

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7684792号
(P7684792)

(45)発行日 令和7年5月28日(2025.5.28)

(24)登録日 令和7年5月20日(2025.5.20)

(51)国際特許分類

G 0 2 F	1/017(2006.01)	G 0 2 F	1/017	5 0 6
G 0 2 F	1/29 (2006.01)	G 0 2 F	1/29	

F I

請求項の数 16 (全19頁)

(21)出願番号	特願2020-145979(P2020-145979)	(73)特許権者	390019839 三星電子株式会社 Samsung Electronics Co., Ltd. 大韓民国京畿道水原市靈通区三星路 12 9
(22)出願日	令和2年8月31日(2020.8.31)		
(65)公開番号	特開2021-51295(P2021-51295A)		
(43)公開日	令和3年4月1日(2021.4.1)		
審査請求日	令和5年7月20日(2023.7.20)		
(31)優先権主張番号	10-2019-0116875		
(32)優先日	令和1年9月23日(2019.9.23)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	韓国(KR)		
前置審査		(74)代理人	110000671 IBC一一番町弁理士法人
		(72)発明者	李斗鉉 大韓民国京畿道水原市靈通区三星路 13 0 三星綜合技術院内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光変調素子、それを含むビームステアリング装置、及びビームステアリング装置を含む電子装置

(57)【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

入射光の強度を増幅して位相を変調する光変調素子において、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第1反射率R_bを有する第1DBR層と、

前記第1DBR層上に設けられ、井戸層及び第1バリア層が交互に積層されて形成された積層構造の量子井戸構造を含み、前記井戸層の内部には、少なくとも1つの量子点が設けられる活性層と、

前記活性層上に設けられ、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第2反射率R_fを有する第2DBR層と、

前記第1DBR層と前記第2DBR層との間に電流を印加し、前記活性層の屈折率及び利得を独立して調節するプロセッサと、

を含み、

前記少なくとも1つの量子点のバンドギャップエネルギーは、前記井戸層のバンドギャップエネルギーよりも小さく、

前記活性層は、所定値以上の印加電流においては、飽和利得を有し、

前記プロセッサは、飽和利得以下の範囲で印加電流を変化させることにより、前記活性層の屈折率及び前記活性層の利得を調整し、

前記プロセッサは、飽和利得を超える範囲で前記活性層の屈折率を変化させることにより、前記活性層の屈折率を独立して調整する、光変調素子。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つの量子点は、 $G_s^2 * R_f * R_b < 1$ の条件を満足する单一利得 G_s を有する、請求項 1 に記載の光変調素子。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの量子点は、 $G_s^2 > 1 / R_b$ の条件を満足する单一利得 G_s を有する、請求項 1 に記載の光変調素子。

【請求項 4】

前記井戸層の内部には、複数個の量子点が設けられる、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の光変調素子。

【請求項 5】

前記積層構造は、複数層である、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光変調素子。

10

【請求項 6】

前記活性層は、

複数層の前記積層構造を有する第 1 マルチ積層構造、及び複数層の前記積層構造を有する第 2 マルチ積層構造を含む、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光変調素子。

【請求項 7】

前記第 1 マルチ積層構造と前記第 2 マルチ積層構造との間には、第 2 バリア層がさらに設けられる、請求項 6 に記載の光変調素子。

【請求項 8】

前記第 2 バリア層の厚みは、前記第 1 バリア層の厚みよりさらに厚い、請求項 7 に記載の光変調素子。

20

【請求項 9】

前記量子点のバンドギャップエネルギーは、前記入射光のエネルギーと同一である、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の光変調素子。

【請求項 10】

前記第 1 反射率 R_b は、前記第 2 反射率 R_f より大きい、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調素子。

【請求項 11】

前記第 2 D B R 層上に、複数個のメタ構造物が設けられている、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の光変調素子。

30

【請求項 12】

複数個の前記メタ構造物のうち少なくとも 2 つは、互いに異なる屈折率を有する、請求項 11 に記載の光変調素子。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の光変調素子を複数個配置して形成した光変調素子アレイと、

複数個の前記光変調素子の屈折率を独立して制御するように構成される制御回路と、を含むビームステアリング装置。

【請求項 14】

複数個の前記光変調素子の量子点の分布密度は、いずれも同一である、請求項 13 に記載のビームステアリング装置。

40

【請求項 15】

前記制御回路は、隣接した 2 つの光変調素子と連結される 1 つの C M O S 素子を複数個含む、請求項 13 または 14 に記載のビームステアリング装置。

【請求項 16】

光源と、

前記光源から入射された光の進行方向を調節して被写体に向ける請求項 13 ~ 15 のいずれか 1 項に記載のビームステアリング装置と、

前記被写体からの光を受信するセンサと、

前記センサが受信した光を分析するプロセッサと、を含む電子装置。

50

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光変調素子、それを含むビームステアリング装置、及びビームステアリング装置を含む電子装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

入射光の透過／反射、偏光、位相、強度、経路などを変更させる光変調素子は、多様な光学装置において活用される。また、光学装置内において、所望方式で、前述の光の性質を制御するために、多様な構造の光変調素子が提示されている。

10

【0003】

そのような例として、光学的異方性を有する液晶、光遮断／反射要素の微小機械的動きを利用するMEMS (microelectromechanical system) 構造などが一般的な光変調素子に汎用されている。そのような光変調素子は、その駆動方式の特性上、動作応答時間が数μs以上である。また、OPA (optical phased array) 方式を利用し、さまざまなピクセル、またはウェーブガイド (waveguide) 形態の光線束の干渉を利用し、光の位相を変調する方式がある。このとき、ピクセルまたはウェーブガイドは、電気的、熱的に制御し、光の位相を調節することになる。

【0004】

機械的動きを利用するMEMS構造を利用する場合、光変調素子の嵩が大きくなり、価格上昇の問題がある。さらに、振動などのイシューにより、応用が制限されてしまう。

20

【0005】

OPA方式での制御方法においては、ピクセルごとまたはウェーブガイドごとに、駆動ピクセルがなければならず、ピクセル駆動部のための駆動ドライバがなければならないので、回路及び素子が複雑になり、工程価格が上昇する。

【0006】

最近では、メタ表面 (meta surface) を光変調素子に適用する試みがある。該メタ表面は、入射光の波長より小さい数値が、厚み、パターンまたは周期などに適用された構造である。例えば、可変の光学性質 (例えば、屈折率) を有し、多重量子井戸構造を有する半導体物質基盤のチューナブルメタ表面を利用した光学装置は、光通信から光センシングに至るまで多様な技術分野で使用される。

30

【0007】

例えば、チューナブルメタ表面を利用した光変調素子は、1対の分布プラグ反射鏡 (DBR: distributed Bragg reflector) 間に半導体物質層が設けられたサンドイッチ構造によって形成されたファブリ・ペロー (Fabry-Pérot) 共振器構造を含む。

【0008】

1対のDBR及び半導体物質層によって形成されたファブリ・ペロー共振器構造を利用して光を変調させる光変調素子は、損失を有する光学材料を含む。一般的に、高位相変調のためには、共振が大きい構造を利用するが、そのとき、光損失も、共に大きくなり、光変調素子の効率が低くなってしまう。

40

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0009】**

本発明の多様な実施形態を介して、量子点を含む活性層によって飽和利得を有する光変調素子を提供する。

【0010】

本発明の多様な実施形態を介して、飽和利得を有する光変調素子を含むビームステアリング装置、及びそれを含む電子装置を提供する。

50

【課題を解決するための手段】

【0011】

一実施形態は、

入射光の強度を増幅して位相を変調する光変調素子を提供する。

【0012】

前記光変調素子は、

屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第1反射率R_bを有する第1DBR層、前記第1DBR層上に設けられ、井戸層及び第1バリア層が交互に積層されて形成された積層構造の量子井戸構造を含み、前記井戸層の内部には少なくとも1つの量子点が設けられる活性層、並びに前記活性層上に設けられ、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第2反射率R_fを有する第2DBR層を含んでもよい。10

