

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-99396
(P2023-99396A)

(43)公開日 令和5年7月13日(2023.7.13)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 S 5/042(2006.01) H 0 1 S 5/042 6 1 2 5 F 1 7 3

H 0 1 S 5/183(2006.01) H 0 1 S 5/183

H 0 1 S 5/343(2006.01) H 0 1 S 5/343

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全23頁)

(21)出願番号	特願2022-24(P2022-24)	(71)出願人	000001007
(22)出願日	令和4年1月1日(2022.1.1)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74)代理人	110002860
			弁理士法人秀和特許事務所
		(72)発明者	内田 武志
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キヤノン株式会社 内
		(72)発明者	須賀 貴子
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キヤノン株式会社 内
		(72)発明者	内田 達朗
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キヤノン株式会社 内
		F ターム (参考)	5F173 AC03 AC13 AC35 AC42
			最終頁に続く

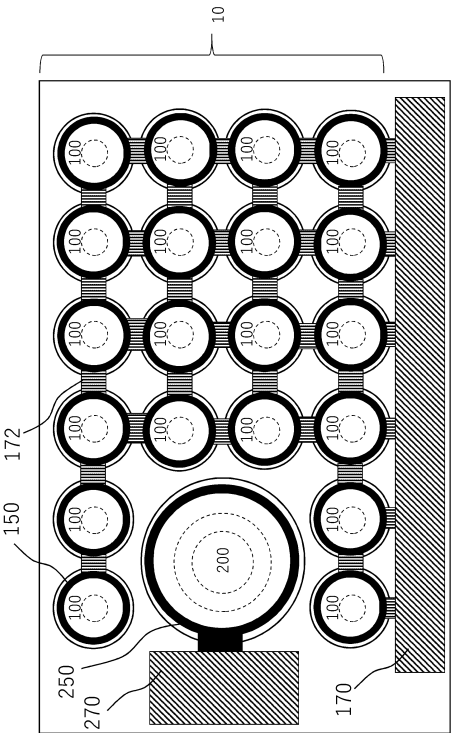
(54)【発明の名称】 半導体発光素子、光源装置及び測距装置

(57)【要約】

【課題】FFPの平坦化と、発光径拡大によるチップ面積の縮小を両立可能な光源装置を提供する。

【解決手段】半導体基板の上に、第1の反射鏡と、活性層を含む共振器部と、第2の反射鏡と、がこの順に積層された半導体発光素子が複数配置されている光源装置であって、前記半導体発光素子のそれぞれには、前記第2の反射鏡の、前記活性層とは反対側の表面側に、前記活性層にキャリアを供給するための電気的なコンタクト領域が設けられており、前記複数の半導体発光素子は、前記コンタクト領域の形状が第1形状である第1の半導体発光素子と、前記コンタクト領域の形状が前記第1形状とは異なる第2形状である第2の半導体発光素子を含む、ことを特徴とする光源装置。

【選択図】図1A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体基板の上に、第 1 の反射鏡と、活性層を含む共振器部と、第 2 の反射鏡と、がこの順に積層された半導体発光素子が複数配置されている光源装置であって、

前記半導体発光素子のそれぞれには、前記第 2 の反射鏡の、前記活性層とは反対側の表面側に、前記活性層にキャリアを供給するための電氣的なコンタクト領域が設けられており、

前記複数の半導体発光素子は、前記コンタクト領域の形状が第 1 形状である第 1 の半導体発光素子と、前記コンタクト領域の形状が前記第 1 形状とは異なる第 2 形状である第 2 の半導体発光素子を含む、

ことを特徴とする光源装置。

10

【請求項 2】

前記第 1 形状は、円形であり、

前記第 2 形状は、円環状である、

請求項 1 に記載の光源装置。

【請求項 3】

前記半導体発光素子のそれぞれは、円環状の導電性の低い領域とその内側の導電性の高い領域を有する電流狭窄部を、前記第 1 の反射鏡、前記共振器部、前記第 2 の反射鏡の少なくともいずれかに有し、

前記コンタクト領域は、平面視において、前記電流狭窄部の導電性の高い領域の中に含まれる、

請求項 1 または 2 に記載の光源装置。

20

【請求項 4】

前記第 1 形状の中心と前記第 2 形状の中心は、平面視において、前記電流狭窄部の導電性の高い領域の中心と一致する、

請求項 3 に記載の光源装置。

【請求項 5】

前記複数の半導体発光素子のうち少なくとも一つにおいて、

前記コンタクト領域は、前記第 2 の反射鏡の上に設けられた一部が除去された絶縁膜と、前記絶縁膜が除去された部分で前記第 2 の反射鏡と接している導電膜、とにより構成されている、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の光源装置。

30

【請求項 6】

前記複数の半導体発光素子のうち少なくとも一つにおいて、

前記第 2 の反射鏡の、前記活性層と接している面とは反対側である表面に、n 型半導体層とその下にトンネル接合層が設けられおり、

前記コンタクト領域は、前記 n 型半導体層の上に設けられた一部が除去された絶縁膜と、前記絶縁膜が除去された部分で前記 n 型半導体層と接している導電膜と、により構成されている、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の光源装置。

40

【請求項 7】

前記トンネル接合層はキャリア濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の p 型層と n 型層が直接接して構成される、

請求項 6 に記載の光源装置。

【請求項 8】

(実施例 2・双峰性 VCSEL 400)

前記複数の半導体発光素子のうち少なくとも一つにおいて、

前記第 2 の反射鏡の前記表面に、n 型半導体層およびトンネル接合層が設けられた領域と設けられていない領域があり、

前記トンネル接合層が設けられた領域と、前記トンネル接合層が設けられていない領域

50

のうち少なくとも一部と、に導電膜が設けられている、
請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の光源装置。

【請求項 9】

前記複数の半導体発光素子は、それぞれが異なる電源に接続されている第 1 のコンタクト領域と第 2 のコンタクト領域を前記第 2 の反射鏡の前記表面に有する、第 3 の半導体発光素子を含む、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の光源装置。

【請求項 10】

前記第 1 のコンタクト領域は、前記第 2 の反射鏡の中心を含む領域であり、

前記第 2 のコンタクト領域は、前記第 1 のコンタクト領域と離間し、前記第 2 のコンタクト領域を取り囲む領域である、

請求項 9 に記載の光源装置。

【請求項 11】

前記複数の半導体発光素子はいずれも、

前記第 1 の反射鏡の反射率が前記第 2 の反射鏡の反射率よりも高く、

前記第 2 の反射鏡の表面側に透明導電膜が設けられており、

前記第 2 の反射鏡の表面側から光を出射する、

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の光源装置。

【請求項 12】

前記複数の半導体発光素子はいずれも、

前記第 1 の反射鏡の反射率が前記第 2 の反射鏡の反射率よりも低く、

前記半導体基板を通して光を出射する、

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の光源装置。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の光源装置と、

前記光源装置から発生された光の反射光を検出するセンサと、

前記反射光の検出タイミングに基づいて距離情報を取得する処理部と、
を備える、測距装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体発光素子、光源装置及び測距装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、異なる遠視野像 (Far-Field Pattern、FFP) のビームを出射する 2 種類の VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting LASER: 垂直共振器型面発光レーザ) を同一基板上の構成した例が記載されている。そして、FFP を異ならせるために、片方の VCSEL においてビームが出射する光路上に金属部材を配置し高次モードに損失を与えることにより、発振する横モードを制御している。

【0003】

また、高次モードに損失を与える別の方法として、VCSEL の上部反射鏡の最表面の加工やその上の誘電体層のパターニングにより反射鏡の面内での反射率を制御し、それにより高次モードに選択的に損失を与える方法が知られている。

【0004】

異なる FFP を出射する VCSEL を同一基板上に配置し、それらから出射される光を重ね合わせることで、特許文献 1 に記載のように、VCSEL アレイから出射される FFP の平坦化、言い換えるとより均一な光照射が可能となる。

【0005】

均一な光照射は、VCSEL を照明用の光源として使用する場合に有用である。例えば、ToF (Time of Flight: 飛行時間) 方式の LiDAR (Light Detection and R

10

20

30

40

50

anging：光検出と測距）用光源としてV C S E Lが用いられている。測定対象エリアに光を照

射する場合、均一に照射することで照射光量が低い部分の発生を防止でき、その部分に小さな対象物が存在する場合の不検知を防止できるなどのメリットがある。

【0006】

V C S E Lを照明として使用する場合、たとえばT o F用光源として使用する場合には、パルス幅は短い、光出力はピーク出力が0.1Wやそれ以上、用途によっては、100Wレベルまで求められる場合がある。そのような場合には、V C S E Lを多数並べた2次元アレイ状で発光させ、必要な光量を実現する。

【0007】

そして、多数のV C S E Lをアレイ状に配置して使用する場合、各V C S E Lの発光径を大きくすることで、V C S E Lアレイのチップ面積に対して、実際に発光する領域として使用している面積の割合を大きくすることが出来る。言い換えると、各V C S E Lの発光径を大きくすることで、V C S E Lアレイとして必要なチップ面積を小さくすることができ、光学系との結合やコストで優位となる。

【0008】

しかしながら、V C S E Lの発光径が大きい（典型的には発光径10μm以上）と、高次モードに選択的に損失を与えて横モードを制御することができなくなる。そのため、特許文献1のような手法を採用する場合には、F F Pを制御するために発光径を10μm以下に抑える必要があり、発光径拡大によるチップ面積の縮小とF F Pの制御（均一化）を

10

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2006-278572号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、F F Pの平坦化と、発光径拡大によるチップ面積の縮小を両立可能な光源装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一態様は、半導体基板の上に、第1の反射鏡と、活性層を含む共振器部と、第2の反射鏡と、がこの順に積層された半導体発光素子が複数配置されている光源装置であって、

