

(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
2021年9月23日(23.09.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/186497 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/227 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/011431

(22) 国際出願日: 2020年3月16日(16.03.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 北川 寛士 (KITAGAWA, Motoshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 岸本 一誠 (KISHIMOTO, Kazumasa); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:村上 加奈子, 外(MURAKAMI, Kanako et al.); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二

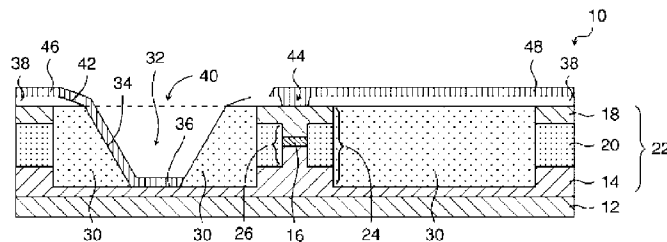
丁目7番3号 三菱電機株式会社 知的財産センター内 Tokyo (JP).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置および半導体装置の製造方法



(57) Abstract: A layered body (22) is formed on a semiconductor substrate (10). Two or more grooves (54) are formed in the layered body (22). A mesa (24) which has two of the two or more grooves (54) disposed on both sides is formed. Insulating resin films (30) are embedded in the two or more grooves (54). The insulating resin film (30) embedded in one of the two or more grooves (54) has a first opening (32) and an electrode (46) extending upward from a bottom surface (36). A first side surface (34) of the insulating resin film (30) is inclined in a forward taper direction.

(57) 要約: 半導体基板(10)の上に積層体(22)が形成されている。積層体(22)には2つ以上の溝(54)が形成されている。2つ以上の溝(54)のうちの2つが両脇に配置されたメサ(24)が形成されている。2つ以上の溝(54)には絶縁性樹脂膜(30)が埋め込まれている。2つ以上の溝(54)のうちの1つに埋め込まれた絶縁性樹脂膜(30)に第1の開口部(32)が形成され、底面(36)から上に引き出された電極(46)が形成されている。絶縁性樹脂膜(30)の第1の側面(34)は順テーパ方向の傾斜を持つ。

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：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：半導体装置および半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本開示は半導体装置および半導体装置の製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 半導体レーザなどの光半導体装置を高速動作させるためには、電極の寄生容量を低減させることが重要である。寄生容量は、2つの電極が対向するように配置されていると、大きくなってしまふ。この寄生容量の増大が高速動作を妨げる。

[0003] 電極の寄生容量を低減するために、表面実装型の半導体レーザが用いられている。表面実装型の半導体レーザは2つの電極が同一面側に形成されている。すなわち2つの電極が対向していない。そのため電極の寄生容量を低減できる。

[0004] 表面実装型の半導体レーザでは、下側から引き出す電極を上面から掘られた開口部に沿って上まで引き出す。半導体レーザでは発光部において電流が基板に対して垂直に流れるため、表面実装型の半導体レーザでは、下側の電極が基板に近いところから上まで引き出される必要がある。この構造を実現するために、開口部の底で接続された電極を上まで引き出している。

[0005] この開口部の側面の角度が急峻になると、電極の剥がれまたは断線が起こりやすくなる。電極には、開口部の底面から上まで引き出される間に折れ曲がる箇所がある。開口部の側面の角度が急峻であれば、折れ曲がりの角度も急になる。この角度が急であれば電極の剥がれまたは断線が起こりやすくなる。

[0006] 開口部の側面の角度が急峻でない表面実装型の半導体レーザが開示されている（例えば特許文献1参照）。特許文献1で開示された半導体レーザは、発光部を含むメサの左右に高抵抗半導体埋め込み層が配されている。この高抵抗半導体埋め込み層に開口部を設け、電極を引き出している。開口部に接

する高抵抗半導体埋め込み層の側面は、MOVPE法の特性を利用して約70°の角度で形成されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平7－135369号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上述の半導体レーザでは寄生容量低減の効果が十分でない場合がある。このような半導体レーザはメサの両脇に比較的誘電率が高い高抵抗半導体埋め込み層を埋め込むため、電極の寄生容量が十分低減できない可能性がある。

[0009] 本開示は上記の問題を解決するためになされたもので、その目的は、電極の寄生容量を抑え、電極の剥がれおよび断線が起こりにくい半導体装置およびその製造方法を得ることである。

