

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7541994号
(P7541994)

(45)発行日 令和6年8月29日(2024.8.29)

(24)登録日 令和6年8月21日(2024.8.21)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 S 5/183(2006.01)

H 0 1 S 5/183

請求項の数 16 (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-556071(P2021-556071)	(73)特許権者	316005926
(86)(22)出願日	令和2年11月6日(2020.11.6)		ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/041560		神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号
(87)国際公開番号	WO2021/095660	(74)代理人	110001357
(87)国際公開日	令和3年5月20日(2021.5.20)		弁理士法人つばさ国際特許事務所
審査請求日	令和5年10月5日(2023.10.5)	(72)発明者	木村 秀樹
(31)優先権主張番号	特願2019-207371(P2019-207371)		神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号
(32)優先日	令和1年11月15日(2019.11.15)		ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	渡部 義昭
			神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号
			ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内
		(72)発明者	山内 義則

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 発光素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電流の注入によって発光する活性層と、前記活性層を挟んで第1方向に積層された第1の反射器、及び第2の反射器とを含む積層構造を有する光射出部と、

前記第1方向における前記積層構造からの光の射出面にて前記光射出部の周囲に対称性を有して設けられ、前記第1方向に前記積層構造を掘り込んだ分離溝と、

前記分離溝の前記射出面における最外周形状よりも外側の前記積層構造に設けられ、前記光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域とを備え、

前記高抵抗領域の前記積層構造は、不純物元素を含み、

前記不純物元素の含有量は、前記第1方向に分布を有し、

前記不純物元素の含有量の分布は、前記第1方向において、前記活性層が設けられた深さにピークを有する

発光素子。

【請求項2】

前記高抵抗領域には、前記活性層に電流を注入する電極、及び前記電極と電氣的に接続する配線が設けられる、請求項1に記載の発光素子。

【請求項3】

前記射出面と、前記活性層との間には、前記第1方向と垂直な面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられる、請求項1に記載の発光素子。

【請求項4】

前記酸化領域は、前記未酸化領域の周囲を連続して囲む、請求項 3 に記載の発光素子。

【請求項 5】

前記分離溝の前記射出面からの掘り込み深さは、前記活性層が設けられた深さよりも深い、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 6】

前記分離溝は、前記光射出部を囲む環形状の溝を含む、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 7】

前記分離溝は、前記光射出部の周囲に互いに離隔されて対称的に配列された複数の溝を含む、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 8】

前記高抵抗領域は、前記射出面から前記第 1 方向に前記活性層が設けられる深さよりも深く広がって設けられる、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 9】

前記不純物元素は、H、C、B、O、Ar、Al、Ga、又はAsのいずれか 1 つ以上を含む、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 10】

前記不純物元素の含有量は、 5×10^{13} 個 / cm^2 以上である、請求項 9 に記載の発光素子。

【請求項 11】

前記不純物元素は、H である、請求項 9 に記載の発光素子。

【請求項 12】

前記不純物元素の含有量は、 5×10^{14} 個 / cm^2 以上である、請求項 11 に記載の発光素子。

【請求項 13】

前記射出面と、前記活性層との間には、前記射出面の面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられ、

前記不純物元素の含有量の分布は、前記第 1 方向において、前記電流狭窄層が設けられた深さにピークを有する、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 14】

前記第 1 の反射器、及び前記第 2 の反射器は、それぞれ多層膜反射鏡にて設けられる、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 15】

前記活性層は、GaAs 系半導体を含む、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 16】

電流の注入によって発光する活性層と、前記活性層を挟んで第 1 方向に積層された第 1 の反射器、及び第 2 の反射器とを含む積層構造を有する光射出部と、

前記第 1 方向における前記積層構造からの光の射出面にて前記光射出部の周囲に対称性を有して設けられ、前記第 1 方向に前記積層構造を掘り込んだ分離溝と、

前記分離溝の前記射出面における最外周形状よりも外側の前記積層構造に設けられ、前記光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域とを備え、

前記高抵抗領域の前記積層構造は、不純物元素を含み、

前記不純物元素の含有量は、前記第 1 方向に分布を有し、

前記射出面と、前記活性層との間には、前記射出面の面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられ、

前記不純物元素の含有量の分布は、前記第 1 方向において、前記電流狭窄層が設けられた深さにピークを有する

発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本開示は、発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、インターネット上で送受信されるデータ量の爆発的な増大に伴って、データセンタ内での近距離通信に光ファイバーを用いた光通信を採用することが増加している。光ファイバーを用いた光通信の光源としては、例えば、垂直共振器型面発光半導体レーザ（Vertical Cavity Surface Emitting Laser：VCSEL）が用いられる（例えば、特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0003】

【文献】特開2003-309325号公報

【発明の概要】

【0004】

そこで、光通信の速度及び品質を向上させるために、光源として用いられる発光素子の変調速度の向上が望まれている。

【0005】

したがって、高周波特性が向上した発光素子を提供することが望ましい。

【0006】

本開示の一実施形態に係る第1の発光素子は、電流の注入によって発光する活性層と、前記活性層を挟んで第1方向に積層された第1の反射器、及び第2の反射器とを含む積層構造を有する光射出部と、前記第1方向における前記積層構造からの光の射出面にて前記光射出部の周囲に対称性を有して設けられ、前記第1方向に前記積層構造を掘り込んだ分離溝と、前記分離溝の前記射出面における最外周形状よりも外側の前記積層構造に設けられ、前記光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域とを備えたものであり、前記高抵抗領域の前記積層構造は、不純物元素を含み、前記不純物元素の含有量は、前記第1方向に分布を有し、前記不純物元素の含有量の分布は、前記第1方向において、前記活性層が設けられた深さにピークを有する。本開示の一実施形態に係る第2の発光素子は、電流の注入によって発光する活性層と、前記活性層を挟んで第1方向に積層された第1の反射器、及び第2の反射器とを含む積層構造を有する光射出部と、前記第1方向における前記積層構造からの光の射出面にて前記光射出部の周囲に対称性を有して設けられ、前記第1方向に前記積層構造を掘り込んだ分離溝と、前記分離溝の前記射出面における最外周形状よりも外側の前記積層構造に設けられ、前記光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域とを備えたものであり、前記高抵抗領域の前記積層構造は、不純物元素を含み、前記不純物元素の含有量は、前記第1方向に分布を有し、前記射出面と、前記活性層との間には、前記射出面の面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられ、前記不純物元素の含有量の分布は、前記第1方向において、前記電流狭窄層が設けられた深さにピークを有する。