前記半導体発光素子のそれぞれには、前記第2の反射鏡の、前記活性層とは反対側の表面側に、前記活性層にキャリアを供給するための電氣的なコンタクト領域が設けられており、

前記複数の半導体発光素子は、前記コンタクト領域の形状が第1形状である第1の半導体発光素子と、前記コンタクト領域の形状が前記第1形状とは異なる第2形状である第2

40

の半導体発光素子を含む、

ことを特徴とする光源装置である。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、F F Pの平坦化と、発光径拡大によるチップ面積の縮小を両立できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1A】実施例1のV C S E Lアレイ10の上面図

【図1B】実施例1のV C S E L 100の断面図

50

【図 1 C】実施例 1 の V C S E L 2 0 0 の断面図
【図 2 A】実施例 1 での電流密度分布を説明する図
【図 2 B】実施例 1 での電流密度分布を説明する図
【図 2 C】実施例 1 での遠視野領域でのビーム強度分布を説明する図
【図 2 D】実施例 1 での遠視野領域でのビーム強度分布を説明する図
【図 3 A】実施例 2 の V C S E L アレイ 2 0 の上面図
【図 3 B】実施例 2 の V C S E L 3 0 0 の断面図
【図 3 C】実施例 2 の V C S E L 4 0 0 の断面図
【図 3 D】実施例 2 での電流密度分布を説明する図
【図 3 E】実施例 2 での電流密度分布を説明する図
【図 3 F】実施例 2 での遠視野領域でのビーム強度分布を説明する図
【図 3 G】実施例 2 での遠視野領域でのビーム強度分布を説明する図
【図 4 A】実施例 3 の V C S E L アレイ 3 0 の上面図
【図 4 B】実施例 3 の V C S E L 5 0 0 の断面図
【図 4 C】実施例 3 の V C S E L 5 0 0 の上面図
【図 4 D】実施例 3 の V C S E L 5 0 0 (変形例) の上面図
【図 5 A】実施例 4 の V C S E L アレイ 4 0 の上面図
【図 5 B】実施例 4 の V C S E L 6 0 0 の断面図
【図 5 C】実施例 4 の V C S E L 7 0 0 の断面図
【図 6】実施例 6 の測距装置の概略構成図

10

20

【発明を実施するための形態】

【0014】

[第 1 実施例]

本発明の第 1 実施例の V C S E L アレイ (光源装置) 1 0 は、V C S E L (半導体発光素子) が複数配置されて構成される。

【0015】

図 1 A は V C S E L アレイ 1 0 における、V C S E L 配置を説明する図である。本実施例の V C S E L アレイ 1 0 は、V C S E L 1 0 0 と V C S E L 2 0 0 の 2 種類の V C S E L で構成されている。V C S E L 1 0 0 は単峰性の F F P となるレーザ光を出射し、V C S E L 2 0 0 は双峰性の F F P となるレーザ光を出射する (図 2 C 参照)。

30

【0016】

後述するように、V C S E L 1 0 0 と V C S E L 2 0 0 は、共振器部にキャリアを供給するための、上部 D B R の表面側に設けられる電氣的なコンタクト領域の形状 (図 1 A 中に点線で図示) が異なっており、それにより F F P プロファイルが異なる。詳細は後述する。

【0017】

本実施例の V C S E L アレイ 1 0 は、V C S E L 1 0 0 が 2 0 個と V C S E L 2 0 0 が 1 個で構成されている。V C S E L 1 0 0 の数が V C S E L 2 0 0 と比較して多いのは、V C S E L 1 0 0 は発光面積が小さく、V C S E L 1 つあたり I から光出力が小さいためである。これらから出射されるビームを遠視野領域で重ね合わせた際に強度が平坦化するように、各 V C S E L の数の比が決まっている。

40

【0018】

以下、各 V C S E L の構成について説明する。

【0019】

図 1 B は V C S E L 1 0 0 の断面模式図である。V C S E L 1 0 0 は G a A s 基板 (半導体基板) 1 0 1 の上に、下部 D B R (第 1 の反射鏡) 1 0 2、半導体共振器部 1 0 3、上部 D B R (第 2 の反射鏡) 1 0 4 がこの順で積層されて構成されている。なお、図 3 においてこれらの部材は直接接しているが、間に他の部材が設けられていてもよい。また、上記の記載は、構造を表す説明であり、各部材の製造の順序を限定するものではない。

【0020】

50

共振器部 103 の中には 3 つの量子井戸層 140 が配置されている。上部 DBR 104 の一部に、 $\text{Al}_{0.98}\text{GaAs}$ を水蒸気酸化により酸化することにより絶縁性を持たせた酸化狭窄層 106 が形成されている。本実施例では、酸化狭窄層 106 による電流狭窄部が上部 DBR 104 に形成しているが、電流狭窄部は、下部 DBR 102 あるいは共振器部 103 に形成してもよい。

【0021】

共振器部 103 および上部 DBR 104 は筒状のメサ状に加工されており、その上から絶縁膜 161 で覆われている。絶縁膜 161 の上に ITO (Indium Tin Oxide) 層が形成されている。

【0022】

図 1B に示すように、メサ状に加工された上部 DBR 104 の上面には、中央部が部分的に除去された絶縁膜 161 が設けられ、当該除去された部分において ITO 層 162 が上部 DBR 104 の上面と接している。絶縁膜 161 が除去された部分のことを、本開示では絶縁開口と称する。ITO 層 162 は、絶縁開口部分において上部 DBR 104 の上面と接しているといえる。絶縁膜 161 の絶縁開口は本実施例では円形である。また、ITO 層 162 の一部にはリング電極 150 が電氣的に接触している。共通電極 151 は GaAs 基板 101 裏面とオーミックコンタクトしている。

【0023】

リング電極 150 から供給されるキャリアは、絶縁開口部分から共振器部 103 に供給される。すなわち、円形状に一部が除去された絶縁膜 161 と、絶縁膜 161 が除去された絶縁開口部分で上部 DBR 104 と接している ITO 層 162 とにより、上部 DBR 104 表面 (活性層と接している面とは反対側の面) のコンタクト領域が形成される。VCSEL 100 におけるコンタクト領域の形状 (第 1 形状) は、円形である。

【0024】

下部 DBR (Distributed Bragg Reflector、ブラッグ分布反射器) 102 は光学膜厚が $c/4$ の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層と $\text{Al}_{0.9}\text{GaAs}$ 層を 1 ペアとして、それが 35 ペア積層されて構成されている。 c とは、下部 DBR 102 の高反射帯域の中心波長であり、本実施例では 940nm である。

【0025】

量子井戸層 140 は厚さ 8nm の $\text{In}_{0.1}\text{GaAs}$ 層を 10nm の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 障壁層で挟んだ構成となっている。本実施例では、共振器部 103 に 3 つの量子井戸層を配置している。

【0026】

上部 DBR 104 は、光学膜厚が $c/4$ の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層と $\text{Al}_{0.9}\text{GaAs}$ 層を 1 ペアとして、それが 20 ペア積層されて構成されている。そして、最上層の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層の一部は、厚さ 50nm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ の GaAs コンタクト層に置き換わっており、透明導電層 (ITO 層) 162 との電氣的なコンタクト性を改善している。上部 DBR の量子井戸層 140 に最も近い $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層の一部が厚さ 30nm の $\text{Al}_{0.98}\text{GaAs}$ 層に置き換わっている。この $\text{Al}_{0.98}\text{GaAs}$ 層は、VCSEL 100 のメサ形成後に、メサ側壁より水蒸気酸化によりメサ端から所定の長さを酸化することで絶縁性を持たせた酸化狭窄層 106 が形成されている。

【0027】

絶縁膜 161 が除去された絶縁開口部分の直径 d_1 は $10\mu\text{m}$ であり、酸化狭窄層 106 の内側の半導体部分 (つまり、導電性が高く電流が流れることが可能な部分、以下、非酸化部分と呼ぶ) の直径 d_2 は $30\mu\text{m}$ となっている。また、平面視において、絶縁開口部分と非酸化部分の中心は略一致し、絶縁開口部分は非酸化部分に含まれる。上記非酸化部分が共振器部 103 において電流が流れることができる部分であるため、非酸化部分の径が VCSEL の発光径となる。これは本実施例及び実施例 2 以下においても同じである。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

下部 D B R 1 0 2 は上部 D B R 1 0 4 と比較して反射率が高くなるようにペア数が設計されている。また、上部 D B R 1 0 4 上に設けられている絶縁膜 1 6 1 と I T O 層 1 6 2 も発光波長において透明であり光を透過するため、本実施例の V C S E L 1 0 0 は上部 D B R 1 0 4 の側から光を取り出すことができる。

【 0 0 2 9 】

図 1 C に V C S E L 2 0 0 の断面模式図を示す。V C S E L 2 0 0 は G a A s 基板（半導体基板）2 0 1 の上に、下部 D B R（第 1 の反射鏡）2 0 2、半導体共振器部 2 0 3、上部 D B R（第 2 の反射鏡）2 0 4 がこの順で積層されて構成されている。

【 0 0 3 0 】

共振器部 2 0 3 の中には 3 つの量子井戸層 2 4 0 が配置されている。上部 D B R の一部に、A l 0 . 9 8 G a A s を水蒸気酸化により酸化することにより絶縁性を持たせた酸化狭窄層 2 0 6 が形成されている。

【 0 0 3 1 】

共振器部 2 0 3 および上部 D B R 2 0 4 は筒状のメサ状に加工されており、その上から絶縁膜 2 6 1 で覆われている。絶縁膜 2 6 1 の上に I T O（I n d i u m T i n O x i d e）層が形成されている。

