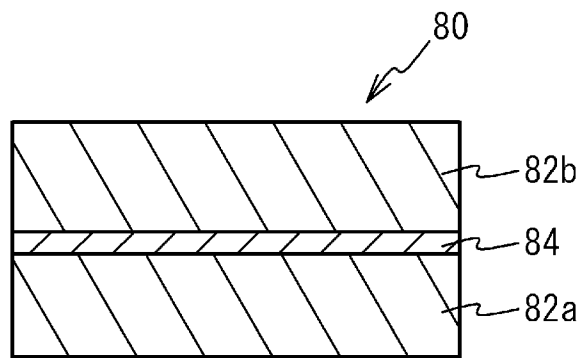
[図2]



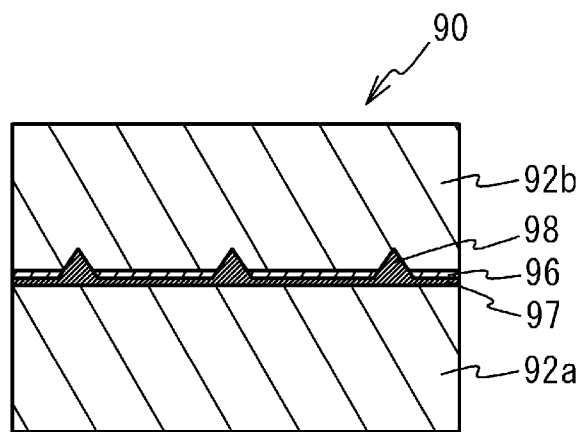
[図3]



[図4]

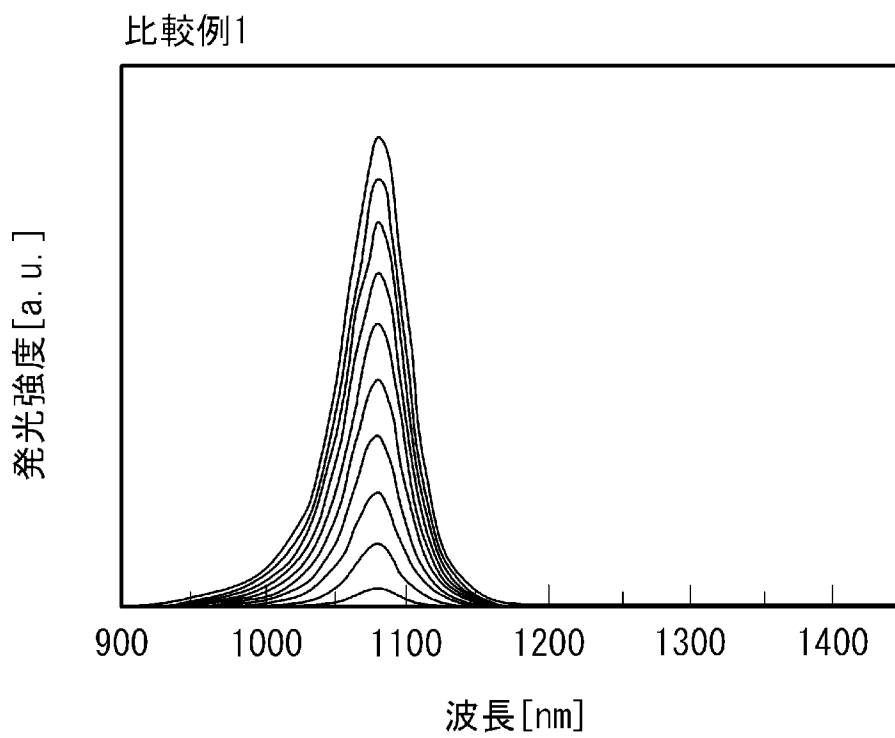


(a)