【0013】

前記少なくとも1つの量子点は、 $G_s^2 * R_f * R_b < 1$ の条件を満足する单一利得G_sを有することができる。

【0014】

前記少なくとも1つの量子点は、 $G_s^2 > 1 / R_b$ の条件を満足する单一利得G_sを有することができる。

【0015】

前記井戸層の内部には、複数個の量子点が設けられてもよい。

20

【0016】

前記積層構造は、複数個もある。

【0017】

前記活性層は、複数層の前記積層構造を有する第1マルチ積層構造、及び複数層の前記積層構造を有する第2マルチ積層構造を含んでもよい。

【0018】

前記第1マルチ積層構造及び前記第2マルチ積層構造の間には、第2バリア層がさらに設けられてもよい。

【0019】

前記第2バリア層の厚みは、前記第1バリア層の厚みよりもさらに厚い。

30

【0020】

前記量子点のバンドギャップエネルギーは、前記入射光のエネルギーと同一である。

【0021】

前記活性層は、所定値以上の印加電流においては、飽和利得を有することができる。

【0022】

前記第1反射率R_bは、前記第2反射率R_fよりも大きくなる。

【0023】

前記光変調素子は、

前記第1DBR層及び前記第2DBR層の間に電流を印加し、前記活性層の屈折率及び利得を独立して調節するプロセッサをさらに含んでもよい。

40

【0024】

前記第2DBR層上に複数個のメタ構造物が設けられてもよい。

【0025】

複数個の前記メタ構造物のうち少なくとも2つは、互いに異なる屈折率を有することができる。

【0026】

前記第1DBR層上には、第1コンタクト層が設けられ、前記第2DBR層上には、第2コンタクト層が設けられてもよい。

【0027】

他の一実施形態は、

50

前記光変調素子を複数個配置して形成した光変調素子アレイ、及び複数個の前記光変調素子の屈折率を独立して制御するように構成される制御回路を含むビームステアリング装置を提供する。

【0028】

複数個の前記光変調素子の量子点の分布密度は、いずれも同一でもある。

【0029】

前記制御回路は、隣接した2つの光変調素子と連結される1つのC M O S 素子を複数個含んでもよい。

【0030】

他の一実施形態は、

光源、前記光源から入射された光の進行方向を調節して被写体に向ける前記ビームステアリング装置、前記被写体からの光を受信するセンサ、及び前記センサが受信した光を分析するプロセッサを含む電子装置を提供することができる。

【0031】

前記少なくとも1つの量子点は、 $1 / R_b < G_s^2 < 1 / (R_f * R_b)$ の条件を満足する単一利得 G_s を有することができる。

【発明の効果】

【0032】

本発明の多様な実施形態による飽和利得を有する光変調素子を利用し、光の位相と強度とを独立して制御することができる。

【0033】

本発明の多様な実施形態による飽和利得を有する光変調素子を含むビームステアリング装置を利用し、光の進行方向をさらに効率的に調節することができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】一実施形態による光変調素子の構成を簡略に示す側断面図である。

【図2】図1の光変調素子の特性を示すグラフである。

【図3】図1の光変調素子において、密度反転が起こる過程を簡略に示した図面である。

【図4】図1の光変調素子において、誘導放出が起こる過程を簡略に示した図面である。

【図5】図1の光変調素子において、屈折率が変化する過程を簡略に示した図面である。

【図6】他の一実施形態による光変調素子の構成を簡略に示す側断面図である。

【図7】さらに他の一実施形態による光変調素子の構成を簡略に示す側断面図である。

【図8】さらに他の一実施形態による光変調素子の構成を簡略に示す側断面図である。

【図9】一実施形態による光変調素子アレイの構成を簡略に示す側断面図である。

【図10】図9の光変調素子アレイを制御する制御回路の構成を簡略に示す側断面図である。

【図11】一実施形態によるビームステアリング装置を簡略に示す側断面図である。

【図12】一実施形態による電子装置の概略的な構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下では、添付した図面を参照し、多様な実施形態による光変調素子、それを含むビームステアリング装置、及びビームステアリング装置を含む電子装置について詳細に説明する。図面において、同一参照符号は、同一構成要素を指し、各構成要素の大きさや厚みは、説明の明瞭性のために誇張されもいる。

【0036】

第1、第2のような用語は、多様な構成要素の説明に使用されうるが、該構成要素は、該用語によって限定されるものではない。該用語は、1つの構成要素を他の構成要素から区別する目的のみに使用される。光変調素子、それを含むビームステアリング装置、及びビームステアリング装置を含む電子装置は、さまざまに異なる形態にも具現され、ここで説明する実施形態に限定されるものではない。

10

20

30

40

50

【0037】

明細書全体において、ある部分がある構成要素を「含む」とするとき、それは、特別に反対となる記載がない限り、他の構成要素を除くものではなく、他の構成要素をさらに含んでもよいということを意味する。

【0038】

図1は、一実施形態による光変調素子1100の構成を簡略に示すブロック図である。

図2は、図1の光変調素子1100の特性を示すグラフである。

【0039】

図1を参照すれば、光変調素子1100は、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第1反射率R_bを有する第1DBR(distributed Bragg reflector)層100、第1DBR層100上に設けられ、井戸層202及び第1バリア層201が交互に積層されて形成された積層構造の量子井戸構造を含み、井戸層202内部には、少なくとも1つの量子点203が設けられる活性層200、並びに活性層200上に設けられ、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第2反射率R_fを有する第2DBR層300を含んでもよい。また、第1DBR層100上には、第1コンタクト層400が設けられ、第2DBR層300上には、第2コンタクト層500が設けられてよい。例えば、第1DBR層100下部には、第1コンタクト層400が設けられ、第2DBR層300上部には、第2コンタクト層500が設けられてもよい。

10

【0040】

光変調素子1100は、入射光ILの強度を増幅することができる。それにより、出力光OLは、入射光ILに比較し、その強度が大きくなる。また、光変調素子1100は、入射光ILの位相を変調することができる。それにより、出力光OLの進行方向を、入射光ILの入射角と係わりなく、所望方向に向けるように調節することができる。光変調素子1100の入射光ILに対する増幅機能及び位相変調機能については、図面を参照して後述する。

20

【0041】

第1DBR層100と第2DBR層300は、ファブリ・ペロー(Fabry-Pérot)共振器を形成することができる。外部から第2DBR層300に入射する入射光ILは、第1DBR層100と第2DBR層300との間で共振することができる。そのとき、第1DBR層100の第1反射率R_bは、第2DBR層300の第2反射率R_fよりも大きくなる。それにより、第1DBR層100と第2DBR層300との間で共振した光は、第2DBR層300を介して外部にも出力される。また、第1DBR層100の第1反射率R_bが第2DBR層300の第2反射率R_fより大きい値を有することにより、入射光ILの位相変化が360°範囲で起こることができる。

30

【0042】

第1DBR層100及び第2DBR層300は、高反射率を有する鏡の役割を行い、屈折率が互いに異なる2つの物質層の対を含んでもよい。例えば、第1DBR層100及び第2DBR層300は、相対的に低い屈折率の低屈折率層10と、相対的に高い屈折率の高屈折率層11とが交互に積層された構造を含んでもよい。例えば、第1DBR層100及び第2DBR層300は、反復的に交互に積層されたAlAs/Al_{0.5}Ga_{0.5}As構造またはAl_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.3}Ga_{0.7}As構造を含んでもよい。しかし、それらに限定されるものではなく、AlとGaとの比率は、変わりもする。また、第1DBR層100及び第2DBR層300の低屈折率層10及び高屈折率層11は、前述の例示と全く異なる物質を含んでもよい。そのような構造の第1DBR層100及び第2DBR層300に特定波長の光が入射する場合、低屈折率層10と高屈折率層11との境界面で反射が起こる。そのとき、反射する全ての光の位相差を同一にし、反射光の補強干渉を起こすことにより、高反射率を得ることができる。そのため、低屈折率層10と高屈折率層11との光学的厚み(層の物理的厚みに、層の屈折率を乗じた値)を、それぞれ / 4 (/ 4 は、入射される光の波長)の奇数倍にも形成することができる。第1DBR