20

30

【0007】

本開示の一実施形態に係る第1の発光素子および一実施形態に係る第2の発光素子によれば、電流の注入によって発光する活性層と、活性層を挟んで第1方向に積層された第1の反射器、及び第2の反射器とを含む積層構造を有する光射出部の周囲に、積層構造を掘り込んだ分離溝が対称性を有して設けられ、分離溝の最外周形状よりも外側の積層構造に光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域が設けられる。これにより、例えば、発光素子は、発光素子の電極又は配線の各々にて生じる寄生容量を低減することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本開示の一実施形態に係る発光素子の構成を示す上面図である。

【図2】同実施形態に係る発光素子の構成を示す縦断面図である。

【図3】高抵抗領域の積層構造の積層方向における元素濃度の分布の一例を示すグラフ図

50

である。

【図 4】高抵抗領域が設けられる領域の一例を示す発光素子の上面図である。

【図 5】高抵抗領域が設けられる領域の一例を示す発光素子の上面図である。

【図 6】同実施形態に係る発光素子の製造方法の流れを説明するフローチャート図である。

【図 7】同実施形態に係る発光素子の製造方法の一工程を説明する縦断面図である。

【図 8】同実施形態に係る発光素子の製造方法の一工程を説明する縦断面図である。

【図 9】同実施形態に係る発光素子の製造方法の一工程を説明する縦断面図である。

【図 10】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状を示す平面図である。

【図 11 A】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【図 11 B】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【図 11 C】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【図 11 D】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【図 11 E】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【図 11 F】分離溝、及び電流狭窄領域の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本開示における実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。以下で説明する実施形態は本開示の一具体例であって、本開示にかかる技術が以下の態様に限定されるわけではない。また、本開示の各構成要素の配置、寸法、及び寸法比等についても、各図に示す態様に限定されるわけではない。

【0010】

なお、説明は以下の順序で行う。

1. 発光素子の構成
2. 作用効果
3. 発光素子の製造方法

【0011】

< 1. 発光素子の構成 >

まず、図 1 及び図 2 を参照して、本開示の一実施形態に係る発光素子 1 の構成について説明する。図 1 は、本実施形態に係る発光素子 1 の構成を示す上面図であり、図 2 は、本実施形態に係る発光素子 1 の構成を示す縦断面図である。図 2 では、図 1 の A - A 線で切断した断面図を模式的に示している。

【0012】

図 1 及び図 2 に示すように、本実施形態に係る発光素子 1 は、面発光型の半導体レーザである。

【0013】

発光素子 1 は、基板 140 の第 1 面側（すなわち、表面側）に積層構造 100 を備える。積層構造 100 は、基板 140 側から順に、第 1 の反射器 110、第 1 スペーサ層 131、活性層 130、第 2 スペーサ層 132、電流狭窄層 121、及び第 2 の反射器 120 を積層することで設けられる。

【0014】

また、積層構造 100 には、第 1 の反射器 110 の一部、第 1 スペーサ層 131、活性層 130、第 2 スペーサ層 132、電流狭窄層 121、及び第 2 の反射器 120 を積層方向に環状に掘り込む分離溝 153 が設けられる。分離溝 153 の内部には、第 1 絶縁層 144 を介して分離層 152 が設けられる。分離溝 153、及び分離層 152 の内側の領域の積層構造 100 は、レーザを射出する光射出部 E m として機能する。

【0015】

基板 140 は、例えば、n 型の GaAs 基板である。より詳細には、基板 140 は、（100）面の GaAs 基板であってもよく、（n11）面の GaAs 基板（n は整数）であってもよい。

【0016】

10

20

30

40

50

第1の反射器110は、低屈折率層及び高屈折率層の組を交互に複数組積層した多層膜反射鏡である。例えば、第1の反射器110は、厚みが λ_0/n_1 (λ_0 は、活性層130の発振波長、 n_1 は、低屈折率層の屈折率)のn型 $Al_{x1}Ga_{1-x1}As$ ($0 < x1 < 1$)で構成された低屈折率層と、厚みが λ_0/n_2 (λ_0 は、活性層130の発振波長、 n_2 は、高屈折率層の屈折率)のn型 $Al_{x2}Ga_{1-x2}As$ ($0 < x2 < x1$)で構成された高屈折率層とを交互に積層した多層膜反射鏡であってよい。

【0017】

第1スペーサ層131は、例えば、n型 $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$ ($0 < x3 < 1$)で構成され、第2スペーサ層132は、例えば、p型 $Al_{x5}Ga_{1-x5}As$ ($0 < x5 < 1$)で構成される。第2スペーサ層132に含まれるp型不純物は、例えば、炭素(C)、ベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、又は亜鉛(Zn)などであってもよい。活性層130は、例えば、アンドープの $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$ ($0 < x4 < 1$)で構成され、電流の注入によって発光する。具体的には、活性層130では、電流の注入によって、後述する電流狭窄層121の電流注入領域121Aと対向する領域が発光する。

10

【0018】

第2の反射器120は、低屈折率層及び高屈折率層の組を交互に複数組積層した多層膜反射鏡である。例えば、第2の反射器120は、厚みが λ_0/n_3 (λ_0 は、活性層130の発振波長、 n_3 は、低屈折率層の屈折率)のp型 $Al_{x6}Ga_{1-x6}As$ ($0 < x6 < 1$)で構成された低屈折率層と、厚みが λ_0/n_4 (λ_0 は、活性層130の発振波長、 n_4 は、高屈折率層の屈折率)のp型 $Al_{x7}Ga_{1-x7}As$ ($0 < x7 < x1$)で構成された高屈折率層とを交互に積層した多層膜反射鏡であってよい。第2の反射器120を構成する低屈折率層及び高屈折率層に含まれるp型不純物は、例えば、炭素(C)、ベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、又は亜鉛(Zn)などであってもよい。

20

【0019】

電流狭窄層121は、第2の反射器120の活性層130側から数層程度離れた低屈折率層に替えて、第2の反射器120の内部に設けられる。電流狭窄層121は、積層方向と垂直な面内方向において、電流注入領域121Aと、電流狭窄領域121Bとを備える。電流注入領域121Aは、p型 $Al_{x8}Ga_{1-x8}As$ ($0 < x8 < 1$)で構成された領域である。電流狭窄領域121Bは、酸化アルミニウム(Al_2O_3)を含んで構成され、電流注入領域121Aの外縁領域に設けられた領域である。この構成によれば、電流狭窄層121は、電流が流れる領域を電流注入領域121Aに狭窄することができる。