課題を解決するための手段

[0010] この開示に係る半導体装置は、半導体基板と、半導体基板の上に形成され、最下層が第1導電型クラッド層、最上層が第2導電型クラッド層で構成され、第2導電型クラッド層の上面から第1導電型クラッド層の途中まで掘られた2つ以上の溝が形成された積層体と、半導体基板に近いほうから順に第1導電型クラッド層、活性層、第2導電型クラッド層で構成されたリッジ導波路を有し、2つ以上の溝のうちの2つが両脇に配置されたメサと、2つ以上の溝に埋め込まれた絶縁性樹脂膜と、を備え、2つ以上の溝のうちの1つに埋め込まれた絶縁性樹脂膜には第1導電型クラッド層が底面で露出する第1の開口部が形成され、底面で第1導電型クラッド層と接続され、第1の開口部と接する絶縁性樹脂膜の第1の側面に沿って絶縁性樹脂膜より上へ引き出された電極が形成され、第1の側面は順テーパ方向の傾斜を持つ。

[0011] また、この開示に係る半導体装置の製造方法は、半導体基板の上に順に第1導電型クラッド層、活性層および第2導電型クラッド層を形成する工程と

、第2導電型クラッド層の上面から第1導電型クラッド層の途中までエッチングすることで、2つ以上の溝を形成し、半導体基板に近いほうから第1導電型クラッド層、活性層および第2導電型クラッド層で構成されたリッジ導波路を有し、2つ以上の溝のうちの2つが両脇に配置されたメサを形成する工程と、2つ以上の溝を埋め込む絶縁性樹脂膜を形成する工程と、絶縁性樹脂膜および第2導電型クラッド層の上に絶縁膜を形成する工程と、2つ以上の溝のうちの1つに埋め込まれた絶縁性樹脂膜の上の絶縁膜をエッチングすることにより第2の開口部を形成し、第2の開口部と接する絶縁膜の第2の側面に順テーパ方向の傾斜を持たせる工程と、絶縁膜をマスクとし、第2の開口部の下の絶縁性樹脂膜を第1導電型クラッド層が露出するようにエッチングすることにより第1の開口部を形成し、第1の開口部と接する絶縁性樹脂膜の第1の側面に順テーパ方向の傾斜を持たせる工程と、第1の開口部の底面で第1導電型クラッド層と接続され、第1の側面に沿って絶縁性樹脂膜より上へ引き出された電極を形成する工程と、を備える。

発明の効果

[0012] 本開示の半導体装置および半導体装置の製造方法によれば、メサの両脇の溝に絶縁性樹脂膜を埋め込み、絶縁性樹脂膜に開けた開口部から電極を上まで引き出す。また、開口部に接する絶縁性樹脂膜の側面が順テーパ方向の傾斜を持つ。そのため、電極の寄生容量を抑え、電極の剥がれおよび断線が起こりにくい半導体装置が得られる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]実施の形態1に係る半導体装置を示す断面図である。

[図2]実施の形態1に係る半導体装置の製造方法を説明するための断面図である。

[図3]実施の形態1に係る半導体装置の製造方法を説明するための断面図である。

[図4]実施の形態1に係る半導体装置の製造方法を説明するための断面図である。

[図5]実施の形態 1 に係る絶縁膜のエッチングの実験結果を示す S E M 写真である。

[図6]実施の形態 1 に係るエッチングレートおよび選択比の実験結果を示すグラフである。

[図7]実施の形態 1 に係る絶縁性樹脂膜のエッチングの実験結果を示す S E M 写真である。

[図8]実施の形態 1 に係る絶縁膜および絶縁性樹脂膜のエッチングによる傾斜角度を説明するための図である。

[図9]実施の形態 1 に係る半導体装置の変形例を示す断面図である。

[図10]実施の形態 1 に係る半導体装置の別の変形例を示す断面図である。

[図11]実施の形態 2 に係る半導体装置を示す断面図である。

[図12]実施の形態 2 に係る半導体装置を示す上面図である。

[図13]実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法を説明するための断面図である。

[図14]実施の形態 2 に係る半導体装置の製造方法を説明するための断面図である。

[図15]実施の形態 2 に係る半導体装置の変形例を示す断面図である。

[図16]実施の形態 2 に係る半導体装置の別の変形例を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0014] 実施の形態 1 .

実施の形態 1 に係る半導体装置の構成を説明する。実施の形態 1 に係る半導体装置は図 1 に示した半導体レーザ 1 0 である。図 1 は半導体レーザ 1 0 の共振器方向に垂直な面を含む断面図である。

[0015] 半導体レーザ 1 0 は半導体基板 1 2 を備える。半導体基板 1 2 は例えば I n P から成る半絶縁性基板である。

[0016] 半導体基板 1 2 の上には第 1 導電型クラッド層 1 4 が形成されている。第 1 導電型クラッド層 1 4 は例えば n 型 I n P から成る。第 1 導電型クラッド層 1 4 のうち電極 4 6 と接続される箇所は、電気抵抗を下げるために不純物

濃度を高くしてもよい。

[0017] 下から順に第1導電型クラッド層14、活性層16および第2導電型クラッド層18で構成されるリッジ導波路26が形成されている。活性層16は例えばi型AlGaInAsから成る多重量子井戸構造を含む。ここでi型とは意図したドーピングがされていない半導体のことである。第2導電型クラッド層18は例えばp型InPから成る。