40

50

層 1 0 0 及び第 2 D B R 層 3 0 0 は、低屈折率層 1 0 及び高屈折率層 1 1 の対の反復される回数が増えるほど、高反射率を有することになる。例えば、第 1 D B R 層 1 0 0 での低屈折率層 1 0 及び高屈折率層 1 1 の対の反復回数が、第 2 D B R 層 3 0 0 での低屈折率層 1 0 及び高屈折率層 1 1 の対の反復回数よりも多い。それにより、第 1 D B R 層 1 0 0 の第 1 反射率 R_b は、第 2 D B R 層 3 0 0 の第 2 反射率 R_f よりも大きくなる。

【 0 0 4 3 】

活性層 2 0 0 は、量子井戸構造を有する半導体物質を含んでもよい。例えば、活性層 2 0 0 は、井戸層 2 0 2 及び第 1 バリア層 2 0 1 が交互に積層されて形成された積層構造を含んでもよい。また、井戸層 2 0 2 は、1 対の第 1 バリア層 2 0 1 間にも設けられる。第 1 バリア層 2 0 1 のバンドギャップエネルギーは、井戸層 2 0 2 のバンドギャップエネルギーよりも大きくなる。井戸層 2 0 2 が接している第 1 バリア層 2 0 1 より比較的さらに小さいバンドギャップエネルギーを有することにより、井戸層 2 0 2 内において、電子と正孔とが量子化されたエネルギーレベルを有することができる。例えば、第 1 バリア層 2 0 1 は、G a A s を含んでもよく、井戸層 2 0 2 は、I n G a A s を含んでもよい。しかし、それらに限定されるものではなく、第 1 バリア層 2 0 1 及び井戸層 2 0 2 は、先立って例示した物質と異なる物質を含んでもよい。また、活性層 2 0 0 に電流が印加されることにより、活性層 2 0 0 の屈折率が変わりもする。それにより、入射光 I_L と出力光 O_L との位相は、互いに異なりもする。言い換えれば、活性層 2 0 0 の屈折率が変わることにより、光変調素子 1 1 0 0 を通過した光の進行方向が変わる。

【 0 0 4 4 】

活性層 2 0 0 は、量子点 2 0 3 をさらに含んでもよい。例えば、井戸層 2 0 2 の内部には、少なくとも 1 つの量子点 2 0 3 が設けられてもよい。しかし、それに限定されるものではなく、井戸層 2 0 2 の内部には、複数個の量子点 2 0 3 が設けられてもよい。量子点 2 0 3 のバンドギャップエネルギーは、井戸層 2 0 2 のバンドギャップエネルギーよりも小さい。量子点 2 0 3 のバンドギャップエネルギーは、入射光 I_L のエネルギーと同一である。例えば、量子点 2 0 3 は、I n A s を含んでもよい。しかし、それに限定されるものではなく、量子点 2 0 3 は、先立って例示した物質と異なる物質を含んでもよい。

【 0 0 4 5 】

量子点 2 0 3 においては、後述するように、印加される電流によって密度反転が起こる。密度反転が起こった量子点 2 0 3 に特定エネルギーの入射光 I_L が入射されれば、誘導放出 (s t i m u l a t e d e m i s s i o n) が起こる。該誘導放出により、入射光 I_L の強度が増幅される。印加電流が増大するほど、さらに多い誘導放出が起こる。それにより、入射光 I_L の強度の増幅率も、増大加する。しかし、特定電流値以上においては、それ以上誘導放出が増大しないこともあり、それにより、入射光 I_L の強度に対する増幅率は、飽和されもする。入射光 I_L の強度に対する増幅率が飽和される原理については、図 2 を参照して後述する。そのように、入射光 I_L の強度に対する増幅率が飽和された場合は、活性層 2 0 0 が飽和利得を有する場合であると言える。活性層 2 0 0 の飽和利得は、単一利得 G_s を有する量子点 2 0 3 の分布密度によっても決定される。例えば、量子点 2 0 3 の分布密度が高くなるほど、活性層 2 0 0 の飽和利得は、増大する。

【 0 0 4 6 】

量子点 2 0 3 の単一利得 G_s は、 $G_s^2 * R_f * R_b < 1$ の条件を満足することができる。 $G_s^2 * R_f * R_b$ の値が 1 以上の値を有するほど、単一利得 G_s が大きくなることになれば、量子点においては、自発的放出 (s p o n t a n e o u s e m i s s i o n) が起こりうる。すなわち、量子点 2 0 3 の単一利得 G_s の値が必要以上に増大すれば、光変調素子 1 1 0 0 に小さい電流が流れる場合にも、レージング (l a s i n g) が起こる。その場合、光変調素子 1 1 0 0 に光が入射しない場合にも、光変調素子 1 1 0 0 から光が放出される。それにより、光変調素子 1 1 0 0 を、入射光 I_L の位相を変調させるためのビームステアリング素子として活用することができない。

【 0 0 4 7 】

また、量子点 2 0 3 の単一利得 G_s は、 $G_s^2 > 1 / R_b$ の条件を満足することができ

10

20

30

40

50

きる。 G_s^2 の値が $1 / R_b$ 以下の値を有するほど、単一利得 G_s が小さくなることになれば、活性層 200 は、損失を有する。従って、活性層 200 が利得を有するように、量子点 203 の単一利得 G_s が $G_s^2 > 1 / R_b$ の条件を満足するように設計することが望ましい。

【0048】

そのように、量子点 203 の単一利得 G_s が $1 / R_b < G_s^2 < 1 / (R_f * R_b)$ の条件を満足することにより、量子点 203 において、自発的放出によるレージングが発生しないと共に、活性層 200 が利得を有することができる。

【0049】

第 1 コンタクト層 400 は、例えば N 型にドーピングされた N 型コンタクト層でもあり、第 2 コンタクト層 500 は、P 型にドーピングされた P 型コンタクト層もある。図 1 には、第 1 コンタクト層 400 が第 1 DBR 層 100 下部に設けられているように図示されているが、それに限定されるのではない。例えば、第 1 コンタクト層 400 は、活性層 200 と第 1 DBR 層 100 との間にも設けられる。また、図 1 には、第 2 コンタクト層 500 が第 2 DBR 層 300 上部に設けられているように図示されているが、それに限定されるものではない。例えば、第 2 コンタクト層 500 は、活性層 200 と第 2 DBR 層 300 との間にも設けられる。第 1 コンタクト層 400 上及び第 2 コンタクト層 500 上には、電極（図示せず）がさらに設けられてもよい。

10

【0050】

図 2 を参照すれば、光変調素子 1100 から出力される出力光 O_L の強度は、活性層 200 に印加される電流 I が増大することにより、だんだんと増大する。ただし、特定値 I_a 以上の電流においては、それ以上出力光 O_L の強度が増大しない。それにより、活性層 200 は、所定値 I_a 以上の印加電流においては、飽和利得を有することができる。それは、活性層 200 において、誘導放出を起こすことに直接関与する、量子点 203 の伝導帯の基底状態に入ることができる電子の数が限定されているためである。それと異なり、活性層 200 の利得がそれ以上増大しない領域においても、活性層 200 の屈折率は変化することができる。言い換えれば、出力光 O_L の強度がそれ以上増大しない領域においても、入射光 I_L の位相 p は、変化することができる。

20

【0051】

前述のように、光変調素子 1100 は、印加される電流により、飽和利得を有しながらも、入射光の位相を持続的に変化させることができる。そのように、光変調素子 1100 は、利得と屈折率とを独立して制御することができるプロセッサ（図示せず）をさらに含んでもよい。例えば、該プロセッサは、第 1 DBR 層 100 と第 2 DBR 層 300 との間に電流を印加し、活性層 200 の屈折率及び利得を独立して調節することができる。それにより、光変調素子 1100 は、さらに効率的に入射光の進行方向を制御することができる。光変調素子 1100 が、利得と屈折率とを独立して制御する原理については、図 5 を参照して後述する。