30

【0020】

なお、電流狭窄領域121Bは、分離溝153を形成した際に、分離溝153の側面から電流狭窄層121に含まれる高濃度のアルミニウム(Al)を酸化することで形成することができる。例えば、電流狭窄領域121Bは、 $AlAs$ (ヒ化アルミニウム)で構成された電流狭窄層121を分離溝153の側面から酸化した酸化領域として設けられてもよい。また、電流注入領域121Aは、 $AlAs$ (ヒ化アルミニウム)で構成された電流狭窄層121の未酸化領域として設けられてもよい。

【0021】

分離溝153は、環状形状の平面形状を有し、積層構造100を積層方向に少なくとも活性層130よりも深い領域まで掘り込む溝である。分離溝153は、光射出部Emを他の領域から電氣的又は光学的に分離するために設けられる。例えば、分離溝153は、第2の反射器120、電流狭窄層121、第2スペーサ層132、活性層130、及び第1スペーサ層131を貫通し、第1の反射器110の一部まで達するまで積層構造100を掘り込むことで設けられてもよい。

40

【0022】

第1絶縁層144は、絶縁性材料によって、分離溝153の内側を覆うように設けられる。具体的には、第1絶縁層144は、窒化シリコン(SiN)等によって分離層152の内側の底面及び側面を覆うように設けられてもよい。

【0023】

50

分離層 152 は、有機樹脂によって、第 1 絶縁層 144 を介して分離溝 153 の内部を埋め込むように設けられる。例えば、分離層 152 は、低誘電率樹脂の一種であるベンゾシクロブテン（BCB）によって分離溝 153 の内部を埋め込むことで設けられてもよい。
【0024】

光射出部 Em の積層構造 100 の第 2 の反射器 120 側の表面には、環状形状の第 2 電極 160 が設けられる。第 2 電極 160 は、光射出部 Em の外側の積層構造 100 の上に第 1 絶縁層 144、パッド台部 151、及び第 2 絶縁層 161 を介して設けられた第 2 電極パッド 164 と電氣的に接続される。

【0025】

第 2 電極 160 は、電流注入領域 121 A に対向する領域を開口した環状形状にて、積層構造 100 の第 2 の反射器 120 側の表面に設けられる。ただし、第 2 電極 160 は、電流注入領域 121 A に対向する領域を覆わない形状であれば、環状形状以外の形状であってもよい。第 2 電極 160 は、例えば、第 2 の反射器 120 側から順に、金（Au）及びゲルマニウム（Ge）の合金と、金（Au）及びニッケル（Ni）の合金とを積層することで設けられてもよい。

【0026】

基板 140 の積層構造 100 が設けられた第 1 面と反対側の第 2 面（すなわち、裏面）には、第 1 電極 141 が設けられる。第 1 電極 141 は、積層構造 100 を貫通する開口 145 の内部に設けられた第 1 電極コンタクト 142、143 によって、光射出部 Em の外側の積層構造 100 の上に第 1 絶縁層 144、パッド台部 151、及び第 2 絶縁層 161 を介して設けられた第 1 電極パッド 163 と電氣的に接続される。

【0027】

第 1 電極 141 は、基板 140 の第 2 面の全面に広がって設けられる。第 1 電極 141 は、例えば、基板 140 側から順に、金（Au）及びゲルマニウム（Ge）の合金と、金（Au）及びニッケル（Ni）の合金とを積層することで設けられてもよい。

【0028】

第 1 電極コンタクト 142、143 は、積層構造 100 を貫通して基板 140 に達するまで掘り込まれた開口 145 の内側に設けられ、第 1 電極 141 と第 1 電極パッド 163 とを電氣的に接続する。具体的には、第 1 電極コンタクト 142 は、開口 145 の底面に設けられる。第 1 電極コンタクト 143 は、開口 145 の底面及び側面に第 1 電極コンタクト 142 及び第 1 絶縁層 144 を介して設けられる。第 1 電極コンタクト 142、143 は、第 1 電極 141 側から順に、金（Au）及びゲルマニウム（Ge）の合金と、金（Au）及びニッケル（Ni）の合金とを積層することで設けられてもよい。

【0029】

パッド台部 151 は、分離層 152 と連続した絶縁層として、光射出部 Em の外側の領域に設けられる。具体的には、パッド台部 151 は、光射出部 Em の外側の領域の積層構造 100 の表面に、第 1 絶縁層 144 を介して、分離層 152 を形成する有機樹脂を積層することで設けられる。分離層 152 と同様に、パッド台部 151 がベンゾシクロブテンなどの低誘電率樹脂で設けられる場合、発光素子 1 は、第 2 電極パッド 164 及び第 1 電極パッド 163 と、積層構造 100 との間の容量を低減することができる。

【0030】

第 2 絶縁層 161 は、パッド台部 151、分離層 152、及び積層構造 100 の表面に絶縁性材料にて設けられる。具体的には、第 2 絶縁層 161 は、第 2 電極 160 と第 2 電極パッド 164 との電氣的な接点、及び第 1 電極コンタクト 143 と第 1 電極パッド 163 との電氣的な接点を除いて、発光素子 1 の表面形状に沿って一様の厚みで設けられてもよい。第 2 絶縁層 161 は、例えば、窒化シリコン（SiN）等の絶縁性のシリコン化合物にて設けられてもよい。

【0031】

第 2 電極パッド 164 は、光射出部 Em に隣接するパッド台部 151 の上に第 2 絶縁層 161 を介して設けられる。第 2 電極パッド 164 は、第 2 電極 160 と電氣的に接続し

10

20

30

40

50

ており、第2電極160と外部との接続端子として機能する。第2電極パッド164は、例えば、パッド台部151側から順に、チタン(Ti)、白金(Pt)、及び金(Au)を積層することで設けることができる。

【0032】

第1電極パッド163は、第2電極パッド164が設けられたパッド台部151とは異なる領域のパッド台部151の上に第2絶縁層161を介して設けられる。第1電極パッド163は、第1電極コンタクト143と電氣的に接続しており、第1電極141と外部との接続端子として機能する。第1電極パッド163は、例えば、パッド台部151側から順に、チタン(Ti)、白金(Pt)、及び金(Au)を積層することで設けることができる。