[0018] リッジ導波路26の左右には電流ブロック層20が埋め込まれている。電流ブロック層20は例えばFe-InP（FeがドーピングされたInP）から成る。

[0019] リッジ導波路26および電流ブロック層20の上には第2導電型クラッド層18がさらに形成されている。

[0020] 第1導電型クラッド層14、リッジ導波路26、電流ブロック層20、第2導電型クラッド層18で構成されたメサ24が形成されている。メサ24は例えば幅が4.0 μ m～10.0 μ m、高さが6.0 μ m～8.0 μ mである。

[0021] 最下層が第1導電型クラッド層14、最上層が第2導電型クラッド層18で構成された積層体22に溝54が形成されている。溝54の位置は、製造工程を示す図2（e）に図示されている。溝54はメサ24の両脇に掘られている。溝54は第2導電型クラッド層18の上面から第1導電型クラッド層14の途中まで掘られている。

[0022] 溝54には絶縁性樹脂膜30が埋め込まれている。絶縁性樹脂膜30は、誘電率が低く、埋め込み平坦性に優れたBCB（ベンゾシクロブテン）樹脂またはポリイミド樹脂等から成る。

[0023] メサ24の両脇の絶縁性樹脂膜30の一方には第1の開口部32が開けられている。第1の開口部32の底面36は第1導電型クラッド層が露出している。第1の開口部32と接する絶縁性樹脂膜30の側面（第1の側面34）は、半導体基板12へ近づくにつれて絶縁性樹脂膜が広がる順テーパ方向の傾斜を持つ。第1の側面34と絶縁性樹脂膜30の下面が成す角度 α は2

0° 以上 60° 以下である。

[0024] 絶縁性樹脂膜 30 および第 2 導電型クラッド層 18 の上には絶縁膜 38 が形成されている。絶縁膜 38 には第 1 の開口部 32 と連なるように第 2 の開口部 40 が形成されている。図 1 には第 2 の開口部 40 の位置を示すために破線が描かれている。第 2 の開口部 40 に接する絶縁膜 38 の側面（第 2 の側面 42）、すなわち第 1 の側面 34 に連なる絶縁膜 38 の第 2 の側面 42 は、順テーパ方向の傾斜を持つ。絶縁膜 38 は例えばシリコン酸化膜から成る。

[0025] 底面 36 で第 1 導電型クラッド層 14 と接続され、第 1 の側面 34 および第 2 の側面 42 に沿って絶縁膜 38 の上へ引き出された電極 46 が形成されている。電極 46 は例えば Ti / Pt / Au の積層構造から成る。

[0026] メサ 24 の上の絶縁膜 38 に開けられた第 3 の開口部 44 を通じて第 2 導電型クラッド層 18 と接続された電極 48 が形成されている。電極 48 は例えば Ti / Pt / Au の積層構造から成る。

[0027] 半導体レーザ 10 の製造方法を図 2 ～ 4 を用いて説明する。

[0028] まず図 2（a）に示すように、半導体基板 12 の上に第 1 導電型クラッド層 14、活性層 16 および第 2 導電型クラッド層 18 を順に形成する。これらはエピタキシャル成長で形成される。

[0029] 次に図 2（b）に示すように、リッジ導波路 26 を形成する。リッジ導波路 26 を形成するには、まずシリコン酸化膜から成るストライプパターンのマスク 50 を形成する。そしてマスク 50 をエッチングマスクとしてドライエッチングを行う。このとき第 1 導電型クラッド層 14 の途中までエッチングする。

[0030] 次に図 2（c）に示すように、リッジ導波路 26 の左右に電流ブロック層 20 を埋め込む。電流ブロック層 20 を埋め込むには、マスク 50 を用いて選択エピタキシャル成長させる。このときリッジ導波路 26 の上面まで電流ブロック層 20 で埋め込む。

[0031] 次に図 2（d）に示すように、リッジ導波路 26 および電流ブロック層 2

0の上に第2導電型クラッド層18をさらに成長させる。第2導電型クラッド層18を成長させるには、マスク50をバッファードフッ酸などのフッ化水素酸で除去したあと、エピタキシャル成長させる。

[0032] 次に図2(e)に示すように、2つの溝54を形成し、メサ24が形成される。この工程では、マスク52を用いて第2導電型クラッド層18の上面から第1導電型クラッド層14の途中までドライエッチングすることで、2つの溝54を形成する。これにより2つの溝54が両脇に配置されたメサ24を形成する。