【 0 0 3 2 】

図 1 C に示すように、メサ状に加工された上部 D B R 2 0 4 の上面には、中央部が円環状に除去された絶縁膜 2 6 1 が設けられ、当該除去された部分（絶縁開口）において I T O 層 2 6 2 が上部 D B R 2 0 4 の上面と接している。V C S E L 2 0 0 における絶縁開口は円環（リング）形状である。また、I T O 2 6 2 の一部にはリング電極 2 5 0 が電氣的に接触している。共通電極 2 5 1 は G a A s 基板 2 0 1 裏面とオーミックコンタクトしている。

【 0 0 3 3 】

リング電極 2 5 0 から供給されるキャリアは、絶縁開口部分から共振器部 2 0 3 に供給される。すなわち、円環状に一部が除去された絶縁膜 2 6 1 と、絶縁膜 2 6 1 が除去された絶縁開口部分で上部 D B R 2 0 4 と接している I T O 層 2 6 2 とにより、上部 D B R 2 0 4 表面（活性層と接している面とは反対側の面）のコンタクト領域が形成される。V C S E L 2 0 0 におけるコンタクト領域の形状（第 2 形状）は、円環状である。

【 0 0 3 4 】

絶縁膜 2 6 1 が除去された円環状の絶縁開口部分の内径 d 3 は 3 5 μ m であり、外形 d 4 は 4 5 μ m である。また、酸化狭窄層 2 0 6 の内側の半導体部分（つまり、導電性が高く電流が流れることが可能な部分、以下、非酸化部分と呼ぶ）の直径 d 2 は 7 0 μ m となっている。また、平面視において、絶縁開口部分と非酸化部分の中心は略一致し、絶縁開口部分は非酸化部分に含まれる。

【 0 0 3 5 】

図 1 C の V C S E L の層構成は図 1 B の V C S E L と同一基板上に、同一の結晶成長層を利用してモノリシックに同時に形成されるため同一である。そのため、図 1 C の層構成の詳細については説明を省略する。

【 0 0 3 6 】

図 1 A を参照して、V C S E L アレイ 1 0 における V C S E L 1 0 0 , 2 0 0 の配置についてさらに説明する。

【 0 0 3 7 】

V C S E L 1 0 0 上のリング電極 1 5 0 は配線電極 1 7 2 を介してお互いに電氣的に接続されている。そして、外部から電流を供給するためのワイヤーボンディング用のパッド 1 7 0 とも電氣的に接続されている。V C S E L 2 0 0 上のリング電極 2 5 0 は外部から電流を供給するためのワイヤーボンディング用のパッド 2 7 0 と電氣的に接続されている。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

V C S E L 2 0 0 の全周囲を V C S E L 1 0 0 に囲まれるように配置せず、図 1 A の様にアレイの端に配置している理由は、V C S E L 2 0 0 からの配線電極を他の配線電極と交差させずにパッド 2 7 0 に接続できるようにするためである。この場合、配線を多層にする必要が無く、加工プロセスおよび寄生容量を介した電氣的なクロストークの面で有利となる。

【 0 0 3 9 】

d - T o F 応用では、ナノ秒またはそれ以下の時間で電流を変化させることが望まれる。そして、電流値も他の一般的な通信などの応用での電流値と比較して大きく、1 A 以上となることもある。そのため、寄生容量によって配線間がつながると、寄生容量を介した意図しない電流が流れやすい条件であり、意図しない電流により電流値を制御することによる F F P の制御性が落ちるといった問題が生じる場合もある。

10

【 0 0 4 0 】

図 1 A では、V C S E L 1 0 0 は正方配置であるが、三角配置など他の配置方法で良い。またワイヤーボンディング用パッドおよび各メサ上の V C S E L のリング電極 1 5 0 を接続する配線電極 1 7 2 の位置や数および形状は電氣的な接続が等価であれば、図 1 に示した構成以外でも同様の効果を奏する。

【 0 0 4 1 】

図 2 A は、V C S E L 1 0 0 の構成において、活性層に注入される電流密度分布の計算結果を示す。

【 0 0 4 2 】

20

図 2 A は、酸化狭窄径 d_2 が $30\ \mu\text{m}$ での、活性層絶縁開口部の直径 d_1 が $5\ \mu\text{m}$ から $25\ \mu\text{m}$ まで変わった際の量子井戸層 1 4 0 に流れ込む電流密度の分布を示す。図 2 A の横軸は、メサ中心（つまり非酸化部分の中心でもある）を位置 0 とした時の半径方向位置である。これより、絶縁開口部分の直径 d_1 が $20\ \mu\text{m}$ までであれば、中央に凸型の電流密度分布を作ることが出来ることが分かる。このように、 $d_1 < d_2$ とすることで、電流量子井戸層に流れ込む電流密度分布の形状を中央に凸の形状を形成し、遠視野像を制御することが出来る。本実施例では、 d_1 は $20\ \mu\text{m}$ である。

【 0 0 4 3 】

図 2 B は、V C S E L 2 0 0 の構成において、活性層に注入される電流密度分布の計算結果を示す。本実施例においては、絶縁層が除去された円環状の絶縁開口部分の内径は $35\ \mu\text{m}$ であり、外形は $45\ \mu\text{m}$ であるが、比較のため、内径 $20\ \mu\text{m}$ から $50\ \mu\text{m}$ まで、絶縁開口の幅を $10\ \mu\text{m}$ として変化させたときの計算結果を示す。また、酸化狭窄層の非酸化部分の直径 d_2 は $70\ \mu\text{m}$ となっている。

30

【 0 0 4 4 】

図 2 B に示されるように、内径は $35\ \mu\text{m}$ であり、外形は $45\ \mu\text{m}$ とした場合、活性層に注入される電流密度分布は横軸の位置 $20\ \mu\text{m}$ にピークを持ち、かつ位置 0 と $33\ \mu\text{m}$ 付近の極小値での電流密度が、他の条件と比較して同程度となっている。このように円環状の電流注入分布とすることで双峰性の電流密度分布を実現することが出来る。

【 0 0 4 5 】

図 2 C に V C S E L 1 0 0 と V C S E L 2 0 0 から出射された光の遠視野領域での強度分布を示す。これは、図 2 A 及び図 2 B で示した電流密度分布の半値幅より 0 次および 1 次の横モードの強度分布を概算し、そこから遠視野像を求めたものである。また、図 2 D は図 1 A に示す V C S E L 数に基づく強度比で重ね合わせた強度分布である。

40

【 0 0 4 6 】

これより、V C S E L 1 0 0 及び V C S E L 2 0 0 からの各ビームと比較し、設計された強度比で重ね合わせることで、広がり角 -0.5 から $+0.5^\circ$ の範囲を中心に平坦化が実現できていることが分かる。

【 0 0 4 7 】

なお、強度比は V C S E L 1 0 0 と V C S E L 2 0 0 で約 $20 : 1$ となるように設計されており、V C S E L 1 0 0 の成分が主となっている。さらに、V C S E L 1 0 0 は 1 個

50

当たりの発光径が小さく、出射できる光量も小さい。そのため、本実施例のV C S E Lアレイ10においては、V C S E L 100の方が多く配置されている。V C S E Lアレイ10を構成するすべてのV C S E Lからのビームが重ね合わさった際に広がり角の中心部分、本実施例では $\pm 0.5^\circ$ の範囲で、強度が平坦化するように設計されている。

【0048】

次に、本実施例でのV C S E Lアレイ10と従来例のV C S E Lでのアレイサイズの比較について説明する。本実施のV C S E Lアレイ10は、図1Aに示すように発光径 $30\mu\text{m}$ のV C S E L 100と発光径 $70\mu\text{m}$ のV C S E L 200で構成されている。V C S E L 100は発光径とその周囲に必要なサイズ等よりピッチ $64\mu\text{m}$ となっている。そして、横6個、縦4個配置されているため、V C S E Lアレイ10のサイズは横 $384\mu\text{m}$ 、縦 $256\mu\text{m}$ となる。

【0049】

一方、従来例の構成の場合、上述の通りビーム形状を制御するためには発光径を $10\mu\text{m}$ 以下にする必要がある。そこで、発光径 $10\mu\text{m}$ とし、発光径のサイズの差 $20\mu\text{m}$ 分だけ本実施例より狭いピッチ、具体的には $44\mu\text{m}$ のピッチで配置した場合を考える。本実施例と同じ駆動電流密度において同じ光出力を得るためには、発光面積を足し合わせた総発行面積を本実施例のV C S E Lアレイ10と同じにすればよい。計算をすると、従来例の構成で本実施例と同等の光出力を得るために必要なV C S E Lの数は、約225個であることが分かる。これを縦横15個のアレイとして配置した場合、縦横の長さは $660\mu\text{m}$ となる。

【0050】

以上より、本実施例でのV C S E Lアレイ10は、従来例のV C S E Lを用いたアレイと比較してより小さな面積で同等の光出力が実現できる。これは、従来例と比較してより大きな発光径においてV C S E Lアレイを構成しているためである。そして、より大きな発光径でV C S E Lアレイを構成することを可能にしているのは、従来例と比較して大きな発光径でのF F Pを平坦化できているためである。これは、本実施例及び実施例2以降でも同様である。

【0051】

[第2実施例]

図3Aに本実施例でのV C S E L 300とV C S E L 400を用いたV C S E Lアレイ20を示す。本実施形態においては単峰性のF F Pのレーザ光を出射するV C S E L 300と双峰性のF F Pのレーザ光を出射するV C S E L 400は大きさが同程度であり、いずれも発光径が $70\mu\text{m}$ 程度となっている。つまり、実施例1と比較して単峰性のF F Pのレーザ光を出射するV C S E Lの発光径をより大きくできている。