10

【0033】

第3絶縁層162は、第2電極パッド164、第1電極パッド163、及び第2絶縁層161の表面に絶縁性材料にて設けられる。具体的には、第3絶縁層162は、第2電極パッド164の上の一部領域、及び第1電極パッド163の上の一部領域を除いた発光素子1の表面形状に沿って一様の厚みで設けられてもよい。第3絶縁層162は、例えば、窒化シリコン(SiN)等の絶縁性のシリコン化合物にて設けられてもよい。

【0034】

ここで、本実施形態に係る発光素子1では、光射出部Em、及び分離層152の外側の領域が高抵抗領域Hrとして設けられる。高抵抗領域Hrは、積層構造100の電気抵抗が光射出部Emの積層構造100の電気抵抗よりも高い領域である。高抵抗領域Hrは、第2の反射器120側から活性層130が設けられる深さよりも深い領域にかけて積層構造100に不純物元素を導入することで設けられる。

20

【0035】

積層構造100に導入されることで積層構造100の電気抵抗を増大させる不純物は、例えば、水素(H)、炭素(C)、ホウ素(B)、酸素(O)、アルゴン(Ar)、アルミニウム(Al)、ガリウム(Ga)、又はヒ素(As)のいずれか1つ以上であってもよい。例えば、高抵抗領域Hrは、イオン注入法を用いて、C、B、O、Ar、Al、Ga、又はAsのいずれか1つ以上を積層構造100に 5×10^{13} 個/cm²以上の濃度で導入することで形成されてもよい。または、高抵抗領域Hrは、イオン注入法を用いて、Hを積層構造100に 5×10^{14} 個/cm²以上の濃度で導入することで形成されてもよい。積層構造100に導入する不純物元素がHである場合、イオン注入法にて不純物元素を積層構造100に導入する際のエネルギーが小さくなるため、高抵抗領域Hrを形成する工程のコストを低減することができる。

30

【0036】

また、高抵抗領域Hrの積層構造100は、積層方向に不純物元素の濃度分布を有する。例えば、高抵抗領域Hrの積層構造100では、活性層130又は電流狭窄層121が設けられた深さに不純物元素の濃度ピークを有していてもよい。活性層130又は電流狭窄層121が設けられた深さに不純物元素の濃度ピークが存在するように積層構造100に不純物元素が導入された場合、積層構造100には、所望の深さまでより確実に不純物元素が導入される。したがって、発光素子1では、より確実に積層構造100が高抵抗化され、高抵抗領域Hrが形成される。

40

【0037】

高抵抗領域Hrの積層構造100における不純物元素の濃度分布の一例を図3に示す。図3は、高抵抗領域Hrの積層構造100の積層方向における元素濃度の分布の一例を示すグラフ図である。

【0038】

図3に示すグラフ図は、不純物元素としてH(水素)を積層構造100に導入した場合の積層方向におけるH(水素)、Ga(ガリウム)、及びAl(アルミニウム)の元素濃度の分布の一例を示す。図3に示すグラフ図は、積層構造100の元素濃度を二次イオン資料分析法(Secondary Ion Mass Spectrometry: SIM

50

S)によって分析した結果の一例を示す。

【0039】

図3に示すグラフ図では、Gaの濃度が顕著に低下している領域が電流狭窄層121(より具体的には、電流狭窄領域121B)に相当し、Alの濃度が幅広く低下している領域が活性層130に相当する。したがって、活性層130を境にしてより浅い領域が第2の反射器120に相当し、活性層130を境にしてより深い領域が第1の反射器110に相当する。

【0040】

図3に示すように、積層構造100におけるHの元素濃度は、第2の反射器120を構成する多層膜反射鏡の各層のAl濃度差に起因するSIMSのマトリックス効果によって信号が振動しているものの、第2の反射器120側から深さ方向に向かって徐々に高くなり、電流狭窄層121又は活性層130が設けられた深さ付近でピークを取る。このような濃度分布で積層構造100にHが導入された場合、第2の反射器120側の積層構造100に十分なHが導入されるため積層構造100がより確実に高抵抗化される。

10

【0041】

このような高抵抗領域Hrを設けることによって、発光素子1では、第2電極パッド164及び第1電極パッド163に生じる寄生容量をより低減することができる。

【0042】

さらに、図4及び図5を参照して、高抵抗領域Hrが設けられる領域の一例について説明する。図4及び図5は、高抵抗領域Hrが設けられる領域の一例を示す発光素子1の上面図である。

20

【0043】

例えば、図4に示すように、高抵抗領域Hr1は、光射出部Em、及び分離層152を除いた領域に設けられてもよい。このような領域に高抵抗領域Hr1を設けることによって、発光素子1は、配線又は電極の各々に生じる寄生容量をより低減することができる。

【0044】

また、図5に示すように、高抵抗領域Hr2は、第2電極パッド164、第1電極パッド163、第1電極コンタクト142、143、及びこれらを電氣的に接続する配線が設けられた領域に設けられてもよい。このような電流の経路となる領域に限って高抵抗領域Hr2を設けることによって、発光素子1は、より少ない量の不純物元素の導入にて効率的に配線又は電極の各々に生じる寄生容量を低減することができる。

30

【0045】

<2.作用効果>

続いて、本実施形態に係る発光素子1の作用効果について説明する。

【0046】

本実施形態に係る発光素子1では、第2電極パッド164、及び第1電極パッド163を介して、第2電極160と、第1電極141との間に所定の電圧が印加される。これにより、電流狭窄層121の電流注入領域121Aを通して活性層130に電流が注入され、活性層130にて電子と正孔との再結合による発光が生じる。活性層130から発せられた光は、第1の反射器110及び第2の反射器120で反射されることで、所定の波長にてレーザ発振を生じさせ、レーザビームとして光射出部Emから射出される。すなわち、本実施形態に係る発光素子1は、面発光型の半導体レーザとして機能する。

40

【0047】

ここで、本実施形態に係る発光素子1は、例えば、光ファイバーによる光通信の光源として用いられる。そのため、光通信の通信速度又は通信品質を向上させるためには、発光素子1では、変調速度などの高周波特性を向上させることが求められている。

【0048】

発光素子1の変調速度を向上させるためには、例えば、発光素子1の抵抗R及び容量Cによって定まるCR時定数を低減することで、発光素子1の電氣的制限を低減することが考えられる。