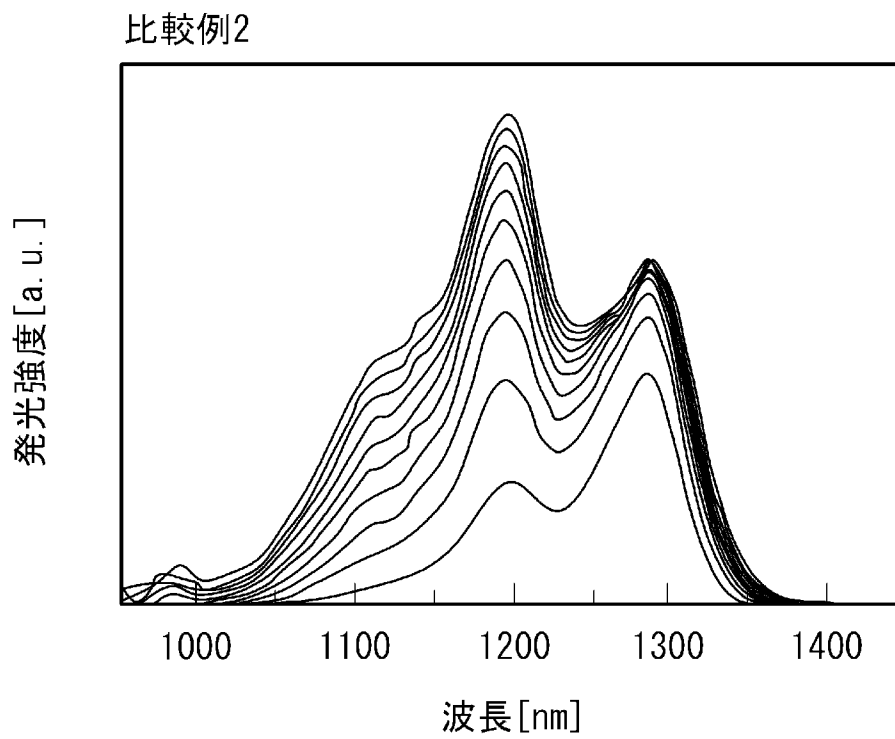


(b)

[図5]

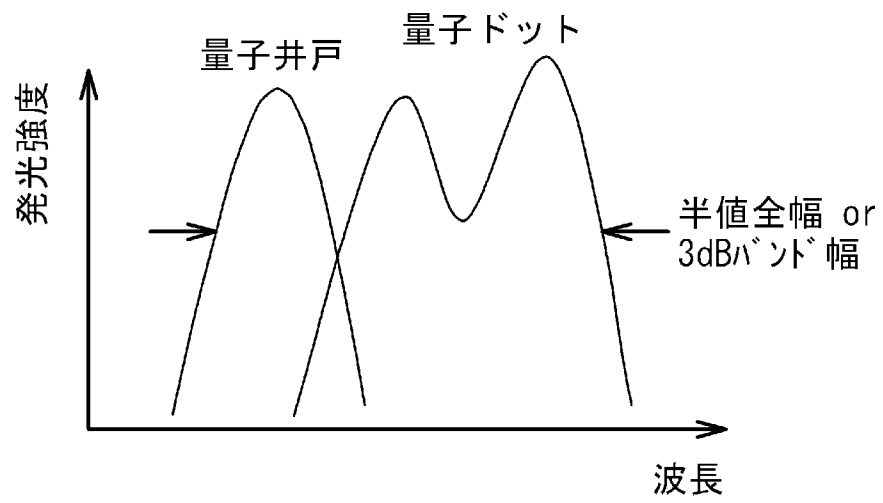


(a)



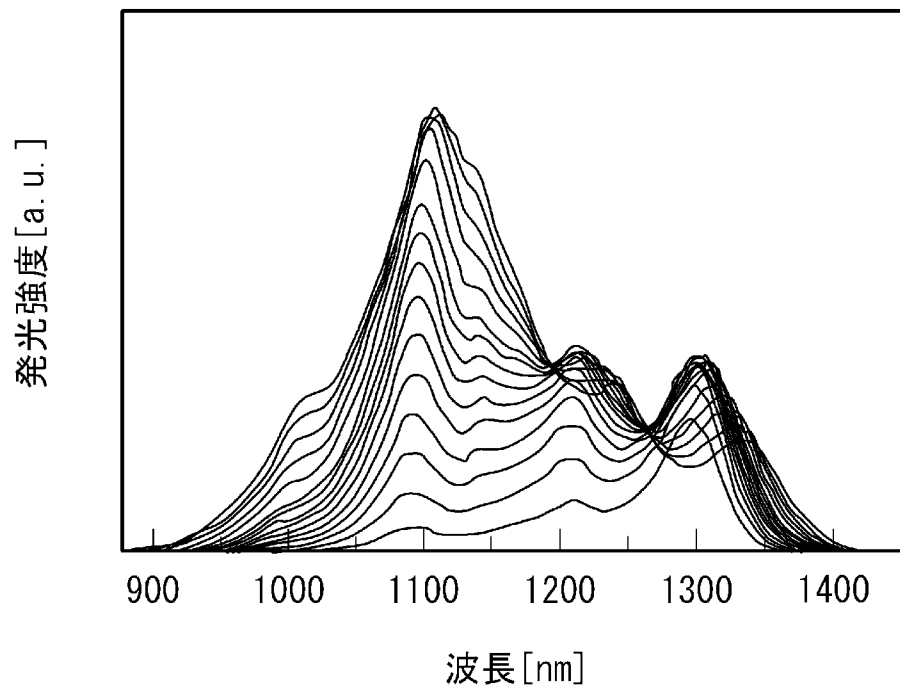
(b)