[0033] 次に図3(a)に示すように、図2(e)の状態からマスク52を除去し、全面に絶縁性樹脂膜30を形成する。絶縁性樹脂膜30の形成には、まず付着強化剤を塗布し、その上にスピコート法により絶縁性樹脂である非感光性BCB樹脂を塗布して成膜したあと、熱硬化処理を行う。絶縁性樹脂は熱硬化処理時に重合反応により収縮変形するため、あらかじめ収縮量を見込んで膜厚を設計する。絶縁性樹脂には、低誘電率（例えば比誘電率が2.50～2.65）の熱硬化処理時の収縮量の小さい非感光性BCB樹脂を用いるのが好ましい。絶縁性樹脂膜の膜厚は、粘度やスピコート時の主回転数を調整することにより例えば1.0 μm ～26.0 μm の値を得られる。またベーク炉にて例えば250℃～350℃の加熱により熱硬化処理が可能だが、昇温時には酸化の影響を受けやすいため、酸素濃度を例えば100ppm以下に保つよう窒素やアルゴンなどの不活性化ガス雰囲気中で熱処理を行う必要がある。後にメサ24の上に電極を形成するため、メサ24の上の絶縁性樹脂膜30の厚さは1.0 μm 以下が望ましい。

[0034] 次に図3(b)に示すように、絶縁性樹脂膜30のエッチバックによりメサ24の上を露出させることで、メサ24の両脇の2つの溝54をそれぞれ埋め込む絶縁性樹脂膜30を形成する。絶縁性樹脂としてBCB樹脂を用いた場合、エッチバックには、例えば酸素ガスと、 CF_4 、 CHF_3 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_8 などのフロロカーボン系ガスとの混合ガスによるプラズマエッチングが適用できる。

[0035] 次に図3(c)に示すように、絶縁性樹脂膜30および第2導電型クラッド層18の上に絶縁膜38を形成する。絶縁膜38は例えばCVD(Chemical Vapor Deposition)法により成膜される。

[0036] 次に図3(d)に示すように、フォトレジスト56を形成する。フォトレジスト56は例えばスピコート法などを使用して形成される。フォトレジスト56として、一般的なステッパ露光用のi線用ポジレジストあるいはネガレジストなどが使用できる。

[0037] 次に図3(e)に示すように、2つの溝54のうちの1つに埋め込まれた絶縁性樹脂膜30の上のフォトレジスト56に、フォトリソグラフィ法を使用して開口パターン58を形成する。

[0038] 次に図4(a)に示すように、開口パターン58の下にある絶縁膜38に第2の開口部40を形成する。第2の開口部40の形成には、フッ化水素酸の薬液を含むウェットエッチング処理を行う。このとき、第2の開口部40と接する絶縁膜38の第2の側面42に順テーパ方向の傾斜が出来る。絶縁膜38が等方的にエッチングされるからである。

[0039] 次に図4(b)に示すように、フォトレジスト56を除去する。フォトレジスト56の除去には、例えば剥離液や酸素アッシング等を用いる。フォトレジスト56の除去は、次の工程で行う絶縁性樹脂膜30のエッチングと同一のチャンバー内で連続処理することも可能で、工程を簡略化できる。

[0040] 次に図4(c)に示すように、第2の開口部40の下の絶縁性樹脂膜30を第1導電型クラッド層14が露出するようにエッチングすることにより第1の開口部32を形成し、第1の開口部32と接する絶縁性樹脂膜30の第1の側面34に順テーパ方向の傾斜を持たせる。エッチングは絶縁膜38をハードマスクとして行う。エッチングには例えばフロロカーボン系ガスと酸素ガスを使用したプラズマエッチングを使用できる。このとき、フロロカーボン系ガスと酸素ガスの混合比を調整して絶縁性樹脂膜30のエッチングレート(R_{BCB})と絶縁膜38のエッチングレート(R_{SiO})の比率(R_{BCB}/R_{SiO} 、以下選択比と呼ぶ)を調整できる。ここでは、 C_3F_8 ガスと酸素ガス

の混合ガスを用い、例えば酸素ガスの混合比を57%とすることで選択比を4程度に調整して絶縁性樹脂膜30のエッチングを行う。これにより絶縁性樹脂膜30に絶縁膜38の傾斜を転写できる。このとき絶縁膜38はエッチングにより後退し、膜厚は薄くなる。

[0041] 次に図4(d)に示すように、メサ24の上の絶縁膜38に第3の開口部44を形成する。第3の開口部44を形成するには、再びフォトリソグラフィ法と例えばフッ素系ガスを含む反応性イオンエッチングを行う。

[0042] 次に電極46およびメサ上電極48を形成し、図1の半導体レーザ10を得る。これらの電極を形成するには、例えば、まずイメージリバーサルレジストまたはリフトオフ用レジスト等を使用してフォトリソグラフィ法により開口パターンを形成する。そして蒸着やスパッタ法によりTi/Pt/Auの積層構造から成る電極をウエハ全面に積層したあとリフトオフする。これによりレジストを開口した部分に電極が形成できる。このとき形成された電極46は、順テーパ方向の傾斜を持つ第1の側面34および第2の側面42に沿って、絶縁膜38の上へ引き出されている。