50

【 0 0 4 9 】

本実施形態に係る発光素子 1 では、少なくとも分離溝 1 5 3 の外側の第 2 電極パッド 1 6 4、第 1 電極パッド 1 6 3、及び第 1 電極コンタクト 1 4 2、1 4 3 が設けられる領域の積層構造 1 0 0 を高抵抗化することで、第 2 電極パッド 1 6 4、及び第 1 電極パッド 1 6 3 等に生じる寄生容量を低減することができる。これによれば、発光素子 1 は、C R 時定数を低減することができるため、変調速度などの高周波特性を向上させることができる。

【 0 0 5 0 】

なお、分離溝 1 5 3 の内側の光射出部 E m の外縁部の積層構造 1 0 0 を同様に高抵抗化することで、光射出部 E m に生じる寄生容量を低減し、発光素子 1 の容量 C をさらに低減することも可能である。しかしながら、光射出部 E m を含む分離溝 1 5 3 の内側の積層構造 1 0 0 を高抵抗化した場合、光射出部 E m にて電流が流れる経路を狭めてしまうため、発光素子 1 の抵抗 R を上昇させてしまう。そのため、このような場合、発光素子 1 では、容量 C の低減が抵抗 R の上昇によって相殺されてしまうため、かえって C R 時定数が増加してしまう。

【 0 0 5 1 】

本実施形態に係る発光素子 1 では、光射出部 E m を囲む分離溝 1 5 3 の外側の領域の積層構造 1 0 0 が高抵抗化される。これによれば、本実施形態に係る発光素子 1 は、発光素子 1 の抵抗 R の上昇を抑制しつつ、容量 C を低減することができる。

【 0 0 5 2 】

< 3 . 発光素子の製造方法 >

次に、図 6 ~ 図 1 0 を参照して、本実施形態に係る発光素子 1 の製造方法について説明する。図 6 は、本実施形態に係る発光素子 1 の製造方法の流れを説明するフローチャート図である。図 7 ~ 図 9 は、本実施形態に係る発光素子 1 の製造方法の一工程を説明する縦断面図である。図 1 0 は、分離溝 1 5 3、及び電流狭窄領域 1 2 1 B の平面形状を示す平面図である。

【 0 0 5 3 】

図 6 に示すように、まず、第 1 の反射器 1 1 0、第 1 スペース層 1 3 1、活性層 1 3 0、第 2 スペース層 1 3 2、電流狭窄層 1 2 1、及び第 2 の反射器 1 2 0 を積層した積層構造 1 0 0 を有する基板 1 4 0 が用意され、積層構造 1 0 0 に分離溝 1 5 3 を形成するためのアライメントが行われる (S 1 0 1)。基板 1 4 0 は、例えば、GaAs 基板である。

【 0 0 5 4 】

なお、積層構造 1 0 0 は、MOVCD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法によって、III-V 族化合物半導体を順次堆積することで形成することができる。III-V 族化合物半導体の原料としては、例えば、トリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルガリウム (TMG)、トリメチルインジウム (TMIn)、又はアルシン (AsH₃) などが用いられる。n 型不純物の原料としては、例えば、セレン化水素 (H₂Se)、又はジシラン (Si₂H₆) が用いられ、p 型不純物の原料としては、例えば、ジメチル亜鉛 (DMZ)、又は四臭化炭素 (CBr₄) が用いられる。

【 0 0 5 5 】

次に、アライメントに従って RIE (Reactive Ion Etching) が行われることで、図 7 に示すように、分離溝 1 5 3 が形成される (S 1 0 3)。具体的には、パターンングされたレジストをマスクとする RIE によって、第 2 の反射器 1 2 0、電流狭窄層 1 2 1、第 2 スペース層 1 3 2、活性層 1 3 0、及び第 1 スペース層 1 3 1 と、第 1 の反射器 1 1 0 の上部とが選択的に除去されることで、分離溝 1 5 3 が形成される。分離溝 1 5 3 の平面形状は、例えば、図 1 0 に示すように、環状形状であってもよい。

【 0 0 5 6 】

続いて、図 8 に示すように、分離溝 1 5 3 の側面から電流狭窄層 1 2 1 が酸化されることで、電流狭窄領域 1 2 1 B と、電流注入領域 1 2 1 A とが形成される (S 1 0 5)。具体的には、水蒸気雰囲気中で高温での酸化処理が行われることで、分離溝 1 5 3 の側面が

10

20

30

40

50

ら電流狭窄層 121 に含まれる A1 が選択的に酸化される。これにより、図 10 に示すように、分離溝 153 の内側及び外側のそれぞれの周囲に酸化アルミニウム (Al_2O_3) を含む電流狭窄領域 121B が形成され、電流狭窄領域 121B で囲まれた内側の未酸化領域に電流注入領域 121A が形成される。

【0057】

次に、図 9 に示すように、分離溝 153、及び分離溝 153 の内側の光射出部 Em を覆うようにパターンニングされたレジスト 150 をマスクとして、水素 (H) などの不純物元素が積層構造 100 にイオン注入される (S107)。これにより、分離溝 153 の外側の領域の積層構造 100 が高抵抗化されることで、高抵抗領域 Hr が形成される。

【0058】

続いて、レジスト 150 が除去された後、分離溝 153 の内部の光射出部 Em に、電流注入領域 121A と対向する領域を開口した環状形状の第 2 電極 160 が形成される (S109)。次に、RIE を用いることで、積層構造 100 の表面の一部領域に積層構造 100 を貫通する開口 145 が形成される (S111)。その後、積層構造 100 の表面、分離溝 153 の内側、及び開口 145 の内側の形状に沿って SiN などが成膜されることで、第 1 絶縁層 144 が形成される (S113)。

【0059】

続いて、開口 145 の内側の第 1 絶縁層 144 に開口部が設けられ、該開口部に第 1 電極コンタクト 142 が形成される。さらに、開口 145 の内側に第 1 電極コンタクト 143 が形成される (S115)。次に、分離溝 153 がベンゾシクロブテン (BCB) 等の低誘電率樹脂で埋め込まれることで、分離層 152 が形成される (S117)。このとき、ベンゾシクロブテン等の低誘電率樹脂が分離溝 153 の外側の領域にも堆積されることで、パッド台部 151 が形成される。

【0060】

次に、積層構造 100、分離層 152、及びパッド台部 151 の表面形状に沿って SiN などが成膜されることで、第 2 絶縁層 161 が形成される (S119)。続いて、パッド台部 151 の上に、第 2 絶縁層 161 に設けられた開口部を介して、第 2 電極 160 と電氣的に接続する第 2 電極パッド 164 と、第 1 電極コンタクト 143 と電氣的に接続する第 1 電極パッド 163 とが形成される (S121)。