【0052】

V C S E L 300上のリング電極350は配線電極372を介してお互いに電氣的に接続されており、さらに、外部から電流を供給するためのワイヤーボンディング用のパッド370とも電氣的に接続されている。V C S E L 400上のリング電極450は配線電極472を介してお互いに電氣的に接続されており、さらに、外部から電流を供給するためのワイヤーボンディング用のパッド470と電氣的に接続されている。

【0053】

V C S E L 300の全周囲をV C S E L 400に囲まれるように配置せず、図3Aの様にアレイの端に配置している理由は、V C S E L 300からの配線電極を他の配線電極と交差させずにパッド370に接続できるようにするためである。この場合、配線を多層にする必要が無く、加工プロセスおよび寄生容量を介した電氣的なクロストークの面で有利となる。

【0054】

図3BにV C S E L 300の断面模式図を示す。V C S E L 300はG a A s基板301の上に、下部D B R 302、半導体共振器部303、上部D B R 304、トンネル接合層342がこの順で積層されて構成されている。

10

20

30

40

50

【0055】

共振器部303の中には3つの量子井戸層340が配置されている。上部DBRの一部に、 $\text{Al}_{0.98}\text{GaAs}$ を水蒸気酸化により酸化することにより絶縁性を持たせた酸化狭窄層306が形成されている。

【0056】

共振器部303および上部DBR304、トンネル接合層342は筒状のメサ状に加工されており、その上から絶縁膜361で覆われている。絶縁膜361の上にITO (Indium Tin Oxide) 層が形成されている。

【0057】

図3Bに示すように、メサ状に加工された上部DBR304の上面には、中央部が部分的に除去された絶縁膜361が設けられ、この絶縁開口においてITO層362が上部DBR304の上面と接している。絶縁膜361の絶縁開口は本実施例では円形である。また、ITO362の一部にはリング電極350が電氣的に接触している。共通電極351はGaAs基板301裏面とオーミックコンタクトしている。

【0058】

下部DBR302は光学膜厚が $c/4$ の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層と $\text{Al}_{0.9}\text{GaAs}$ 層を1ペアとして、それが35ペア積層されて構成されている。 c とは、下部DBR302の高反射帯域の中心波長であり、本実施例では940nmである。

【0059】

量子井戸層340は厚さ8nmの $\text{In}_{0.1}\text{GaAs}$ 層を10nmの $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 障壁層で挟んだ構成となっている。本実施例では、共振器部303に3つの量子井戸層を配置している。

【0060】

上部DBR304は、光学膜厚が $c/4$ の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層と $\text{Al}_{0.9}\text{GaAs}$ 層を1ペアとして、それが20ペア積層されて構成されている。上部DBRの量子井戸層340に最も近い $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層の一部が厚さ30nmの $\text{Al}_{0.98}\text{GaAs}$ 層に置き換わっている。この $\text{Al}_{0.98}\text{GaAs}$ 層は、VCSEL300のメサ形成後に、メサ側壁より水蒸気酸化によりメサ端から所定の長さを酸化することで、絶縁性を持たせた酸化狭窄層306が形成されている。

【0061】

トンネル接合層342はキャリア濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングされたp型GaAs層 (p型半導体層) とキャリア濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングされたn型GaAs層 (n型半導体層) で構成されている。このように、トンネル接合層はキャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えるp型層とn型層が直接接しているため、トンネル効果によりpn界面に生じる薄い空乏層を介して逆方向にも電流が流れるようになっている。

【0062】

下部DBR302は上部DBR304と比較して反射率が高くなるようにペア数が設計されている。また、上部DBR304上に設けられている絶縁膜361とITO層362も発光波長において透明であり光を透過するため、本実施例のVCSEL300は上部DBR306の側から光を取り出すことができる。

【0063】

VCSEL300は、メサ上部の絶縁膜の一部に開口が存在している構成は実施例1と同じであるが、本実施例ではトンネル接合層342が存在している。VCSEL300におけるコンタクト領域は、トンネル接合層のn型GaAs層上に設けられた絶縁開口を有する絶縁膜361と、絶縁膜361が除去された絶縁開口部分で上部DBR304と接しているITO層 (透明導電膜) 362により形成される。本実施例ではトンネル接合層342が存在しているため、好ましい絶縁開口の直径d6および非酸化部の直径d5が実施例1とは異なる。この効果については、以下で説明する。

【0064】

10

20

30

40

50

絶縁膜 361 が除去された絶縁開口部分の直径 d_6 は、 $20\ \mu\text{m}$ であり、酸化狭窄層 506 の内側の非酸化部分の直径 d_5 は $70\ \mu\text{m}$ となっている。これによる効果について、図 3D の計算結果を元に説明する。図 3D では、 d_5 を $70\ \mu\text{m}$ に固定して、 d_6 を変化させたときの電流密度分布を計算している。図 3D より、 d_6 が $20\ \mu\text{m}$ まで、中央が凸の電流密度分布を維持している。そして、酸化部と非酸化部の境界、つまり図 3D の位置 $35\ \mu\text{m}$ まで電流を注入できていることが分かる。 d_6 が $30\ \mu\text{m}$ 以上の場合には、電流密度が最大となる点が非酸化部の中心、つまり図 3D での位置 0 でなくなる。つまり、中央が凸の状態でなくなる。このように、本実施例では、実施例 1 と比較して、メサ最上部にトンネル接合層 342 を設けるとことで、より大きな面積においても、中央が凸となる電流密度分布を実現することができる。

10

【0065】

図 3C に VCSEL 400 の断面模式図を示す。裏面電極 451 からトンネル接合層 442 までは VCSEL 300 と同じ層構成である。トンネル接合層 442 は図 3C に示すように、円環状に加工されている。すなわち、VCSEL 400 の上部 DBR 404 の表面には、トンネル接合層が設けられた領域と設けられていない領域がある円環状のトンネル接合層 442 の内径 d_3 は $35\ \mu\text{m}$ であり、外径 d_4 は $45\ \mu\text{m}$ である。そして、トンネル接合層 442 の上面、及び上部 DBR 404 の上面のうちトンネル接合層 442 が配置されていない部分（の少なくとも一部）には、ITO 層 462 が設けられている。そして、ITO 層 462 上にはリング電極 450 が配置されている。そしてメサ側壁には絶縁膜 461 が設けられている。

20

【0066】

本実施例においては、VCSEL 300 のトンネル接合層 342 は ITO 層 362 と接している部分以外も除去されておらず、上部 DBR 304 の上面全体に配置されている。一方、VCSEL 400 においては、トンネル接合層 442 は円環状になるように加工している。そのため、VCSEL 400 においては、トンネル接合層 442 は電流を横方向に広げる機能は無く、トンネル接合層 442 の除去されなかった部分の形状が DBR 404 に注入する電流の分布を決めている。そして、活性層 440 に注入される電流分布は、上部 DBR 404 内で電流の拡散により決まる。つまり、実施例 1 の VCSEL 200 と同様となる。そのため、トンネル接合層 442 の円環の大きさは実施例 1 と同じで、活性層 440 に注入される電流密度分布も同じとなる。

30

【0067】

トンネル接合層を除去するかしないかの違いは、同じ非酸化部分の直径 $70\ \mu\text{m}$ において好ましい電流分布を形成するのに必要な、横方向への電流の拡散度合いが異なるためである。VCSEL 300 ではトンネル接合層 342 を形成する n 型層の導電率が高いことを利用して、横方向に電流を拡散させる効果を利用している。一方、VCSEL 400 はトンネル接合層 462 の n 型層の導電率を利用しない方が好ましい電流注入分布を得られるため、トンネル接合層 442 は円環状になるように不要な部分を加工している。

【0068】

なお、VCSEL 300 のトンネル接合層 342 を、上部 DBR 304 の上面全体に設ける代わりに、絶縁開口部分を含む一部の領域に設けても上記の電流の拡散効果は得られる。例えば、トンネル接合層 342 は、メサ中心を含み直径が d_5 より大きくして、平面視において酸化狭窄層 306 の非酸化部分の全体を含むような形成してもよい。

40

【0069】

図 3E に内径 $30\ \mu\text{m}$ 、外径 $40\ \mu\text{m}$ の円環状の領域から電流を注入する場合において、トンネル接合層 442 を内径 $30\ \mu\text{m}$ 、外径 $40\ \mu\text{m}$ の円環状の部分を除いて除去した場合と除去しなかった構成での、活性層への電流注入分布の計算結果を示す。これより、除去しなかった場合は横方向位置 $17\ \mu\text{m}$ 付近の極大値と横方向位置 $31\ \mu\text{m}$ 付近の極小値との比が 1.65 であるのに対して、円環状の部分を除いて除去した場合には極小値との比が 7.04 倍程度となる。これより、双峰性の横方向強度分布を持つ発振モードにより近い電流分布は、円環状の部分を除いて除去した場合に得られ、図 3C に示す構成がよ

50

り好ましいことがわかる。

【0070】

図3FにVCSEL300とVCSEL400から出射された光の遠視野領域での強度分布を示す。これは、図3D及び図3Eで示した電流密度分布の半値幅より0次および1次の横モードの強度分布を概算し、そこから遠視野像を求めたものである。また、図3Gは図3Aに示すVCSEL数に基づく強度比で重ね合わせた強度分布である。なお、強度比はVCSEL300とVCSEL400で1:3となるように設計されており、VCSEL400の成分が主となっている。そのため、本実施例のVCSELアレイ20においては、VCSEL400の方が多く配置されている。

【0071】

図3Gより、VCSEL300及びVCSEL400からのビームと比較し、設計された強度比で重ね合わせることで、広がり角 0.5 から $+0.5^{\circ}$ の範囲を中心に平坦化が実現できていることが分かる。さらに、実施例1の図2Dに示す重ね合わせた後のビーム形状の裾部分を比較すると、実施例1(図2D)は $\pm 2^{\circ}$ 程度まで裾を引いていたものが、本実施例(図3G)では $\pm 1.5^{\circ}$ 程度までと小さくなっている。平坦化されている幅はどちらも $\pm 0.5^{\circ}$ の範囲であるため、本実施例の形状の方がより矩形に近づいていることが分かる。