[図6]



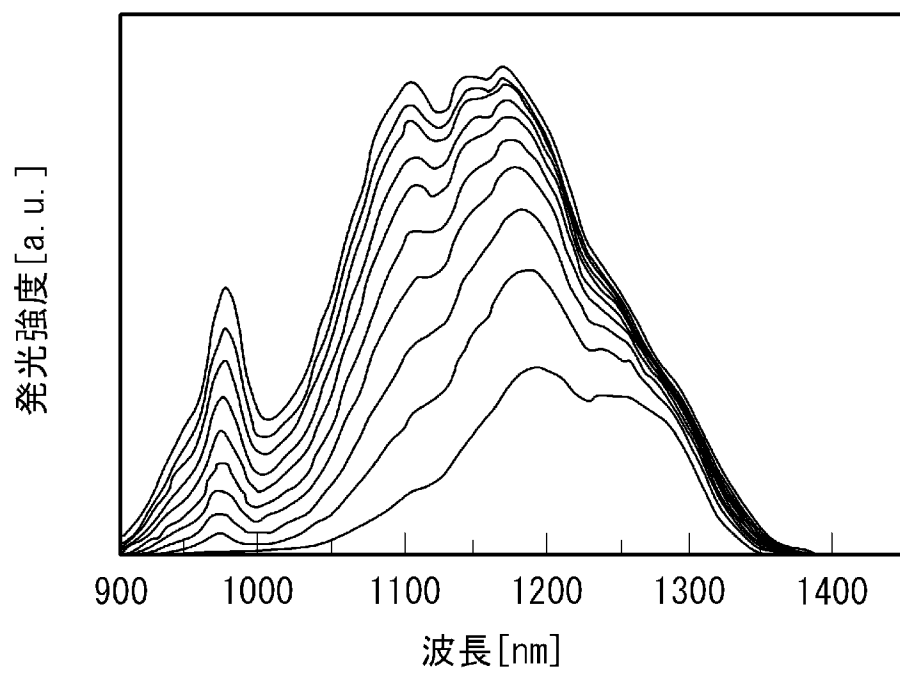
[図7]

実施例1 (サンプル1)



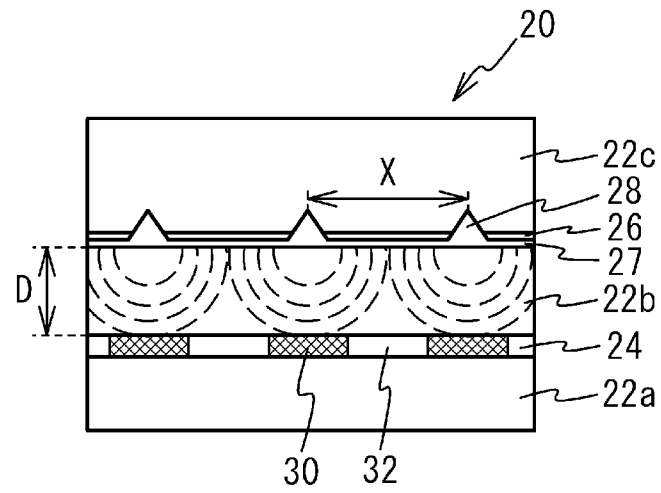
(a)

実施例1 (サンプル2)

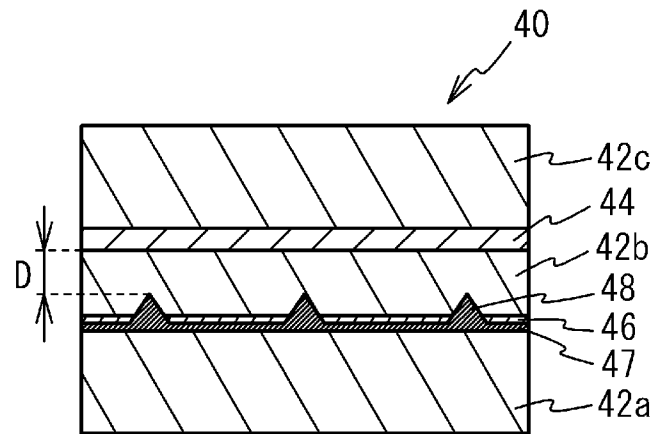


(b)