【0061】

さらに、第 1 電極パッド 163、第 2 電極パッド 164、及び第 2 絶縁層 161 を覆うように SiN などが成膜されることで、第 3 絶縁層 162 が形成される。なお、第 3 絶縁層 162 には、第 1 電極パッド 163、及び第 2 電極パッド 164 の各々に対応した領域に開口が設けられる。

【0062】

さらに、基板 140 の積層構造 100 が設けられた第 1 面と反対側の第 2 面が適宜研磨されることで基板 140 が薄肉化される (S125)。その後、基板 140 の第 2 面に第 1 電極 141 が形成され (S127)、第 1 電極 141 は、合金化される (S129)。以上の工程により、本実施形態に係る発光素子 1 が製造される。

【0063】

なお、上記では、分離溝 153 の平面形状として環状形状を例示したが、本実施形態に係る発光素子 1 における分離溝 153 の平面形状は、上記例示に限定されない。以下では、分離溝 153 の平面形状のバリエーションについて、図 11A ~ 図 11F を参照して説明する。図 11A ~ 図 11F は、分離溝 153、及び電流狭窄領域 121B の平面形状のバリエーションを示す平面図である。

【0064】

図 11A に示すように、分離溝 153A は、環状形状の中心を通る 1 つの直線で環状形状を 2 つに分割した形状で構成されてもよい。電流狭窄領域 121B は、分離溝 153A が設けられた領域の周囲に広がって形成されるため、分離溝 153A が連続して設けられていなくとも電流注入領域 121A を連続的に囲むように形成されることが可能である。

10

20

30

40

50

これによれば、分離溝 153A は、内側に設けられる光射出部 Em を外側の領域から電氣的又は光学的に分離することが可能である。このような場合、高抵抗領域 Hr は、例えば、分割された環状形状の外側の領域に設けられることになる。

【0065】

また、同様に、図 11B 及び図 11C に示すように、分離溝 153B、153C は、環状形状の中心を通る複数の直線で環状形状を 4 つ又は 6 つに分割した形状で構成されてもよい。電流狭窄領域 121B は、分離溝 153B、153C の分断部を越えて広がって形成されるため、分離溝 153B、153C についても電流注入領域 121A を連続的に囲むように形成されることが可能である。これによれば、分離溝 153B、153C は、内側に設けられる光射出部 Em を外側の領域から電氣的又は光学的に分離することが可能である。このような場合、高抵抗領域 Hr は、例えば、分割された環状形状の外側の領域に設けられることになる。

10

【0066】

さらに、図 11D ~ 図 11F に示すように、分離溝 153D、153E、153F は、対称的に設けられた複数の溝にて構成されてもよい。具体的には、分離溝 153D、153E、153F は、円周に沿って対称的に複数配置された円形状又は楕円形状の溝にて構成されてもよい。電流狭窄領域 121B は、分離溝 153D、153E、153F の各溝から等方的に広がって形成されるため、所定の間隔で設けられた各溝を互いに接続して、電流注入領域 121A を連続的に囲むように形成されることが可能である。このような場合、高抵抗領域 Hr は、分離溝 153D、153E、153F の各々と外接する円の外側の領域に設けられることになる。

20

【0067】

すなわち、図 11A ~ 図 11F に示すように、分離溝 153 は、電流狭窄領域 121B を電流注入領域 121A の周囲に連続的に設けることができれば、様々なバリエーションの平面形状で形成されることが可能である。このとき、高抵抗領域 Hr は、分離溝 153 の平面形状の外接円の外側に設けられることで、上述した効果を奏することが可能である。

【0068】

以上、本開示にかかる技術を説明した。ただし、本開示にかかる技術は、上記実施の形態等に限定されるわけではなく、種々の変形が可能である。

【0069】

30

さらに、各実施形態で説明した構成および動作の全てが本開示の構成および動作として必須であるとは限らない。たとえば、各実施形態における構成要素のうち、本開示の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素は、任意の構成要素として理解されるべきである。

【0070】

本明細書および添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれる」として記載された状態に限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有する」として記載された状態に限定されない」と解釈されるべきである。

【0071】

40

本明細書で使用した用語には、単に説明の便宜のために用いており、構成及び動作を限定する目的で使用したわけではない用語が含まれる。たとえば、「右」、「左」、「上」、「下」などの用語は、参照している図面上での方向を示しているにすぎない。また、「内側」、「外側」という用語は、それぞれ、注目要素の中心に向かう方向、注目要素の中心から離れる方向を示しているにすぎない。これらに類似する用語や同様の趣旨の用語についても同様である。

【0072】

なお、本開示にかかる技術は、以下のような構成を取ることも可能である。以下の構成を備える本開示にかかる技術によれば、発光素子は、電極又は配線に生じる寄生容量を低減することができる。よって、発光素子は、CR 時定数を低減することができるため変調

50

速度などの高周波特性を向上させることができる。本開示にかかる技術が奏する効果は、ここに記載された効果に必ずしも限定されるわけではなく、本開示中に記載されたいずれの効果であってもよい。

(1)

電流の注入によって発光する活性層と、前記活性層を挟んで第 1 方向に積層された第 1 の反射器、及び第 2 の反射器とを含む積層構造を有する光射出部と、

前記第 1 方向における前記積層構造からの光の射出面にて前記光射出部の周囲に対称性を有して設けられ、前記第 1 方向に前記積層構造を掘り込んだ分離溝と、

前記分離溝の前記射出面における最外周形状よりも外側の前記積層構造に設けられ、前記光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域とを備え、

前記高抵抗領域の前記積層構造は、不純物元素を含み、

前記不純物元素の含有量は、前記第 1 方向に分布を有し、

前記不純物元素の含有量の分布は、前記第 1 方向において、前記活性層が設けられた深さにピークを有する

発光素子。

(2)

前記高抵抗領域には、前記活性層に電流を注入する電極、及び前記電極と電氣的に接続する配線が設けられる、上記 (1) に記載の発光素子。

(3)

前記射出面と、前記活性層との間には、前記第 1 方向と垂直な面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられる、上記 (1) 又は (2) に記載の発光素子。

(4)

前記酸化領域は、前記未酸化領域の周囲を連続して囲む、上記 (3) に記載の発光素子。

(5)