【0072】

また、実施例1及び2において、 $\pm 0.5^{\circ}$ を超える範囲については光学絞りなどで遮光し、平坦化された部分のみを取り出して使用する、等を実施しても良い。この場合、平坦化された領域の外側の $\pm 0.5^{\circ}$ を超える範囲において裾引きの幅が少ない方が遮光で失う光量が少ない。つまり、光学絞りを使用する場合は、本実施例の方が実施例1と比較して失う光量が少なく好適である。

【0073】

[第3実施例]

図4Aに本実施例のVCSELアレイ30を示す。本実施例では、実施例2で用いたVCSEL300とVCSEL400の他にVCSEL500が配置されている。VCSEL300とVCSEL400は実施例2において説明しているため、詳細は省略する。

【0074】

VCSEL500の断面模式図を図4Bに示す。VCSEL500のうち、VCSEL400と同一の部材については同一の部番を付しており、それらについては説明を省略する。VCSEL400との違いは、円環状のトンネル接合層442の他に、トンネル接合層542が上部DBR上に配置され、それぞれ、電氣的に独立したITO層562及び563と接続している点である。すなわち、VCSEL500の上部DBRの上には、それぞれが異なる電源に接続されている2つのコンタクト領域が設けられている。なお、トンネル接合層542は円形であり、円環状のトンネル接合層442の内径内に設けられている。

【0075】

VCSEL500の上面図を図4Cに示す。これは、トンネル接合層の形状を中心に説明する図であり、説明の都合上、ITO層562及び上部電極450は省略されている。

【0076】

図4Bおよび図4Cよりトンネル接合層442およびトンネル接合層542は電氣的に独立していることが分かる。トンネル接合層442は一部を切り欠いた円環状であり、ここから電流を注入することでVCSEL400と同様に双峰性の電流密度分布を作り出す。一方、トンネル接合層542はVCSEL100と同様に円形であり、単峰性の電流密度分布を作り出す。そのため、この2つのトンネル接合層からの電流の割合を制御することで、FFPを制御することが可能となる。なお、トンネル接合層542(円形)の中心は酸化狭窄層406の非酸化部分(導電性が高く電流が流れることが可能な部分)の中心と一致する。トンネル接合層542によるコンタクト領域は、平面視において非酸化部分の中心を含み、かつ非酸化部分の全体の中に含まれる。また、トンネル接合層442(円

10

20

30

40

50

環状)も、中心が非酸化部分の中心と一致し、かつ、平面視において非酸化部分の全体の中に含まれる。さらに、トンネル接合層442とトンネル接合層542には互いに離間しており、トンネル接合層542は円環状のトンネル接合層442の内部(内径部分)に含まれ、トンネル接合層442がトンネル接合層542を取り囲んでいる。

【0077】

図4Aを参照して、VCSELアレイ30における各VCSELの配置についてさらに説明する。

【0078】

VCSEL300上のリング電極350は配線電極372を介してお互いに電氣的に接続されており、さらに、外部から電流を供給するためのワイヤーボンディング用のパッド370とも電氣的に接続されている。VCSEL400上のリング電極450は配線電極472を介してお互いに電氣的に接続されており、さらに、外部から電流を供給するためのワイヤーボンディング用のパッド470と電氣的に接続されている。VCSEL500の2つのリング電極450と電極563は、それぞれが配線電極572, 573を介して接続されており、かつパッド580および581へ接続されている。

【0079】

本実施例では、配線を多層にせず電氣的なクロストークを減少するために、図4Aに示す構成を採用しているが、上記以外の構成を採用しても構わない。

【0080】

本実施例において、VCSEL500を有することの有利な効果について説明する。本実施例では、環境温度を含めた駆動条件・経時変化等によりVCSEL300とVCSEL400からの光出力のバランスが崩れた際に、VCSEL500からのFFPを制御してアレイ全体としてのFFP形状を好ましい形に補正できる。VCSEL500のFFP制御には、上述のようにVCSEL500の2つのトンネル接合層442, 542に注入する電流を制御すればよい。

【0081】

本実施例によれば、VCSEL500によりFFPを補正できるため、ToFシステムの信頼性向上に寄与する。例えば、VCSEL300またはVCSEL400のいずれかが故障により発光量が低下した場合である。

【0082】

VCSEL300またはVCSEL400のいずれかが故障しアレイからの光出力が下がり、かつFFPの平坦性が悪化した場合、上述のようにFFP形状を補正できる。具体的には、VCSEL500に接続されているITO層562及び563を介して注入する電流を制御することによって、FFPおよび光出力をToFシステム既定の範囲内に回復させることができる。そのため、光出力に関してはVCSEL500を最大定格の電流値で駆動せずともToFシステムで必要な光出力が得られるアレイ構成となるようにVCSEL数を設計している。そして、故障時にはVCSEL500に注入する電流を増やし、FFPの平坦性と光出力の両方を回復させ、ToFシステムとしては故障前と同じ特性を維持することができる。

【0083】

FFPの平坦性については、ToFシステムにおいては撮像側で撮影した画像をもとに、複数の異なる撮影対象において撮影した画像の濃淡より、共通的に含まれる濃淡の情報から光源側のFFPの異常を検知することができる。また、実際に使用している状況ではなく、検査等で確認する場合は、反射率が一定の平面へ照射した撮影画像より補正をかけることもできる。

【0084】

本実施例では、VCSEL300とVCSEL400およびVCSEL500を一つのアレイ内に配置し、VCSEL300とVCSEL400からのビームをベースに補正用としてVCSEL500で補正している。一方で、変形例として、VCSEL500のみで構成されるアレイ形態であっても、FFPを好適に制御するという効果を奏する。この

構成では、図 4 A の本実施例と比較して配線電極の本数が多くなり、構成が複雑になり、V C S E L 5 0 0 のアレイ内での配置によっては多層配線が必要となる。しかしながら、V C S E L 5 0 0 のみで構成した場合のメリットとして、遠視野領域からより距離の近い領域でも照明光の分布を対称にできる。具体的には、本実施例の構成ではアレイ内で異なる種類の V C S E L がある固まった領域に配置されているため、遠視野領域よりも近い領域の対象物へ光を照射する場合、上記アレイ内の V C S E L 配置を反映してした照明光の分布が非対称な強度分布となる。この現象は、遠視野領域から近視野領域に近づくにつれて顕著に表れてくる。一方で、V C S E L 5 0 0 のみで配置した場合は、アレイの配置が均一であるため、遠視野領域から近視野領域に近づくにつれて、照明光の強度分布は変化するが、対称性は維持されるというメリットがある。

10

【 0 0 8 5 】

なお、上記遠視野領域と近視野領域については、V C S E L から出射されたビームで規定される領域に加え、T o F システムなどのレンズ等の光学系で変換された後のビームにおける近視野領域も含まれる。光学系で変換後の近視野領域の長さは V C S E L 出射直後のビーム特性から規定される近視野領域の長さよりも長くなることが多く、光学系の設計によっては、この近視野領域での対称性が重要となる場合もある。

【 0 0 8 6 】

また、上記の実施例において、V C S E L 5 0 0 のトンネル接合層 5 4 2 に I T O 層 (透明導電膜) 5 6 3 を用いているが、透明導電膜でなく金属材料の配線を用いてもよい。

【 0 0 8 7 】

20

図 4 D に本変形例に係る V C S E L 5 0 0 の上面図を示す。上述したように、金属配線 5 6 4 がトンネル接合層 5 4 2 への接続に用いられている。ただし、トンネル接合層 5 4 2 の上面には I T O 層 (透明導電膜) 5 6 6 が設けられており、金属配線 5 6 4 と I T O 層 5 6 6 は電氣的に接続している。

【 0 0 8 8 】

本変形例では、金属配線 5 6 4 による遮光によって光の取り出し効率が低下するので、金属配線 5 6 4 の下に絶縁膜 5 6 5 が設けられている。絶縁膜 5 6 5 の光学膜厚は $c / 4$ である。これにより、金属配線 5 6 4 の下での反射率を下げてレーザ発振を妨げることができ、金属配線 5 6 4 の遮光による光取り出し効率低下を低減できる。

【 0 0 8 9 】

30

[第 4 実施例]

図 5 A に本実施例での V C S E L 6 0 0 と V C S E L 7 0 0 を用いた V C S E L アレイ 4 0 を示す。図 5 A では、配線電極やコンタクト領域形状の図示は省略している。本実施形態においては単峰性の F F P のレーザ光を出射する V C S E L 6 0 0 と双峰性の F F P のレーザ光を出射する V C S E L 7 0 0 は大きさが同程度であり、いずれも発光径が $70 \mu m$ 程度となっている。発光径や V C S E L アレイ内の V C S E L の配置は実施例 2 と同様であるが、下記図 5 B や図 5 C の説明で述べるように本実施例の V C S E L は G a A s 基板の裏面から光を出射する形態である点が、実施例 2 と異なる。

【 0 0 9 0 】

図 5 B に V C S E L 6 0 0 の断面模式図を示す。V C S E L 6 0 0 は G a A s 基板 6 0 1 の上に、下部 D B R 6 0 2、半導体共振器部 6 0 3、上部 D B R 6 0 4、トンネル接合層 6 4 2 が積層されて構成されている。

40

【 0 0 9 1 】

共振器部 6 0 3 の中には 3 つの量子井戸層 6 4 0 が配置されている。上部 D B R の一部に、 $Al_{0.98}GaAs$ を水蒸気酸化により酸化することにより絶縁性を持たせた酸化狭窄層 6 0 6 が形成されている。