[0043] シリコン酸化膜から成る絶縁膜38の第2の側面42、および、BCBからなる絶縁性樹脂膜30の第1の側面34が順テーパ方向の傾斜を持つことを確認した3つの実験結果を説明する。

[0044] 1つ目の実験では図5に示すように、絶縁膜38の第2の側面42が順テーパ方向の傾斜を持つことを確認した。この実験ではまず、半絶縁性InPからなる半導体基板12の上にBCBから成る絶縁性樹脂膜30およびシリコン酸化膜からなる絶縁膜38を形成したものを準備した。次に絶縁膜38の上にフォトレジストを形成し、さらにフォトレジストに開口パターンを設けた。さらにフッ化水素酸を用いて絶縁膜38をウェットエッチングした。最後にフォトレジストを除去することで、図5に示す断面形状を得た。絶縁膜38の第2の側面42と絶縁性樹脂膜30の上面が成す角度 β は 20° 以下となっている。

[0045] 2つ目の実験では図6に示すように、BCB樹脂膜とシリコン酸化膜のエ

エッチングの選択比 (R_{BCB}/R_{SiO}) が、酸素ガスの混合比の増加に伴い増大することを確認した。この実験では、上で説明した第1の開口部32を形成する工程(図4(c))と同様、 C_3F_8 ガスと酸素ガスの混合ガスを用いたプラズマエッチングを行った。その際、酸素ガスの混合比を変化させ、選択比を調べた。その結果、BCBとSiOのエッチングレートは図6(a)のようになることが分かった。これから、図6(b)に示すように、酸素ガスの混合比を高めるにつれて、選択比も高くなることが分かる。

[0046] 3つ目の実験では図7に示すように、絶縁性樹脂膜30のエッチングを酸素ガスの混合比を変えて実施し、絶縁性樹脂膜30の第1の側面34を観察した。酸素ガスの混合比の条件は57%、67%、83%の3つである。この実験では1つ目の実験で得られた図5の状態のものに、2つ目の実験と同様のプラズマエッチングを施した。

[0047] 混合比が57%の条件では、図7(a)に示すように、絶縁性樹脂膜30の傾斜角 α が55°程度であり、第1の側面34にはケバも凹凸も目立たないことが分かった。この条件は電極形成に適している。

[0048] 混合比が67%の条件では、図7(b)に示すように、ケバおよび凹凸が目立つ結果となった。絶縁膜38の第2の側面42にはウェットエッチングにより微細な凹凸が形成されている。この凹凸は絶縁性樹脂膜30のエッチング時に、絶縁性樹脂膜30の第1の側面34に転写される。混合比57%の場合、図6に示したようにエッチング選択比は4である。一方混合比67%では選択比は7.1である。このため混合比67%では第1の側面34が急峻になることで凹凸が強調され、ケバもできやすい。

[0049] 混合比が83%の条件では、図7(c)に示すように、第1の側面34がほぼ垂直となった。混合比83%では、エッチング選択比は図6には示されていないが、高い値になると予想される。このような場合、第1の側面34に凹凸はできないが、ほぼ垂直になってしまう。すなわち順テーパ方向の傾斜は得られない。

[0050] 選択比は4付近であればよく、具体的には3~5が望ましい。選択比を小

さくすればさらに凹凸ができにくくなるというメリットがある。しかし絶縁膜38を厚くしなければならない等のデメリットも生じる。これを考慮し、選択比は3～5が望ましい。

[0051] 選択比が3～5であれば、絶縁性樹脂膜の第1の側面の傾斜角 α と絶縁膜の第2の側面の傾斜角 β には $3 \leq \tan \alpha / \tan \beta \leq 5$ という関係がある。この関係を、第1の開口部32を形成するエッチングの様子を模式的に示した図8を用いて説明する。エッチングによって絶縁膜38と絶縁性樹脂膜30の両方が削られる。絶縁性樹脂膜30のエッチングレートは R_{BCB} 、絶縁膜38のエッチングレートは R_{SiO} である。絶縁膜38および絶縁性樹脂膜30が、ある時間に削られる縦方向の長さをそれぞれ d_{SiO} 、 d_{BCB} とすると、 d_{SiO} は R_{SiO} に比例し、 d_{BCB} は R_{BCB} に比例する。すると $R_{SiO} / R_{BCB} = \tan \alpha / \tan \beta$ の関係が成り立つ。 R_{SiO} / R_{BCB} はエッチングの選択比 R だから $R = R_{SiO} / R_{BCB} = \tan \alpha / \tan \beta$ がいえ。これから $3 \leq R \leq 5$ であれば $3 \leq \tan \alpha / \tan \beta \leq 5$ が成立する。