30

【0052】

図 3 は、図 1 の光変調素子 1100 において、密度反転が起こる過程を簡略に示したものである。図 4 は、図 1 の光変調素子 1100 において、誘導放出が起こる過程を簡略に示したものである。図 5 は、図 1 の光変調素子 1100 において、屈折率が変化する過程を簡略に示したものである。図 3 ないし図 5 の説明において、図 1 に図示された構成を参考する。図 3 ないし図 5 に図示されているように、第 1 バリア層 a_1 、 a_4 のバンドギャップエネルギー E_b は、井戸層 a_2 のバンドギャップエネルギー E_w よりも大きくなる。また、井戸層 a_2 のバンドギャップエネルギー E_w は、量子点 203 のバンドギャップエネルギー E_d よりも大きくなる。

40

【0053】

図 3 を参照すれば、第 1 DBR 層 100 と第 2 DBR 層 300 との間に印加された電流により、量子点 203 の価電子帯（valence band）に留まっていた電子がエネルギーを得、伝導帯（conduction band）に移動することにより、密度

50

反転が起こる。例えば、量子点 203 の価電子帯に留まっていた電子は、エネルギーを得て、伝導帯の基底状態 S1 にも充填される。例えば、量子点 203 のバンドギャップエネルギー Ed ほどの電流が、第 1 DBR 層 100 と第 2 DBR 層 300との間に印加される場合、量子点 203 の価電子帯の電子がエネルギーを得て、伝導帯に移動して密度反転が起こる。電流を持続的に印加する場合、さらに多数の電子が移動することができ、それにより、密度反転がさらに多く起こることができる。

【0054】

図 4 を参照すれば、密度反転が起こった量子点 203 のバンドギャップエネルギーと同一エネルギーを有する波長の入射光 IL が光変調素子 1100 に入射されれば、誘導放出 (stimulated emission) が起こりながら、入射光 IL の強度が増幅されもする。従って、入射光 IL より強い強度を有する出力光 OL が、光変調素子 1100 から出力されもする。一方、誘導放出は、量子点 203 の伝導帯の基底状態 S1 に充填された電子によっても起こる。前述のように、基底状態 S1 に充填されうる電子の数は、限定されるので、第 1 DBR 層 100 と第 2 DBR 層 300 との間に持続的に電流が印加されても、誘導放出がそれ以上増大加しない。それにより、入射光 IL に対する増幅率も、特定値以上に大きくならなずに飽和される。言い換えれば。活性層 200 は、特定値以上の電流が印加される場合には、飽和利得を有することができる。

【0055】

図 5 を参照すれば、第 1 DBR 層 100 と第 2 DBR 層 300 との間に電流サイズが増大加する間、量子点 a3 及び井戸層 a2 の量子化された複数個のステートにも電子が充填される。前述のように、活性層 200 の利得は、量子点 203 の伝導帯の基底状態 S1 にある電子によっても決定される。それとは別個に、活性層 200 の屈折率は、井戸層 a2 の複数個のステートに充填された電子によっても決定される。例えば、量子点 203 の基底状態 S1 を含んだ複数個のステートに、電子がいずれも充填された後にも、電流が活性層 200 に持続的に印加されれば、井戸層 a2 の複数個のステートにも電子が続けて充填される。井戸層 a2 に充填される電子の数が変わることにより、活性層 200 の屈折率が変わりもする。前述のように、活性層 200 の利得は、印加される電流値が増大加しても、特定値以上の電流が印加される場合には、それ以上増大せず、飽和されることができる。それと異なり、活性層 200 の利得が飽和された状態でも、活性層 200 の屈折率は、活性層 200 に電流が持続的に印加されることにより、続けて変化することができる。そのように、活性層 200 に電流を印加することにより、利得と屈折率とを独立して制御することができる。

【0056】

図 6 は、他の一実施形態による光変調素子 1110 の構成を簡略に示す側断面図である。図 6 の説明において、図 1 と重複される内容は、省略する。

【0057】

図 6 を参照すれば、光変調素子 1110 は、屈折率が互いに異なる 2 層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第 1 反射率 Rb を有する第 1 DBR 層 110、第 1 DBR 層 110 上に設けられ、井戸層 212 及び第 1 バリア層 211 が交互に積層されて形成された積層構造の量子井戸構造を含み、井戸層 212 内部には、少なくとも 1 つの量子点 213 が設けられる活性層 (210)、及び活性層 (210) 上に設けられ、屈折率が互いに異なる 2 層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第 2 反射率 Rf を有する第 2 DBR 層 310 を含んでもよい。また、光変調素子 1110 は、第 1 DBR 層 110 下部に設けられた第 1 コンタクト層 410、及び第 2 DBR 層 310 上部に設けられた第 2 コンタクト層 510 をさらに含んでもよい。しかし、それに限定されるものではなく、第 1 コンタクト層 410 は、活性層 210 と第 1 DBR 層 110 との間にも設けられる。また、第 2 コンタクト層 510 は、活性層 210 と第 2 DBR 層 310 との間にも設けられる。

【0058】

第 1 DBR 層 110 及び第 2 DBR 層 310 は、それぞれ図 1 の第 1 DBR 層 100 及

10

20

30

40

50

び第 2 D B R 層 3 0 0 と実質的に同一構成を有することができる。例えば、第 1 D B R 層 1 1 0 及び第 2 D B R 層 3 1 0 は、相対的に低い屈折率の低屈折率層 1 2 と、相対的に高い屈折率の高屈折率層 1 3 とが交互に積層された構造を含んでもよい。

【 0 0 5 9 】

第 1 コンタクト層 4 1 0 及び第 2 コンタクト層 5 1 0 は、それぞれ図 1 の第 1 コンタクト層 4 0 0 及び第 2 コンタクト層 5 0 0 と実質的に同一構成を有することができる。

【 0 0 6 0 】

活性層 2 1 0 は、量子井戸構造を有する半導体物質を含んでもよい。例えば、活性層 2 1 0 は、井戸層 2 1 2 及び第 1 バリア層 2 1 1 が交互に積層されて形成された複数層の積層構造 S T 1 ないし S T n (n は、自然数である) を含んでもよい。複数層の積層構造 S T 1 ないし S T n の層数が多くなるほど、活性層 2 1 0 の利得が高くなる。10

【 0 0 6 1 】

複数層の積層構造 S T 1 ないし S T n それぞれは、少なくとも 1 つの量子点 2 1 3 を含んでもよい。量子点 2 1 3 は、図 2 の量子点 2 0 3 と実質的に同一構成を有することができる。

【 0 0 6 2 】

図 7 は、さらに他の一実施形態による光変調素子 1 1 2 0 の構成を簡略に示す側断面図である。図 7 の説明において、図 1 と重複される内容は、省略する。

【 0 0 6 3 】

図 7 を参照すれば、光変調素子 1 1 2 0 は、屈折率が互いに異なる 2 層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第 1 反射率 R b を有する第 1 D B R 層 1 2 0 、第 1 D B R 層 1 2 0 上に設けられ、井戸層 2 2 2 及び第 1 バリア層 2 2 1 が交互に積層されて形成された積層構造の量子井戸構造を含み、井戸層 2 2 2 内部には、少なくとも 1 つの量子点 2 2 3 が設けられる活性層 2 2 0 、及び活性層 2 2 0 上に設けられ、屈折率が互いに異なる 2 層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第 2 反射率 R f を有する第 2 D B R 層 3 2 0 を含んでもよい。また、光変調素子 1 1 2 0 は、第 1 D B R 層 1 2 0 下部に設けられた第 1 コンタクト層 4 2 0 、及び第 2 D B R 層 3 2 0 上部に設けられた第 2 コンタクト層 5 2 0 をさらに含んでもよい。しかし、ここに限定されることはない。また、第 1 コンタクト層 4 2 0 は、活性層 2 2 0 と第 1 D B R 層 1 2 0 との間に設けられる。また、第 2 コンタクト層 5 2 0 は、活性層 2 2 0 と第 2 D B R 層 3 2 0 との間に設けられる。2030

【 0 0 6 4 】

第 1 D B R 層 1 2 0 及び第 2 D B R 層 3 2 0 は、それぞれ図 1 の第 1 D B R 層 1 0 0 及び第 2 D B R 層 3 0 0 と実質的に同一構成を有することができる。例えば、第 1 D B R 層 1 2 0 及び第 2 D B R 層 3 2 0 は、相対的に低い屈折率の低屈折率層 1 4 と、相対的に高い屈折率の高屈折率層 1 5 とが交互に積層された構造を含んでもよい。