【 0 0 9 2 】

共振器部 6 0 3 および上部 D B R 6 0 4、トンネル接合層 6 4 2 は筒状のメサ状に加工されており、その上から絶縁膜 6 6 1 で覆われている。図 5 B に示すように、絶縁膜 6 6 1 には、中央部が部分的に除去されて絶縁開口が設けられている。絶縁膜 6 6 1 の上に上

50

部電極 650 が形成されており、メサ状に加工された半導体共振器部 603、上部 DBR 604、絶縁膜 661 およびその絶縁開口を覆っている。上部電極 650 は金属材料からなる。絶縁開口は円形であり、上部電極 650 がトンネル接合層 642 と電氣的に接触している。共通電極 651 は GaAs 基板 601 裏面とオーミックコンタクトしており、光出射部は円形に除去されている。

【0093】

下部 DBR 602 は光学膜厚が $c/4$ の $Al_{0.1}GaAs$ 層と $Al_{0.9}GaAs$ 層を 1 ペアとして、それが 24 ペア積層されて構成されている。 c とは、下部 DBR 602 の高反射帯域の中心波長であり、本実施例では 940 nm である。量子井戸層 640 は厚さ 8 nm の $In_{0.1}GaAs$ 層を 10 nm の $Al_{0.1}GaAs$ 障壁層で挟んだ構成となっている。本実施例では、共振器部 603 に 3 つの量子井戸層を配置している。

【0094】

上部 DBR 604 は、光学膜厚が $c/4$ の $Al_{0.1}GaAs$ 層と $Al_{0.9}GaAs$ 層を 1 ペアとして、それが 40 ペア積層されて構成されている。そして、最上層の $Al_{0.1}GaAs$ 層の一部は、厚さ 50 nm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ の GaAs コンタクト層に置き換わっており、上部電極 650 との電氣的なコンタクト性を改善している。上部 DBR の量子井戸層（活性層）640 に最も近い $Al_{0.1}GaAs$ 層の一部が厚さ 30 nm の $Al_{0.98}GaAs$ 層に置き換わっている。この $Al_{0.98}GaAs$ 層は、VCSEL 600 のメサ形成後に、メサ側壁より水蒸気酸化によりメサ端から所定の長さを酸化することによって、絶縁性を持たせた酸化狭窄層 606 が形成されている。トンネル接合層 642 はキャリア濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ にドーピングされた p 型 GaAs 層とキャリア濃度 $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ にドーピングされた n 型 GaAs 層で構成されている。

【0095】

上部 DBR 604 は下部 DBR 602 と比較して反射率が高くなるようにペア数が設計されており、本実施例の VCSEL 600 は基板裏面側から光を取り出すことができる。

【0096】

本実施例でのトンネル接合層 642 の効果、および好ましい絶縁開口径と非酸化部分の直径の関係は実施例 2 の VCSEL 300 と同様であるため、説明は省略する。

【0097】

図 5C に VCSEL 700 の断面模式図を示す。裏面電極 751 からトンネル接合層 742 までは VCSEL 600 と同じ層構成である。トンネル接合層 742 は図 5C に示すように上部 DBR 704 の最表面のうち、円環状に加工されている。そしてメサ側壁には絶縁膜 761 が設けられている。円環状のトンネル接合層 742 の内径 d_3 は $35\text{ }\mu\text{m}$ であり、外形 d_4 は $45\text{ }\mu\text{m}$ である。そして、表面電極 750 が上部 DBR 704、絶縁膜 761、トンネル接合層 742 を覆っている。表面電極 750 は DBR 704 と直接接しているが、主に電流が流れるのは円環状に加工されたトンネル接合層 742 を介した経路となる。これは、表面電極 750 は n 型の GaAs 層とオーミックコンタクトを取れる電極材料であり、DBR 704 とはショットキー接触となるためである。

【0098】

上部 DBR 704 は下部 DBR 702 と比較して反射率が高くなるようにペア数が設計されており、本実施例の VCSEL 700 は基板裏面側から光を取り出すことができる。

【0099】

VCSEL 700 においては、トンネル接合層 742 を介した電流広がり効果については実施例 2 の VCSEL 400 と同様であるので、ここでの説明は省略する。

【0100】

[第 5 実施例]

図 6 は、実施例 2 に記載の VCSEL アレイ（面発光レーザアレイ）20 を光源に使用したレーザ画像検出と測距（light detection and ranging, LiDAR）装置である。

【0101】

図 6 に示すように、測距装置 1 0 0 0 は、全体制御部 1 0 1 0、V C S E L アレイドライバ 1 0 2 0、V C S E L アレイ 2 0、発光側光学系 1 0 4 0、受光側光学系 1 0 6 0、受光イメージセンサ 1 0 7 0、距離データ処理部 1 0 8 0 で構成されている。

【 0 1 0 2 】

本実施例では、実施例 2 に記載の V C S E L アレイを用いているが、本発明はこれに限られることはなく、その他の実施例に記載した V C S E L アレイを用いてもよい。

【 0 1 0 3 】

発光側光学系 1 0 4 0、受光側光学系 1 0 6 0 は図 6 では 1 枚の凸レンズ形状の部材で表現されているが、1 枚の凸レンズ系のみから構成されるものではなく、複数のレンズを組み合わせたレンズ群から構成されている。受光イメージセンサ 1 0 7 0 は、受光タイミングを検知可能な光センサーを 2 次元アレイ状に配列したイメージセンサである。 10

【 0 1 0 4 】

測距装置 1 0 0 0 の動作の概要は以下である。まず、全体制御部 1 0 1 0 から面発光レーザアレイドライバ 1 0 2 0 に駆動信号が出る。駆動信号を受けて、面発光レーザアレイドライバ 1 0 2 0 は面発光レーザアレイ 1 0 3 0 に所定の電流値の電流を注入し、面発光レーザアレイ 1 0 3 0 を発振させる。面発光レーザアレイ 1 0 3 0 で発生したレーザ光は発光側光学系 1 0 4 0 を通して、測定対象物 1 2 0 0 にあたり、測定対象物 1 2 0 0 で反射した反射光は受光側光学系 1 0 6 0 を通して受光イメージセンサ 1 0 7 0 に入射する。距離データ処理部 1 0 8 0 は、受光イメージセンサ 1 0 7 0 と電氣的に接続されていればよい。そのため、受光イメージセンサ 1 0 7 0 と同じパッケージ内に配置されていても、別パッケージに実装されていて、回路基板などで電氣的に接続されていても良い。 20

【 0 1 0 5 】

受光イメージセンサ 1 0 7 0 の各画素から出力される電気信号パルスは距離データ処理部 1 0 8 0 に入力される。距離データ処理部 1 0 8 0 は、受光イメージセンサ 1 0 7 0 の各画素から出力される電気信号パルスの時間（検出タイミング）と面発光レーザアレイドライバ 1 0 2 0 の発光タイミングの時間から、光伝搬方向の距離情報を算出し、3 次元情報が生成、出力される。

【 0 1 0 6 】

このようにして測距装置 1 0 0 0 は 3 次元情報を出力することができる。

【 0 1 0 7 】

測距装置 1 0 0 0 は、自動車分野において、他の車両と衝突しない制御、他の車両に追従して自動運転する制御などに適用可能である。さらに、船舶、航空機或いは産業用ロボットなどの移動体（移動装置）および、移動体検出システムなどに使用できる。さらに、広く物体を距離情報を含めて 3 次元的に認識を利用する機器に適用することができる。 30

【 0 1 0 8 】

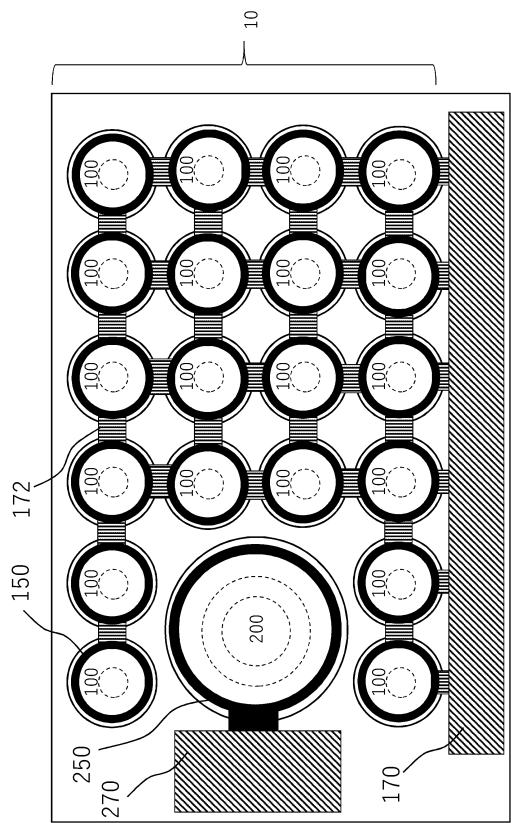
3 次元情報の用途は上記以外に限定されない。例えば、距離情報を画像処理に利用してもよい。現実空間の画像を取得して仮想物体を重畳して表示する際に、現実空間の 3 次元情報を使用することで、仮想物体を現実世界の上に違和感なく表示できる。また、画像取得時に 3 次元情報を合わせて取得することで、撮影後に 3 次元情報に基づいてボケ味を修正することができる。 40