[0052] 以上のとおり実施の形態1によれば、メサ24の両脇の溝54に絶縁性樹脂膜30を埋め込み、第1導電型クラッド層14と接続された電極46を表面側から引き出すため、電極の寄生容量を抑えた半導体装置が得られる。絶縁性樹脂膜は、半導体材料、シリコン酸化膜またはシリコン窒化膜等の絶縁膜に比べ、一般的に誘電率が低いため、メサ24の両脇に絶縁性樹脂膜を形成することで、電極の寄生容量が抑えられる。また、電極46を表面側に引き出した表面実装型とすることでも寄生容量が低減される。

[0053] また、絶縁性樹脂膜30の第1の側面34および絶縁膜38の第2の側面42が順テーパ方向の傾斜を持つため、電極46が第1の開口部32の底面36から絶縁膜38の上まで引き出される間の折れ曲がりの角度が鈍角になり、電極46の剥がれおよび断線を防げる。

[0054] また、第1の側面34および第2の側面42の傾斜角度(α と β)はばらつきが小さい。第2の側面42は、絶縁膜38を等方的にウェットエッチングすることで形成されるため、傾斜角度のばらつきは小さい。第1の側面3

4は、絶縁性樹脂膜30と絶縁膜38のエッチング選択比に従って第2の側面42の傾斜が転写されるため、傾斜角度のばらつきが小さい。よって誤って傾斜角度が急峻になることがないため、電極46の剥がれおよび断線を防げる。

[0055] なお、実施の形態1では絶縁膜38を除去せず残したが、図9のように絶縁膜を除去してもよい。絶縁膜の除去は電極46およびメサ上電極48を形成する前に実施する。この図では電極46を絶縁性樹脂膜30の上に引き出している。絶縁膜38を除去することで、電極等の密着性悪化を防ぐことができる場合がある。絶縁膜38は、エッチング条件によって上層に反応生成物として残る場合があるため、これを除去しない場合は、後に電極等を形成する際に密着性悪化の原因となりうる。これを除去すれば、その心配がなくなる。

[0056] また、この実施の形態ではメサ24の両脇に2つの溝54が形成されているが、3つ以上あってもよい。すなわち積層体22には2つ以上の溝54が形成されていることになる。そして2つ以上の溝54のうちの2つはメサ24の両脇にあることになる。図10に溝が3つの場合を示した。この図では電極46をメサ24の両脇から離れた場所にある溝32に設けている。

[0057] また、ここでは、第1導電型と第2導電型は、半導体のp型またはn型のどちらかであり、互いに異なる導電型を持つ。例えば第1導電型がp型の場合、第2導電型はn型であり、第1導電型がn型の場合、第2導電型はp型である。

[0058] 実施の形態2.

実施の形態2に係る半導体装置について記載する。実施の形態1では半導体装置が半導体レーザであったのに対し、実施の形態2ではマッハツェンダー型位相変調器である。ここでは主に実施の形態1との違いを記載する。

[0059] 実施の形態2に係る半導体装置の構成を説明する。実施の形態2に係る半導体装置は図11に示したマッハツェンダー型位相変調器60である。図11は、図12に示したマッハツェンダー型位相変調器60の上面図における

A-Aでの断面図である。なお図12では説明のためメサ上電極98、絶縁膜88等の図示は省略した。

[0060] 図11に示すように、マッハツェンダー型位相変調器60は半導体基板62を備える。

[0061] 半導体基板62の上には第1導電型クラッド層64が形成されている。

[0062] 下から順に第1導電型クラッド層64、活性層66および第2導電型クラッド層68で構成されるメサ74が形成されている。活性層66は例えばi型AlGaInAsから成る多重量子井戸構造を含む。第2導電型クラッド層68は例えばp型InPから成る。メサ74はハイメサ構造のリッジ導波路でもある。すなわちメサ74はリッジ導波路を有している。

[0063] 最下層が第1導電型クラッド層64、最上層が第2導電型クラッド層68で構成された積層体72に溝104が形成されている。溝104の位置は、製造工程を示す図14(b)に図示されている。積層体72の、第1導電型クラッド層64と第2導電型クラッド層68の間にある中間層は、メサ74では活性層66、メサ74以外では電流ブロック層70である。溝104はメサ74の両脇と、それらと離れた場所にある合計3つが掘られている。溝104は第2導電型クラッド層68の上面から第1導電型クラッド層64の途中まで掘られている。積層体72の側壁には保護絶縁膜100が形成されている。保護絶縁膜100は例えばシリコン酸化膜またはシリコン窒化膜から成る。保護絶縁膜100にはメサ74を水分の侵入から保護する目的がある。この目的のためにはシリコン窒化膜が望ましい。ただし保護絶縁膜100は無くてもかまわない。溝104には絶縁性樹脂膜80が埋め込まれている。