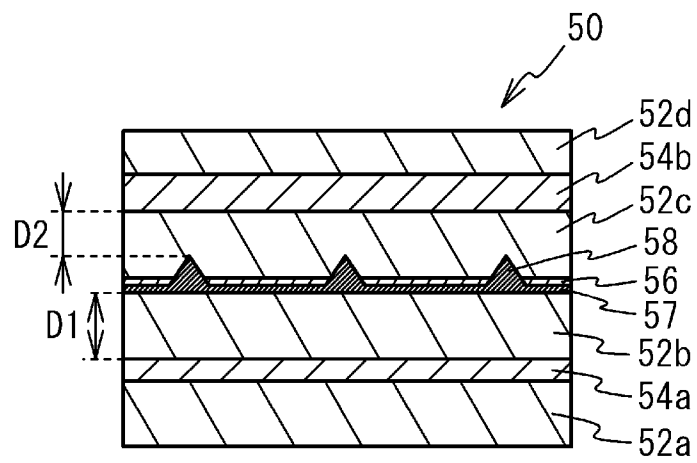
[図8]



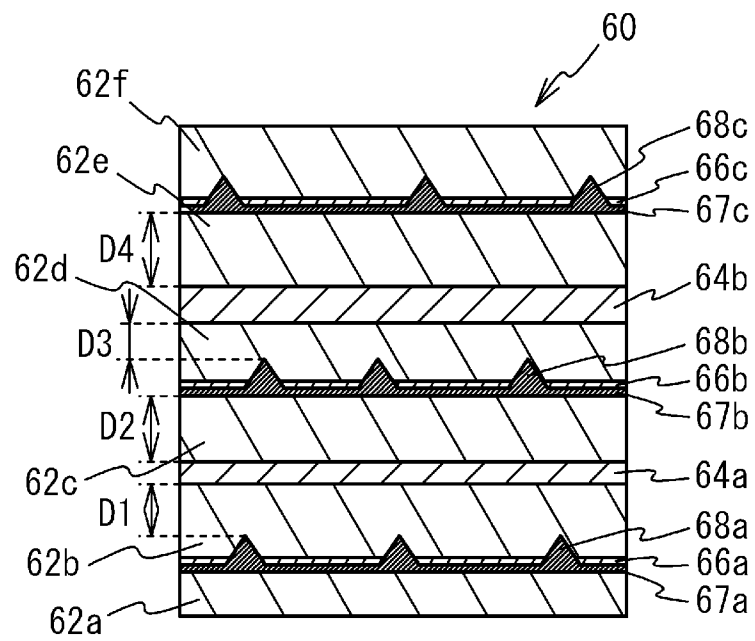
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/050266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/06(2010.01) 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)

H01L33/00-33/64

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

JST7580 (JDreamIII), JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-65143 A (Director General of Technical Research & Development Institute, Ministry of Defense, Fujitsu Ltd.), 26 March 2009 (26.03.2009), entire text; all drawings & US 2010/0032552 A1	1-9
A	JP 2008-78578 A (Toshiba Corp.), 03 April 2008 (03.04.2008), fig. 10 (Family: none)	1-9
A	JP 2005-72338 A (Fujitsu Ltd.), 17 March 2005 (17.03.2005), entire text; all drawings & US 2005/0045868 A1	1-9

☒ 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 April 2015 (03.04.15)

Date of mailing of the international search report
14 April 2015 (14.04.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/050266

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 2012-109434 A (Director General of Technical Research & Development Institute, Ministry of Defense, Fujitsu Ltd.), 07 June 2012 (07.06.2012), paragraph [0060], fig. 11 (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L33/06(2010.01)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（I P C））

Int.Cl. H01L33/00-33/64

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）

JST7580(JDreamIII), JSTPlus(JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-65143 A（防衛省技術研究本部長、富士通株式会社） 2009.03.26, 全文全図 & US 2010/0032552 A1	1-9
A	JP 2008-78578 A（株式会社東芝）2008.04.03, 図10（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2005-72338 A（富士通株式会社）2005.03.17, 全文全図 & US 2005/0045868 A1	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 4 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

村井 友和

2 K

3 2 0 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2012-109434 A (防衛省技術研究本部長、富士通株式会社) 2012.06.07, [0060]図 11 (ファミリーなし)	1-9