【 0 0 6 5 】

第 1 コンタクト層 4 2 0 及び第 2 コンタクト層 5 2 0 は、それぞれ図 2 の第 1 コンタクト層 4 0 0 及び第 2 コンタクト層 5 0 0 と実質的に同一構成を有することができる。

【 0 0 6 6 】

活性層 2 2 0 は、量子井戸構造を有する半導体物質を含んでもよい。例えば、活性層 2 2 0 は、井戸層 2 2 2 及び第 1 バリア層 2 2 1 が交互に積層されて形成された複数層の積層構造 S T 1 、 S T 2 、 S T 3 、 S T 4 、 S T 5 、 S T 6 を含んでもよい。図 7 には、 6 層の積層構造 S T 1 、 S T 2 、 S T 3 、 S T 4 、 S T 5 、 S T 6 が図示されているが、それに限定されるものではなく、積層構造は、 6 層以上もある。積層構造 S T 1 、 S T 2 、 S T 3 、 S T 4 、 S T 5 、 S T 6 の層数が多くなるほど、活性層 2 2 0 の利得が高くなる。一方、活性層 2 2 0 は、複数層の積層構造（例えば、第 1 積層構造 S T 1 ないし第 3 積層構造 S T 3 ）を有する第 1 マルチ積層構造 M S 1 、及び複数層の積層構造（例えば、第 4 積層構造 S T 4 ないし第 6 積層構造 S T 6 ）を有する第 2 マルチ積層構造 M S 2 を含んでもよい。しかし、それに限定されるものではなく、 3 より少ないとあるのはそれ4050

より多数の積層構造が第1マルチ積層構造M S 1及び第2マルチ積層構造M S 2にも含まれる。また、図7には、2つのマルチ積層構造が図示されているが、それに限定されるものではなく、活性層220は、2以上のマルチ積層構造を含んでもよい。さらに、第1マルチ積層構造M S 1と第2マルチ積層構造M S 2との間には、第2バリア層224がさらに設けられてもよい。また、第2バリア層224は、第1マルチ積層構造M S 1と第2DBR層320との間、及び第2バリア層224は、第2マルチ積層構造M S 2と第1DBR層120との間にも設けられる。第2バリア層224の厚みは、第1バリア層221の厚みよりもさらに厚い。また、井戸層222は、少なくとも1つの量子点223を含んでもよい。量子点223は、図2の量子点203と実質的に同一構成を有することができる。

【0067】

10

図8は、さらに他の一実施形態による光変調素子1130の構成を簡略に示す側断面図である。図8の説明において、図1と重複される内容は、省略する。

【0068】

図8を参照すれば、光変調素子1130は、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第1反射率Rbを有する第1DBR層130、第1DBR層130上に設けられ、井戸層232及び第1バリア層231が交互に積層されて形成された積層構造の量子井戸構造を含み、井戸層232内部には、少なくとも1つの量子点233が設けられる活性層230、及び活性層230上に設けられ、屈折率が互いに異なる2層の屈折率層が反復的に交互に積層されて形成され、第2反射率Rfを有する第2DBR層330を含んでもよい。また、光変調素子1130は、第1DBR層130下部に設けられた第1コンタクト層430、及び第2DBR層330上部に設けられた第2コンタクト層530をさらに含んでもよい。しかし、それに限定されるものではなく、第1コンタクト層430は、活性層230と第1DBR層130との間に設けられる。また、第2コンタクト層530は、活性層230と第2DBR層330との間に設けられる。

20

【0069】

第1DBR層120及び第2DBR層320は、それぞれ図1の第1DBR層100及び第2DBR層300と同一構成を有することができる。例えば、第1DBR層120及び第2DBR層320は、相対的に低い屈折率の低屈折率層14と、相対的に高い屈折率の高屈折率層15とが交互に積層された構造を含んでもよい。

【0070】

30

第1コンタクト層420及び第2コンタクト層520は、それぞれ図2の第1コンタクト層400及び第2コンタクト層500と実質的に同一構成を有することができる。

【0071】

活性層230は、図1の活性層200と実質的に同一構成を含んでもよい。例えば、活性層230は、井戸層232及び第1バリア層231が交互に積層されて形成された積層構造を含んでもよい。例えば、井戸層232は、1対の第1バリア層231間にも設けられる。さらに、井戸層232は、少なくとも1つの量子点233を含んでもよい。量子点233は、図1の量子点203と同一構成を有することができる。

【0072】

40

さらに、第2DBR層330上部には、複数個のメタ構造物630が設けられてもよい。例えば、複数個のメタ構造物630は、第2DBR層330上に設けられている第2コンタクト層530と直接接触しても形成される。また、第2コンタクト層530が第2DBR層330と活性層230との間に設けられている場合には、複数個のメタ構造物630は、第2DBR層330と直接接触しても形成される。

【0073】

複数個のメタ構造物630は、入射光ILの波長より小さい形状寸法を有することができる。その場合、活性層230により、位相と強度とが変調された入射光ILが出力される前、メタ構造物630を経ながら、再び変調されうる。そのように、メタ構造物630により、入射光ILの位相または強度が二次的にも変調される。メタ構造物630による入射光ILの二次変調程度は、メタ構造物630の形状寸法によっても決定される。

50

【0074】

複数個のメタ構造物 630 の形状寸法は、入射光 IL の波長よりも小さい。例えば、複数個のメタ構造物 630 の高さ、幅、幅、ピッチなどは、入射光 IL の波長よりも小さい。複数個のメタ構造物 630 のうち少なくとも 2 つは、互いに異なる屈折率を有することができる。例えば、複数個のメタ構造物 630 のうち少なくとも 2 つは、互いに異なる高さ、広がり、幅、ピッチなどの形状寸法を有することにより、互いに異なる屈折率を有することができる。

【0075】

図 9 は、一実施形態による光変調素子アレイ 2100 の構成を簡略に示す側断面図である。図 10 は、図 9 の光変調素子アレイ 2100 を制御する制御回路 2200 の構成を簡略に示す側断面図である。図 11 は、一実施形態によるビームステアリング装置 2000 を簡略に示す側断面図である。

10

【0076】

図 9 を参照すれば、光変調素子アレイ 2100 は、基板 2120 上に配置された複数個の光変調素子 2110 を含んでもよい。例えば、複数個の光変調素子 2110 それぞれは、図 1、図 6、図 7 及び図 8 の光変調素子 1100、1110、1120、1130 と実質的に同一である。例えば、複数個の光変調素子 2110 それぞれは、少なくとも 1 つの量子点を含んでもよい。さらに、複数個の光変調素子 2110 それぞれの量子点の分布密度は、いずれも同一である。それにより、複数個の光変調素子 2110 の利得は、いずれも同一である。しかし、それに限定されるものではなく、複数個の光変調素子 2110 それぞれの量子点の分布密度は、互いに異なりもし、それにより、複数個の光変調素子 2110 の利得も、互いに異なりもする。