[0064] 溝104のうち、メサ74の両脇から離れた場所にある溝には第1の開口部82が開けられている。第1の側面84は順テーパ方向の傾斜を持つ。

[0065] 絶縁性樹脂膜80および第2導電型クラッド層68の上には絶縁膜88が形成されている。絶縁膜88には第2の開口部90が形成されている。図11には第2の開口部90の位置を示すために破線が描かれている。第2の開

口部 90 に接する絶縁膜 88 の側面（第 2 の側面 92）、すなわち第 1 の側面 84 に連なる絶縁膜 88 の第 2 の側面 92 は、順テーパ方向の傾斜を持つ。

[0066] 底面 86 で第 1 導電型クラッド層 64 と接続された電極 96 が形成されている。

[0067] メサ 74 の上にはメサ上電極 98 が形成されている。

[0068] マッハツェンダー型位相変調器 60 の製造方法を図 13 - 14 を用いて説明する。

[0069] まず図 13（a）に示すように、半導体基板 62 の上に第 1 導電型クラッド層 64、活性層 66 および第 2 導電型クラッド層 68 を順に形成する。

[0070] 次に図 13（b）に示すように、マスク 102 を用い、エッチングする。この工程では第 2 導電型クラッド層 68 の上面から第 1 導電型クラッド層 64 の途中までドライエッチングする。

[0071] 次に図 13（c）に示すように、電流ブロック層 70 を埋め込む。電流ブロック層 70 を埋め込むには、マスク 102 を用いて選択エピタキシャル成長させる。このとき第 2 導電型クラッド層 68 の上面まで電流ブロック層 70 で埋め込む。

[0072] 次に図 14（a）に示すように、第 2 導電型クラッド層 68 をさらに成長させる。第 2 導電型クラッド層 68 を成長させるには、マスク 102 をバッファードフッ酸などのフッ化水素酸で除去したあと、エピタキシャル成長させる。この工程で、積層体 72 が形成される。

[0073] 次に図 14（b）に示すように、3つの溝 104 を形成し、メサ 74 が形成される。この工程では、マスク 103 を用いて第 2 導電型クラッド層 68 の上面から第 1 導電型クラッド層 64 の途中までドライエッチングすることで、3つの溝 104 を形成する。これにより3つの溝 104 のうちの2つの溝 104 が両脇に配置されたメサ 74 を形成する。

[0074] 次に図 14（c）に示すように、例えば CVD 法により全面にシリコン窒化膜を形成したあと、ドライエッチングにより積層体 72 の側壁のシリコン

窒化膜を残しつつシリコン窒化膜をエッチバックし、保護絶縁膜100を形成する。ドライエッチングには例えば CF_4 、 CHF_3 などのフッ素系ガスによる反応性イオンエッチングを用いることができる。このとき、側壁のシリコン窒化膜のサイドエッチングによる目減りを抑えるため、エッチングは低圧、具体的には0.5 Pa以下で行うことが望ましい。

[0075] これ以降、実施の形態1と同様の工程を行い、図11のマッハツェンダー型位相変調器を得る。具体的には実施の形態1の図3(a)～4(d)の工程および図4(d)から図1に至る工程と同様の工程を行う。ただし実施の形態1では図1に示したように第1の開口部32はメサ24の脇に形成された絶縁性樹脂膜30に開けたが、この実施の形態2では図11に示すようにメサ74の両脇から離れた場所にある溝104に第1の開口部82を開けている。

[0076] 以上のとおり実施の形態2によれば、電極の寄生容量を抑え、電極の剥がれおよび断線が起こりにくい半導体装置が得られる。

[0077] なお、図15のように絶縁膜を除去してもよい。絶縁膜除去により電極等の密着性悪化を防ぐことができるのは実施の形態1と同様である。

[0078] また、この実施の形態では溝104が3つ形成されているが、少なくともメサ74の両脇に2つ形成されていればよい。すなわち積層体72には2つ以上の溝104が形成されていることになる。そして2つ以上の溝104のうちの2つはメサ74の両脇にあることになる。図16に溝が2つの場合を示した。この図では電極96をメサ74の両脇の溝の一方に設けている。

符号の説明

[0079] 10, 110, 120 半導体レーザ

12, 62 半導体基板

14, 64 第1導電型クラッド層

16, 66 活性層

18, 68 第2導電型クラッド層

20, 70 電流ブロック層

22, 72 積層体
24, 74 メサ
26, 76 リッジ導波路
28, 78 溝
30, 80 絶縁性樹脂膜
32, 82 第1の開口部
34, 84 第1の側面
36, 86 底面
38, 88 絶縁膜
40, 90 第2の開口部
42, 92 第2の側面
44, 94 第3の開口部
46, 96 電極
48, 98 メサ上電極
50, 102, 52, 103 マスク2
54, 104 溝
56 フォトレジスト
58 開口パターン
60, 130, 140 マッハツェンダー型位相変調器
100 保護絶縁膜