前記分離溝の前記射出面からの掘り込み深さは、前記活性層が設けられた深さよりも深い、上記 (1) ~ (4) のいずれか一項に記載の発光素子。

(6)

前記分離溝は、前記光射出部を囲む環形状の溝を含む、上記 (1) ~ (5) のいずれか一項に記載の発光素子。

(7)

前記分離溝は、前記光射出部の周囲に互いに離隔されて対称的に配列された複数の溝を含む、上記 (1) ~ (5) のいずれか一項に記載の発光素子。

(8)

前記高抵抗領域は、前記射出面から前記第 1 方向に前記活性層が設けられる深さよりも深く広がって設けられる、上記 (1) ~ (7) のいずれか一項に記載の発光素子。

(9)

前記不純物元素は、H、C、B、O、Ar、Al、Ga、又はAsのいずれか 1 つ以上を含む、上記 (1) ~ (8) のいずれか一項に記載の発光素子。

(10)

前記不純物元素の含有量は、 5×10^{13} 個 / cm^2 以上である、上記 (9) に記載の発光素子。

(11)

前記不純物元素は、Hである、上記 (9) 又は (10) に記載の発光素子。

(12)

前記不純物元素の含有量は、 5×10^{14} 個 / cm^2 以上である、上記 (11) に記載の発光素子。

(13)

前記射出面と、前記活性層との間には、前記射出面の面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられ、

10

20

30

40

50

前記不純物元素の含有量の分布は、前記第 1 方向において、前記電流狭窄層が設けられた深さにピークを有する、上記 (1) ~ (1 2) のいずれか一項に記載の発光素子。

(1 4)

前記第 1 の反射器、及び前記第 2 の反射器は、それぞれ多層膜反射鏡にて設けられる、上記 (1) ~ (1 3) のいずれか一項に記載の発光素子。

(1 5)

前記活性層は、G a A s 系半導体を含む、上記 (1) ~ (1 4) のいずれか一項に記載の発光素子。

(1 6)

電流の注入によって発光する活性層と、前記活性層を挟んで第 1 方向に積層された第 1 の反射器、及び第 2 の反射器とを含む積層構造を有する光射出部と、

10

前記第 1 方向における前記積層構造からの光の射出面にて前記光射出部の周囲に対称性を有して設けられ、前記第 1 方向に前記積層構造を掘り込んだ分離溝と、

前記分離溝の前記射出面における最外周形状よりも外側の前記積層構造に設けられ、前記光射出部よりも電気抵抗が高い高抵抗領域とを備え、

前記高抵抗領域の前記積層構造は、不純物元素を含み、

前記不純物元素の含有量は、前記第 1 方向に分布を有し、

前記射出面と、前記活性層との間には、前記射出面の面内方向にて未酸化領域を環状の酸化領域で囲む電流狭窄層がさらに設けられ、

前記不純物元素の含有量の分布は、前記第 1 方向において、前記電流狭窄層が設けられた深さにピークを有する

20

発光素子。

【 0 0 7 3 】

本出願は、日本国特許庁において 2 0 1 9 年 1 1 月 1 5 日に出願された日本特許出願番号第 2 0 1 9 - 2 0 7 3 7 1 号を基礎として優先権を主張するものであり、この出願のすべての内容を参照によって本出願に援用する。

【 0 0 7 4 】

当業者であれば、設計上の要件や他の要因に応じて、種々の修正、コンビネーション、サブコンビネーション、および変更を想到し得るが、それらは添付の請求の範囲やその均等物の範囲に含まれるものであることが理解される。