20

【0077】

図 10 を参照すれば、制御回路 2200 は、複数個のトランジスタ Tr1 ないし Tr4 を含んでもよい。第 1 トランジスタ Tr1 は、基板 sub 上に設けられ、互いに対向しているソース電極 1 及びドレイン電極 2 を含んでもよい。ソース電極 1 及びドレイン電極 2 は、n 型または p 型にもドーピングされる。ソース電極 1 とドレイン電極 2 との間には、チャネル層 3 が形成されうる。チャネル層 3 は、n 型物質または p 型物質を含む領域でもある。例えば、ソース電極 1 及びドレイン電極 2 がいずれも n 型にドーピングされた場合、チャネル層 3 は、p 型物質を含む領域でもある。その場合、第 1 トランジスタ Tr1 は、NMOS とも称される。または、ソース電極 1 及びドレイン電極 2 がいずれも p 型にドーピングされた場合、チャネル層 3 は、n 型物質を含む領域でもある。その場合、第 1 トランジスタ Tr1 は、PMOS とも称される。第 1 トランジスタ Tr1 が NMOS である場合、第 1 トランジスタ Tr1 と隣接した第 2 トランジスタ Tr2 は、PMOS である。その場合、第 1 トランジスタ Tr1 及び第 2 トランジスタ Tr2 は、互いに連結され、CMOS を形成することができる。例えば、第 1 トランジスタ Tr1 及び第 2 トランジスタ Tr2 のドレイン電極 2 が互いに連結されることにより、CMOS が形成されうる。さらに、第 1 トランジスタ Tr1 は、基板 sub 上に、チャネル層 3 と対応する領域に設けられたゲート電極 4 をさらに含んでもよい。ゲート電極 4 とチャネル層 3 との間には、ゲート絶縁膜 5 がさらに設けられてもよい。基板 sub 上には、ゲート電極 4 を覆う絶縁層 7 が設けられてもよい。絶縁層 7 には、複数個のホール H が形成されうる。複数個のホール H には、第 1 電極 E1 または第 2 電極 E2 が形成されうる。複数個の第 1 電極 E1 は、複数個のソース電極 1 と接することができる。また、複数個の第 1 電極 E1 は、絶縁層 7 の外部に露出されるようにも形成される。複数個の第 2 電極 E2 は、複数個のドレイン電極 2 と接することができる。複数個のドレイン電極 2 は、絶縁層 7 内部で互いにも連結される。図 10 には、ドレイン電極 2 同士直接連結されている構成は図示されていないが、ドレイン電極 2 は、他のルートを介して、互いに連結されうる。図 10 の制御回路 2200 は、4 個のトランジスタ Tr1 ないし Tr4 を含んでいるが、それは、説明の便宜のためのものであり、制御回路 2200 は、4 個以上の複数個のトランジスタを含んでもよい。

30

【0078】

40

50

図11を参照すれば、ビームステアリング装置2000は、光変調素子アレイ2100及び制御回路2200を含んでもよい。光変調素子アレイ2100と制御回路2200は、接合部2300を介して、互いに電気的にも連結される。例えば、光変調素子アレイ2100に含まれた複数個の光変調素子と、制御回路2200に含まれた複数個のトランジスタとが一対一対応するように電気的に連結されうる。例えば、第1光変調素子OM1と電気的に連結された第1トランジスタTr1は、NMOSであり、第1光変調素子OM1に隣接した第2光変調素子OM2と電気的に連結された第2トランジスタTr2は、PMOSである。その場合、第1トランジスタTr1及び第2トランジスタTr2は、CMOSを形成することができる。言い換えれば、互いに隣接した第1光変調素子OM1及び第2光変調素子OM2は、第1トランジスタTr1及び第2トランジスタTr2に形成された1つのCMOSと電気的に連結されうる。図10を参照して説明したように、制御回路2200は、複数個のトランジスタを含んでおり、それにより、CMOSも複数個形成されうる。制御回路2200に含まれた複数個のCMOSに印加される電流は互いに異なりもする。それにより、複数個のCMOSと電気的に連結された光変調素子には、互いに異なる電気信号が伝送されうる。結果として、複数個のCMOSを含む制御回路2200は、複数個の光変調素子の特性を独立して制御することができる。例えば、制御回路2200は、複数個の光変調素子の屈折率を独立して制御することができる。その場合、複数個の光変調素子それぞれは、いずれも同一飽和利得を有することができる。それにより、複数個の光変調素子それから出力される光の強度は、一定である。

【0079】

図12は、一実施形態による電子装置3000の概略的な構成を示すブロック図である。

【0080】

図12を参照すれば、電子装置3000は、被写体OBJに向けて光を照射する照明装置3100、被写体OBJから反射された光を受光するセンサ3300、及びセンサ3300で受光した光から、被写体OBJに係わる情報獲得のための演算を行うプロセッサ3200を含んでもよい。電子装置3000は、また、プロセッサ3200の実行のためのコードやデータが保存されるメモリ3400を含んでもよい。

【0081】

照明装置3100は、光源3120、ビームステアリング装置3110を含んでもよい。光源3120は、被写体OBJをスキャニングするためのソース光を発生させることができる。前記ソース光は、パルスレーザでもある。ビームステアリング装置3110は、光源3120からの光の進行方向を変え、被写体OBJを照明するものでもあり、図11のビームステアリング装置2000を含んでもよい。ビームステアリング装置2000に、図1、図6、図7及び図8で説明した光変調素子1100、1110、1120、1130が適用されうるということは、図11を参照して説明した通りである。

【0082】

照明装置3100と被写体OBJとの間には、照明装置3100からの光が被写体OBJに向かうように方向を調節したり、さらなる変調のための光学素子がさらに配置されたりもする。

【0083】

センサ3300は、被写体OBJによって反射された光Lrをセンシングする。センサ3300は、光検出要素のアレイを含んでもよい。センサ3300は、被写体OBJから反射された光を波長別に分析するための分光素子をさらに含んでもよい。

【0084】

プロセッサ3200は、センサ3300で受光(受信)した光から、被写体OBJに係わる情報獲得のための演算を行うことができる。また、プロセッサ3200は、電子装置3000全体の処理及び制御を統括することができる。プロセッサ3200は、被写体OBJに係わる情報を獲得して処理することができる。例えば、プロセッサ3200は、二次元または三次元の映像情報を獲得して処理することができる。プロセッサ3200は、それ以外に、照明装置3100に具備された光源駆動やセンサ3300の動作などを全般

的に制御することができる。例えば、プロセッサ3200は、照明装置3100に含まれた光変調素子に印加される電流の値を演算することができる。プロセッサ3200は、また、被写体OBJから獲得した情報に基づき、ユーザ認証いかんなどを判断することができ、その他のアプリケーションを実行することもできる。

【0085】

メモリ3400には、プロセッサ3200での実行のためのコードが保存されうる。メモリ3400には、それ以外にも、電子装置3000が実行する多様な実行モジュール、及びそれらデータが保存されうる。例えば、プロセッサ3200が被写体OBJの情報獲得のための演算に使用されるプログラムコードが保存され、被写体OBJの情報を活用して実行することができるアプリケーションモジュールなどのコードが保存されうる。また、電子装置3000にさらに具備されうる装置、それを駆動するためのプログラムであり、通信モジュール、カメラモジュール、動画再生モジュール、オーディオ再生モジュールなどがさらに保存されうる。

10

【0086】

プロセッサ3200での演算結果、すなわち、被写体OBJの形状、位置に係わる情報は、必要によっては、他の機器やユニットに伝送されうる。例えば、被写体OBJに係わる情報を使用する他の電子機器の制御部に、被写体OBJに係わる情報が伝送されうる。結果が伝送される他のユニットは、結果を出力するディスプレイ装置やプリンタでもある。それ以外にも、スマートフォン、携帯電話、PDA(personal digital assistant)、ラップトップ(laptop)、PC(personal computer)、多様なウェアラブル機器、及びその他のモバイルまたは非モバイルのコンピュータ装置もあるが、それらに制限されるものではない。

20

【0087】

メモリ3400は、フラッシュメモリタイプ(flash memory type)、ハードディスクタイプ(hard disk type)、マルチメディアカードマイクロタイプ(multimedia card micro type)、カードタイプのメモリ(例えば、SDメモリまたはXDメモリなど)、RAM(random access memory)、SRAM(static random access memory)、ROM(read only memory)、EEPROM(electrically erasable and programmable read only memory)、PROM(programmable read only memory)、磁気メモリ、磁気ディスク、光ディスクなどにもなる。

30

【0088】

電子装置3000は、例えば、携帯用移動通信機器、スマートウォッチ(smart watch)、PDA、ラップトップ、PC、及びその他モバイルまたは非モバイルのコンピュータ装置もあるが、それらに制限されるものではない。また、電子装置3000は、無人自動車、自律走行車、ロボット、ドローンのような自律駆動機器、または事物インターネット機器(Internet of things(IoT)device)もある。

40

【0089】

前述の実施形態は、例示的なものに過ぎず、当該技術分野の当業者であるならば、それから、多様な変形及び均等な他の実施形態が可能であるということを理解することができるであろう。従って、例示的な実施形態による真の技術的保護範囲は、特許請求の範囲に記載された発明の技術的思想によって定められるものである。