【 符号の説明 】

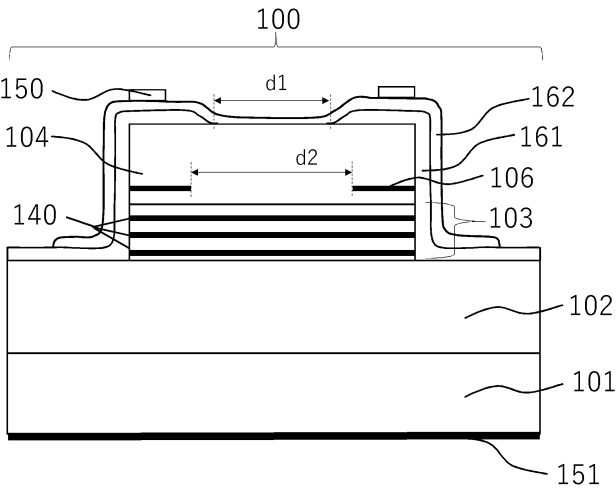
【 0 1 0 9 】

1 0 0 , 2 0 0 : V C S E L
1 0 1 , 2 0 1 : G a A s 基板（半導体基板）
1 0 2 , 2 0 2 : 下部 D B R（第 1 の反射鏡）
1 0 3 , 2 0 3 : 半導体共振器部
1 0 4 , 2 0 4 : 上部 D B R（第 2 の反射鏡）