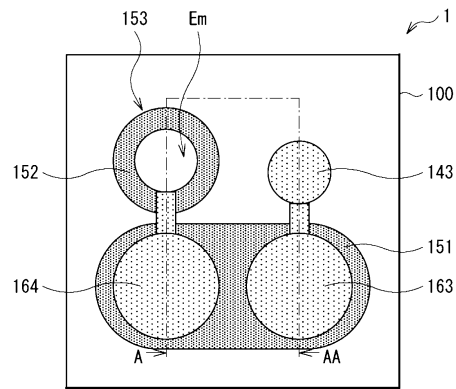
30

40

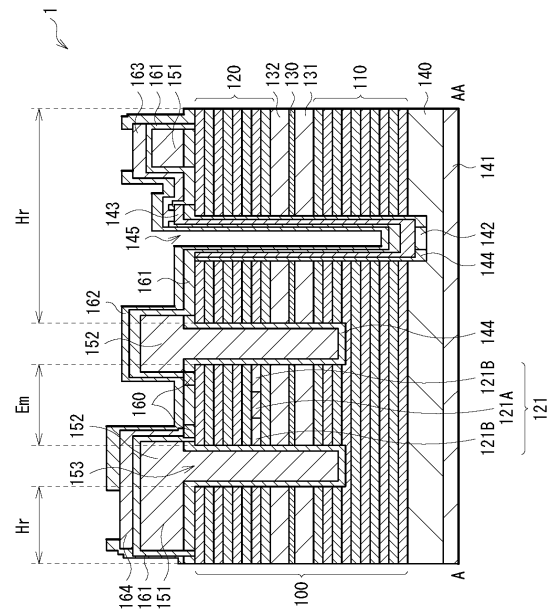
50

【図面】

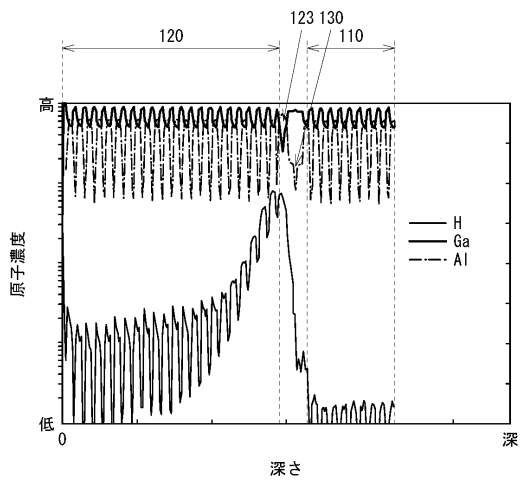
【圖 1】



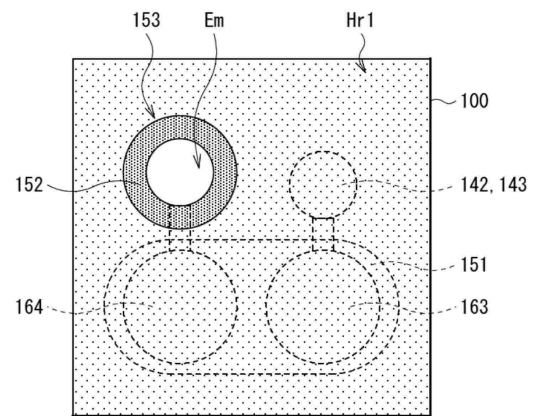
【圖 2】



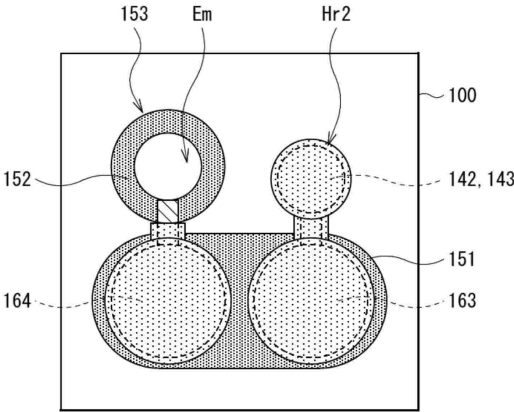
【 図 3 】



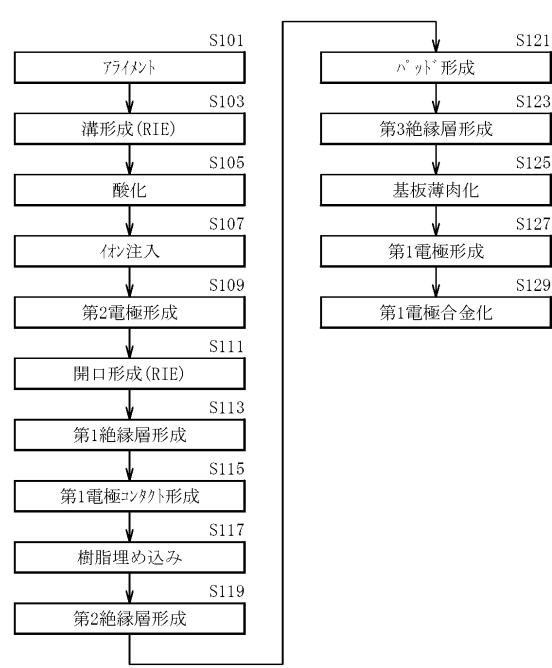
【 図 4 】



【図 5】



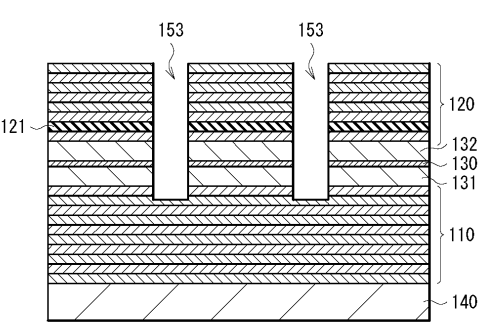
【図 6】



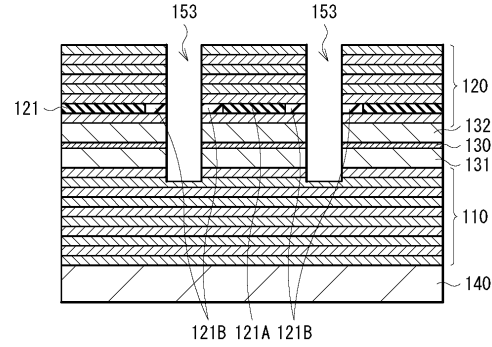
10

20

【図 7】



【図 8】

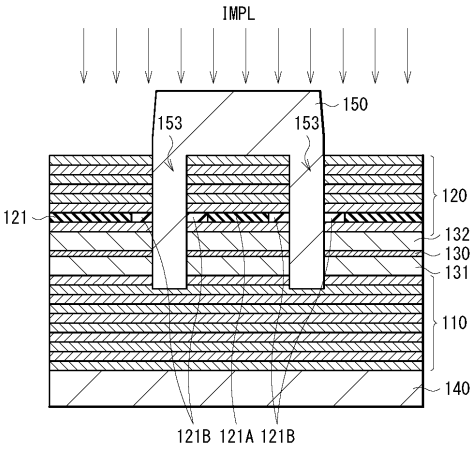


30

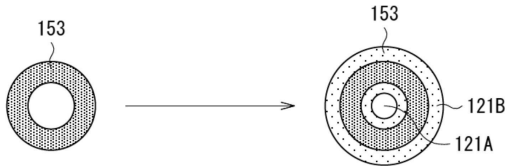
40

50

【図 9】

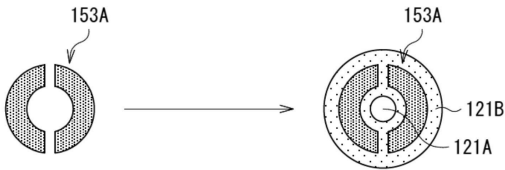


【図 10】

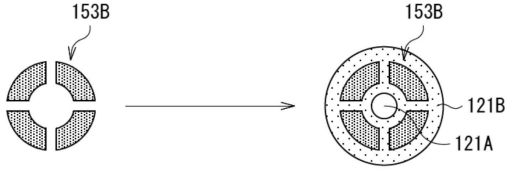


10

【図 11A】

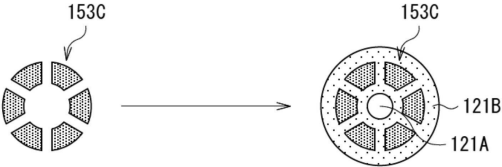


【図 11B】

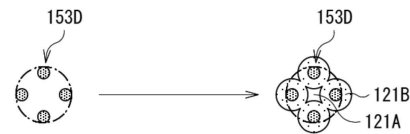


20

【図 11C】



【図 11D】



30

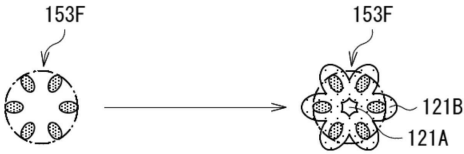
40

50

【 図 1 1 E 】



【 図 1 1 F 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

神奈川県厚木市旭町四丁目 1 4 番 1 号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内

審査官 佐藤 美紗子

- (56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 0 3 4 6 3 7 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 1 7 5 7 1 2 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 4 2 0 5 3 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 3 4 4 7 3 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0