【符号の説明】

【0090】

10、12、14、16 低屈折率層

11、13、15、17 高屈折率層

100、110、120、130 第1DBR層

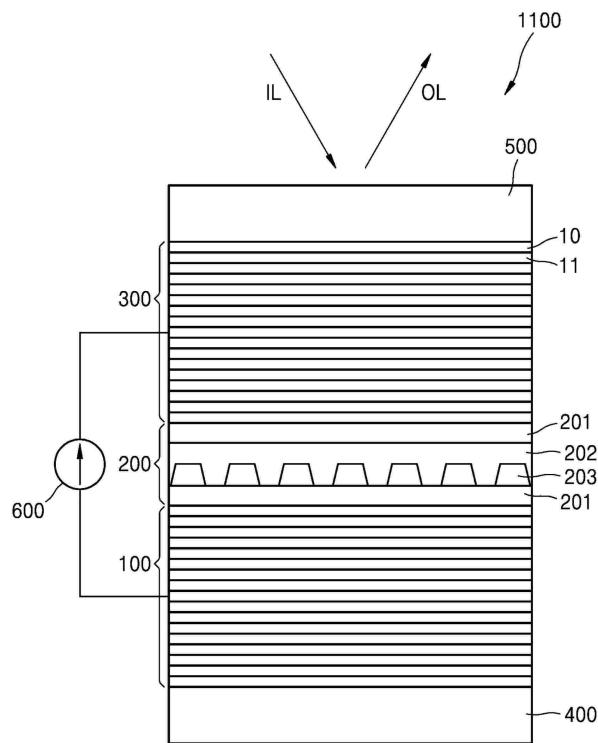
200、210、220、230 活性層

50

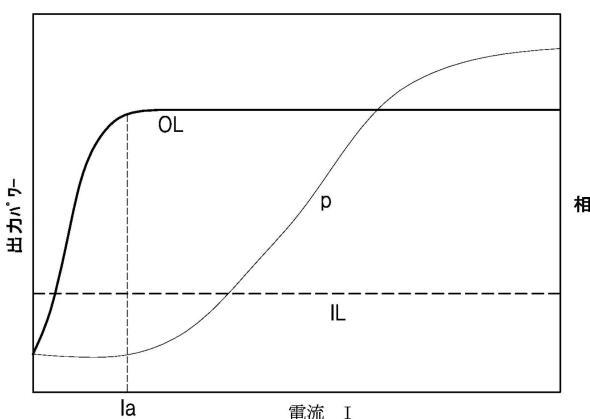
201、211、221、231 第1バリア層
 202、212、222、232 井戸層
 203、213、223、233 量子点
 224 第2バリア層
 300、310、320、330 第2DBR層
 400、410、420、430 第1コンタクト層
 500、510、520、530 第2コンタクト層
 630 メタ構造物
 1000、1100、1110、1120、1130、2110 光変調素子
 1200 プロセッサ 10
 2200 制御回路
 2000、3110 ビームステアリング装置
 2100 光変調素子アレイ
 2120 基板
 2300 接合部
 3000 電子装置
 3100 照明装置
 3120 光源
 3200 プロセッサ
 3300 センサ
 3400 メモリ
 IL 入射光
 OL 出力光
 ST1、ST2、ST3、STn 積層構造