【図面】
【図 1 A】



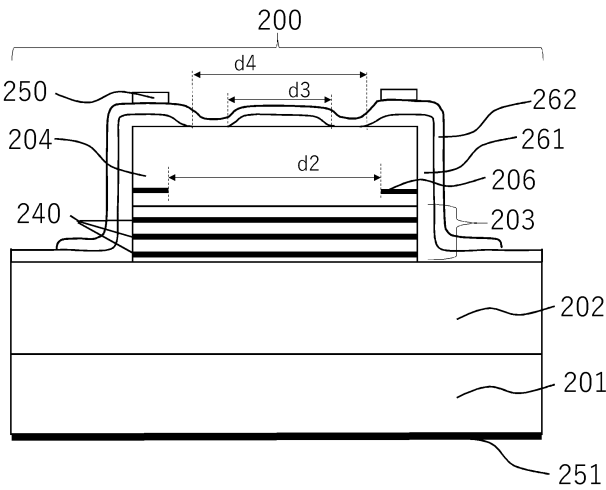
【図 1 B】



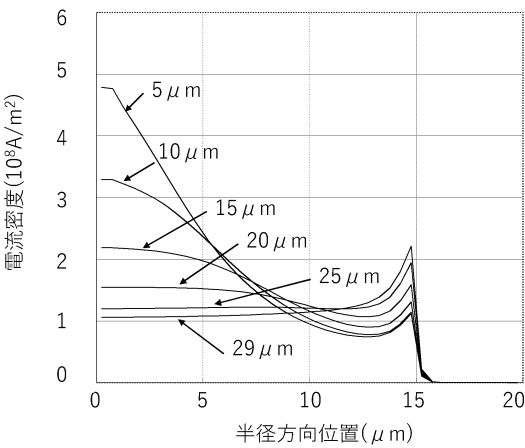
10

20

【図 1 C】



【図 2 A】

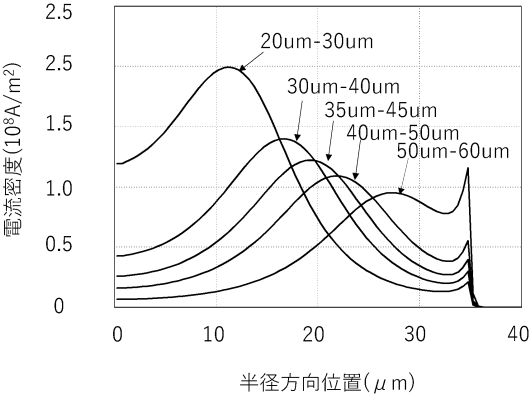


30

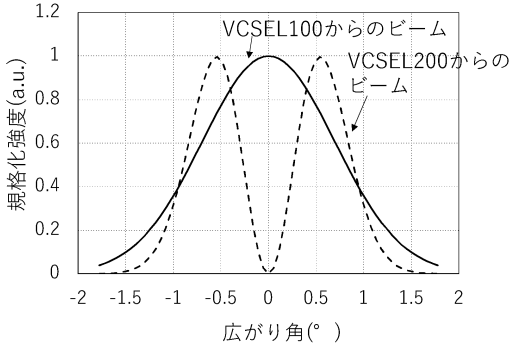
40

50

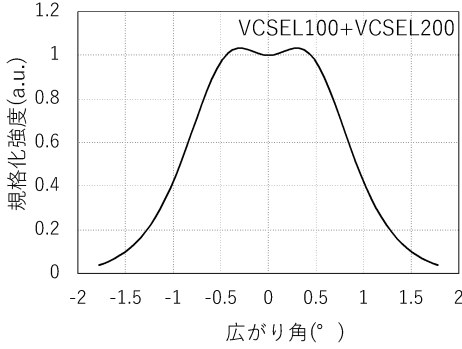
【図 2 B】



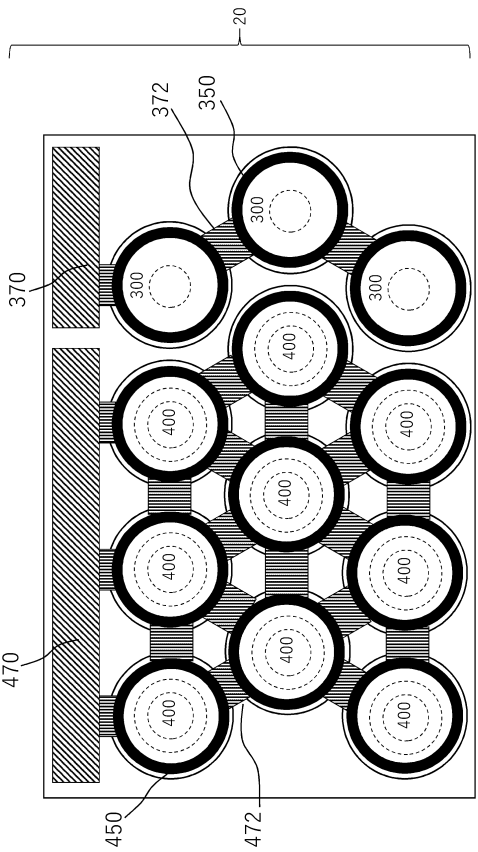
【図 2 C】



【図 2 D】



【図 3 A】



10

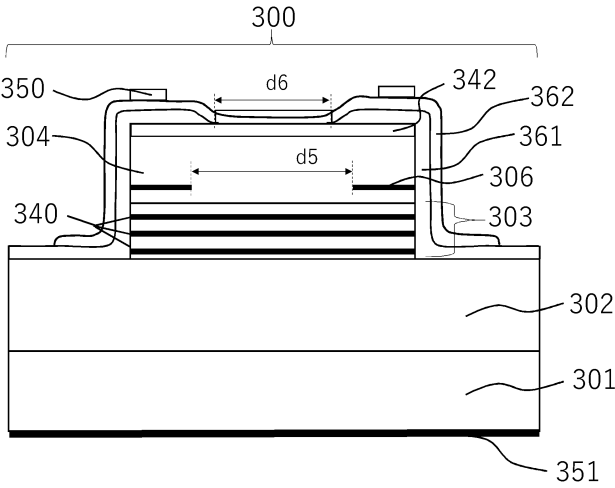
20

30

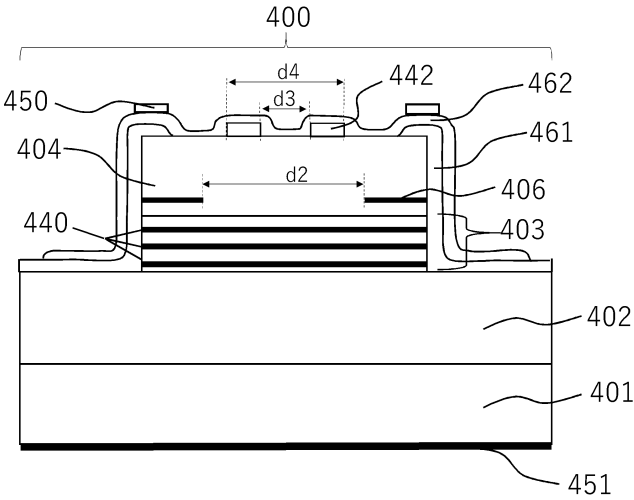
40

50

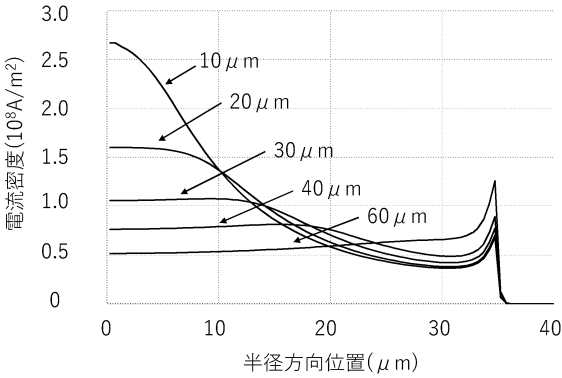
【図 3 B】



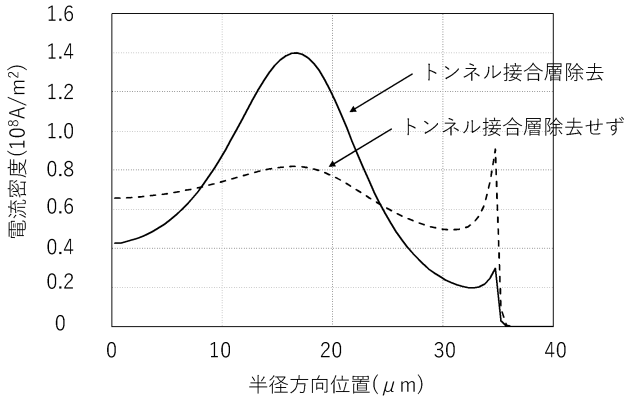
【図 3 C】



【図 3 D】



【図 3 E】



10

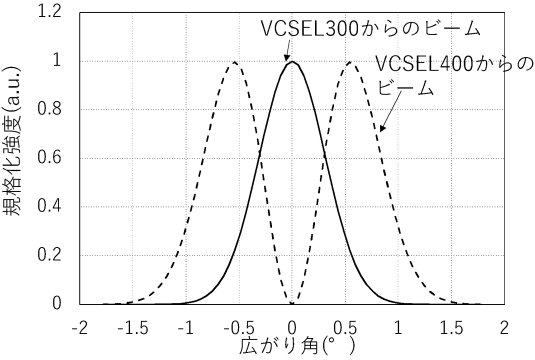
20

30

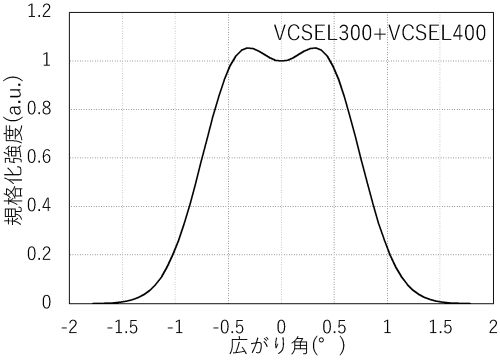
40

50

【図 3 F】

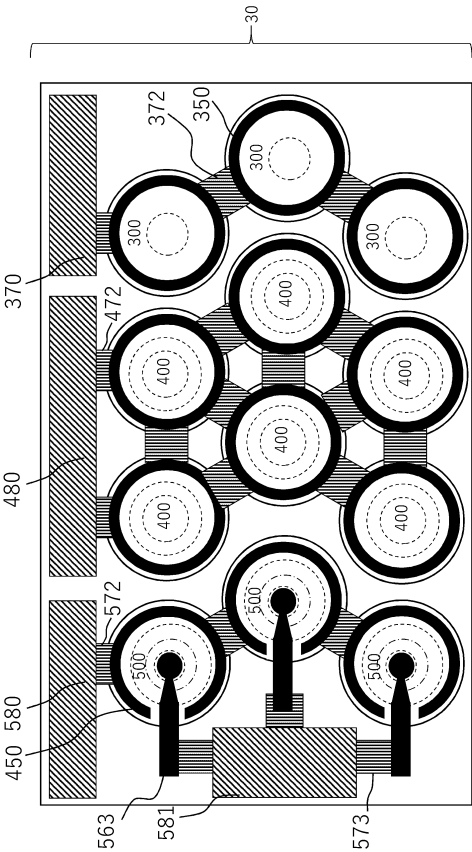


【図 3 G】

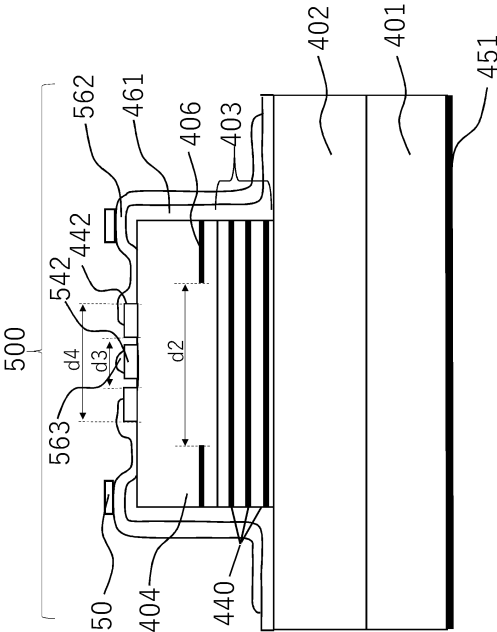


10

【図 4 A】



【図 4 B】



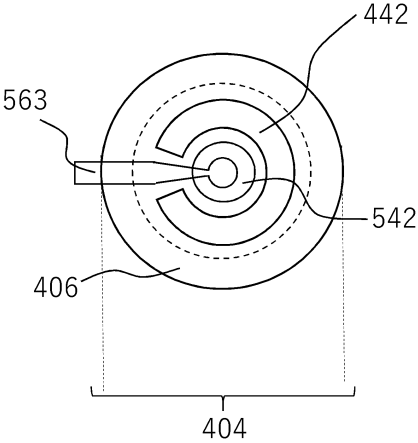
20

30

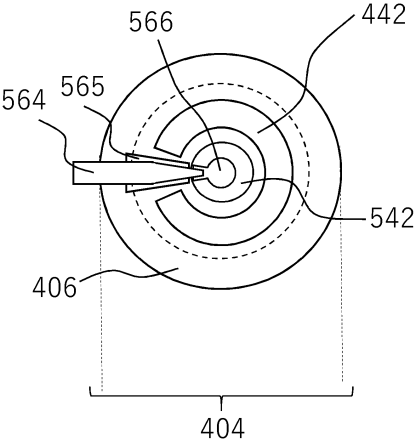
40

50

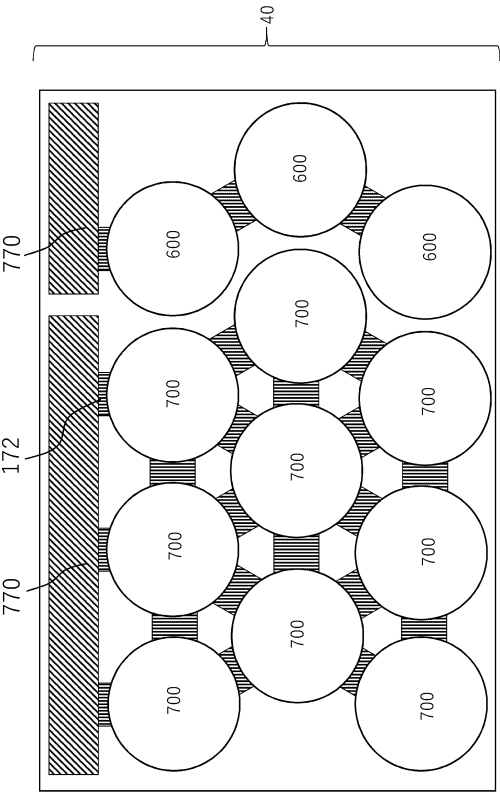
【図 4 C】



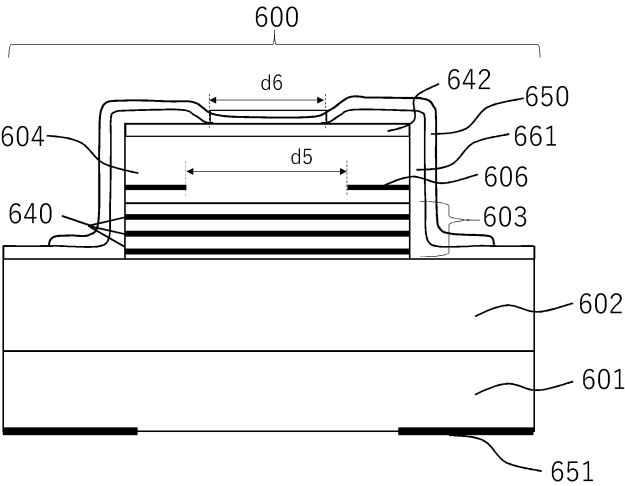
【図 4 D】



【図 5 A】



【図 5 B】



10

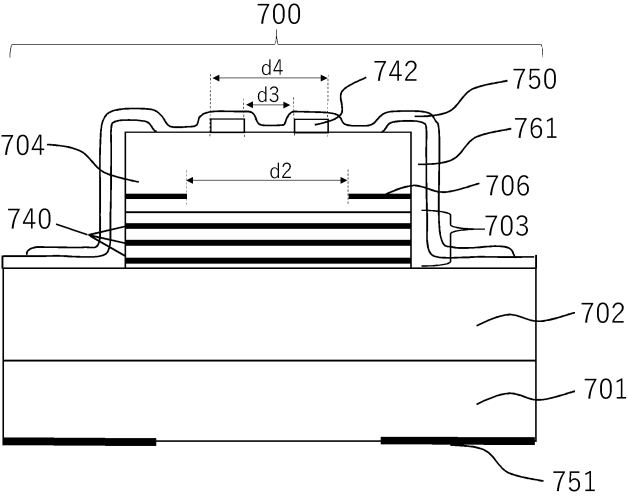
20

30

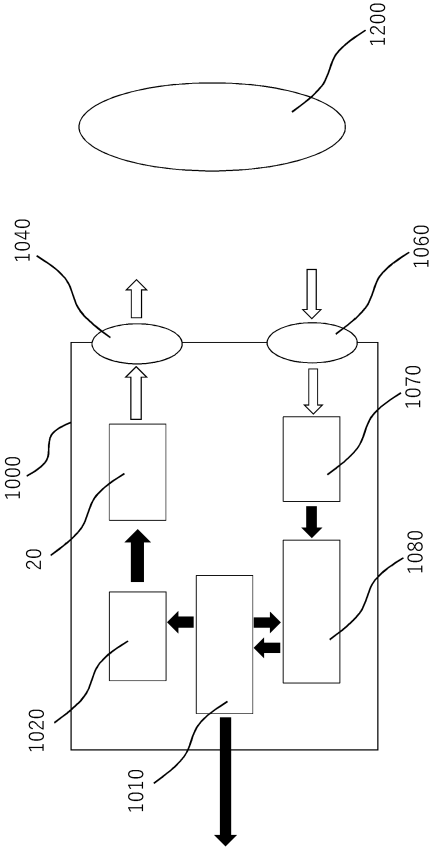
40

50

【 図 5 C 】



【 図 6 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

F ターム (参考) AC53 AD04 AF78 AH03 AK21 AR52