【図面】

【図1】



【図2】



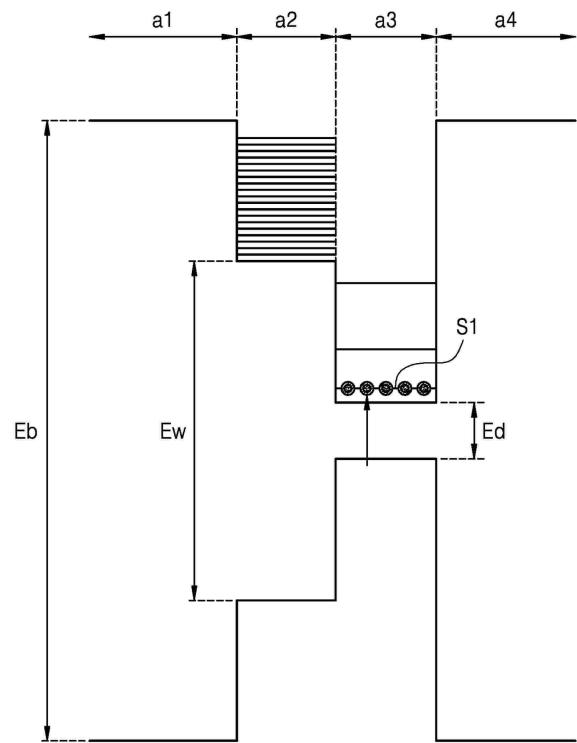
20

30

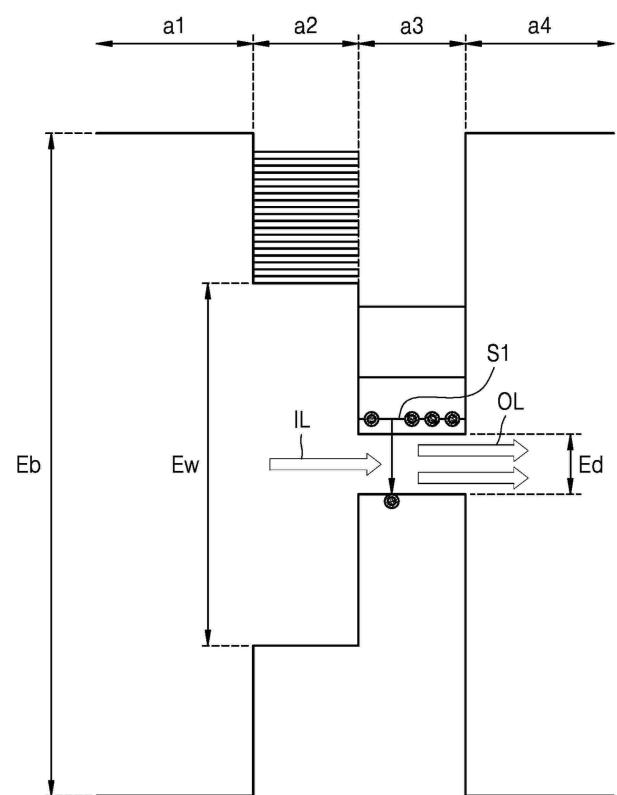
40

50

【図3】



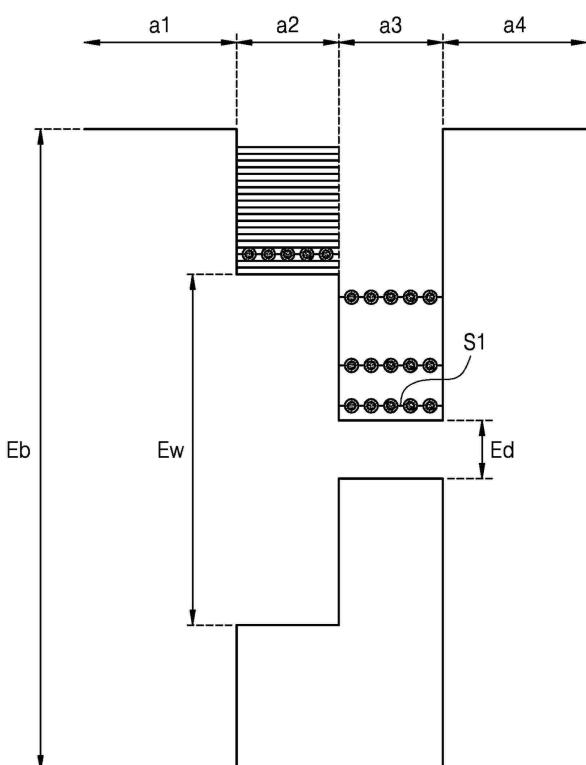
【図4】



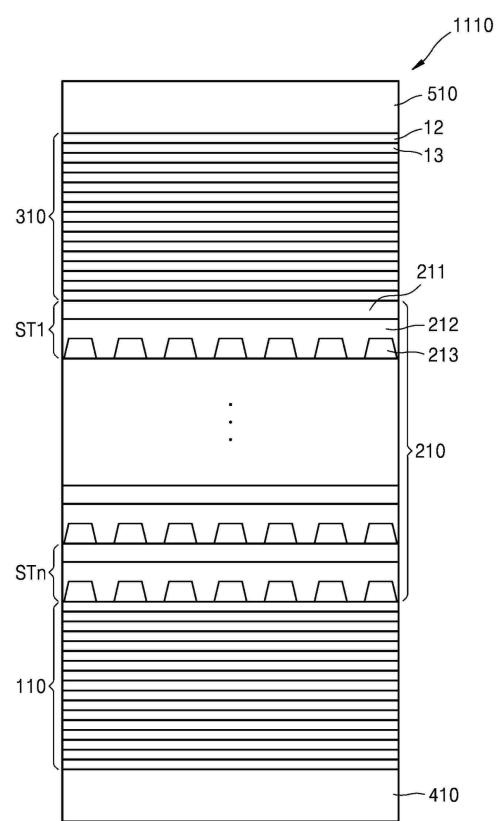
10

20

【図5】



【図6】

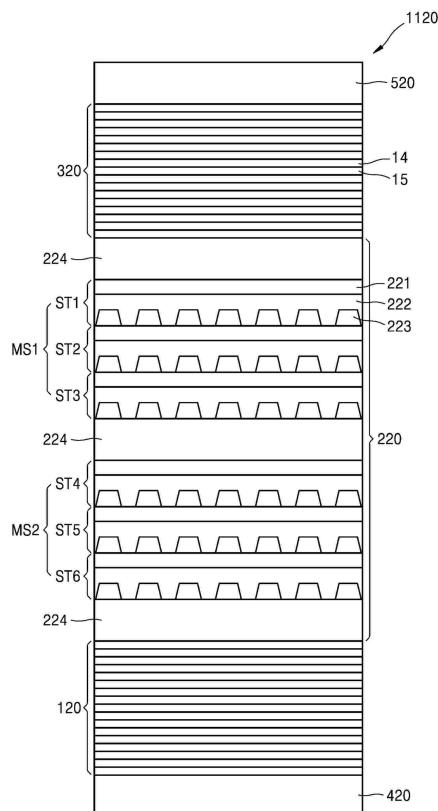


30

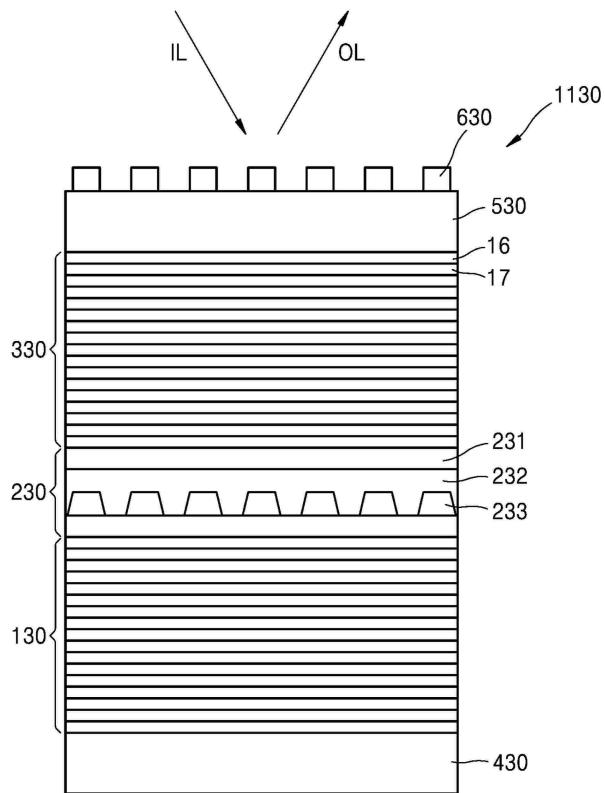
40

50

【図 7】



【図 8】

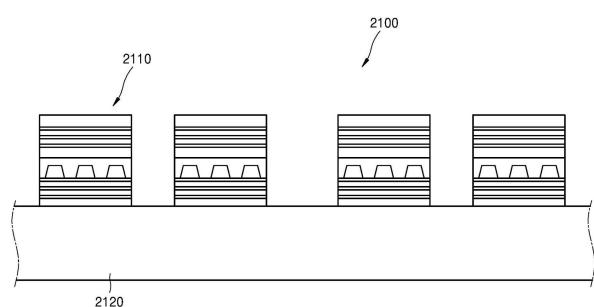


10

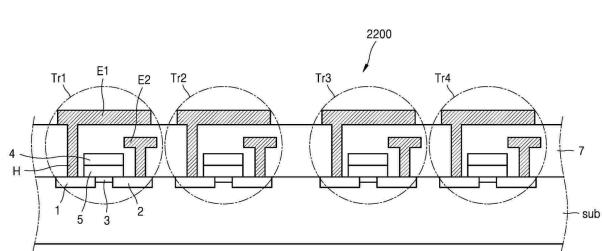
20

30

【図 9】



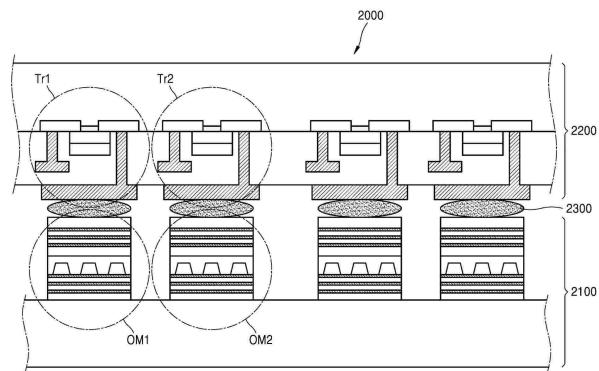
【図 10】



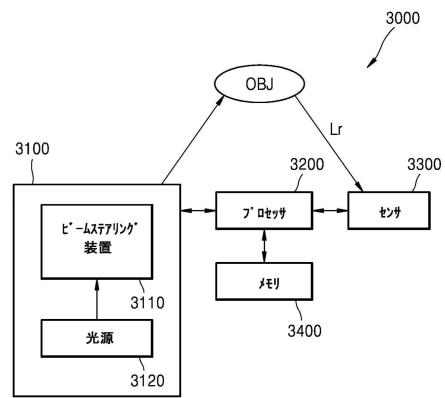
40

50

【図 1 1】



【図 1 2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 申 祖 均
大韓民国京畿道水原市靈通区三星路 130 三星綜合技術院内

(72)発明者 金 善 日
大韓民国京畿道水原市靈通区三星路 130 三星綜合技術院内

(72)発明者 朴 晶 鉉
大韓民国京畿道水原市靈通区三星路 130 三星綜合技術院内

(72)発明者 鄭 秉 吉
大韓民国京畿道水原市靈通区三星路 130 三星綜合技術院内

審査官 野口 晃一

(56)参考文献 特開平06-053592 (JP, A)
米国特許出願公開第2007/0013996 (US, A1)
米国特許出願公開第2018/0196138 (US, A1)
特開2003-023219 (JP, A)
特開2002-344090 (JP, A)
特開2003-110533 (JP, A)
米国特許出願公開第2013/0175500 (US, A1)
特開2011-150340 (JP, A)
特開2013-122597 (JP, A)
特開2019-045860 (JP, A)
特開2019-020715 (JP, A)
米国特許出願公開第2002/0176474 (US, A1)
特開2016-146417 (JP, A)
VASILEIADIS et al., "Potential of InGaAs/GaAs Quantum Dots for Applications in Vertical Cavity Semiconductor Optical Amplifiers", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE, 2008年07月, Vol. 14, No. 4, p. 1180-1187, DOI: 10.1109/JSTQE.2007.915517
SAHRAEE et al., "Improvement of Gain Recovery in QD-VCSOA at 1-Tb/s Cross Gain Modulation Using an Additional Light Beam", IEEE Journal of Quantum Electronics, 2014年10月, Vol. 50, No. 10, p. 795-801, DOI: doi: 10.1109/JQE.2014.2345658

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G 02 F 1 / 00 - 1 / 125
1 / 21 - 7 / 00
I E E E X p l o r e