請求の範囲

[請求項1]

半導体基板と、

前記半導体基板の上に形成され、最下層が第1導電型クラッド層、最上層が第2導電型クラッド層で構成され、前記第2導電型クラッド層の上面から前記第1導電型クラッド層の途中まで掘られた2つ以上の溝が形成された積層体と、

前記半導体基板に近いほうから順に前記第1導電型クラッド層、活性層、前記第2導電型クラッド層で構成されたリッジ導波路を有し、前記2つ以上の溝のうちの2つが両脇に配置されたメサと、

前記2つ以上の溝に埋め込まれた絶縁性樹脂膜と、を備え、

前記2つ以上の溝のうちの1つに埋め込まれた前記絶縁性樹脂膜には前記第1導電型クラッド層が底面で露出する第1の開口部が形成され、

前記底面で前記第1導電型クラッド層と接続され、前記第1の開口部と接する前記絶縁性樹脂膜の第1の側面に沿って前記絶縁性樹脂膜より上へ引き出された電極が形成され、

前記第1の側面は順テーパ方向の傾斜を持つ半導体装置。

[請求項2]

前記絶縁性樹脂膜および前記第2導電型クラッド層の上には絶縁膜が形成され、

前記第1の側面に連なる前記絶縁膜の第2の側面は順テーパ方向の傾斜を持ち、

前記電極は前記第2の側面に沿って前記絶縁膜の上へ引き出された請求項1に記載の半導体装置。

[請求項3]

前記第1の側面と前記絶縁性樹脂膜の下面が成す角度を α とすると、

$20^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ を満たす請求項1または2に記載の半導体装置。

[請求項4]

前記第1の側面と前記絶縁性樹脂膜の下面が成す角度を α とし、

前記第2の側面と前記絶縁性樹脂膜の上面が成す角度を β とすると

、

$$3 \leq \tan \alpha / \tan \beta \leq 5$$

を満たす請求項2に記載の半導体装置。

[請求項5] 前記絶縁性樹脂膜はBCBまたはポリイミド樹脂から成る請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記リッジ導波路は半導体レーザの共振器である請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置。

[請求項7] 前記リッジ導波路はマッハツェンダー型位相変調器の変調導波路である請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置。

[請求項8] 半導体基板の上に順に第1導電型クラッド層、活性層および第2導電型クラッド層を形成する工程と、

前記第2導電型クラッド層の上面から前記第1導電型クラッド層の途中までエッチングすることで、2つ以上の溝を形成し、前記半導体基板に近いほうから前記第1導電型クラッド層、前記活性層および前記第2導電型クラッド層で構成されたリッジ導波路を有し、前記2つ以上の溝のうちの2つが両脇に配置されたメサを形成する工程と、

前記2つ以上の溝を埋め込む絶縁性樹脂膜を形成する工程と、

前記絶縁性樹脂膜および前記第2導電型クラッド層の上に絶縁膜を形成する工程と、

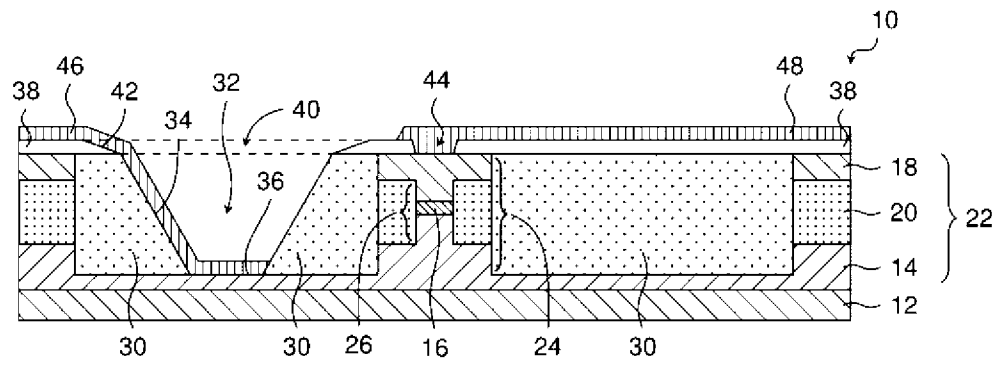
前記2つ以上の溝のうちの1つに埋め込まれた前記絶縁性樹脂膜の上の前記絶縁膜をエッチングすることにより第2の開口部を形成し、前記第2の開口部と接する前記絶縁膜の第2の側面に順テーパ方向の傾斜を持たせる工程と、

前記絶縁膜をマスクとし、前記第2の開口部の下の前記絶縁性樹脂膜を前記第1導電型クラッド層が露出するようにエッチングすることにより第1の開口部を形成し、前記第1の開口部と接する前記絶縁性樹脂膜の第1の側面に順テーパ方向の傾斜を持たせる工程と、

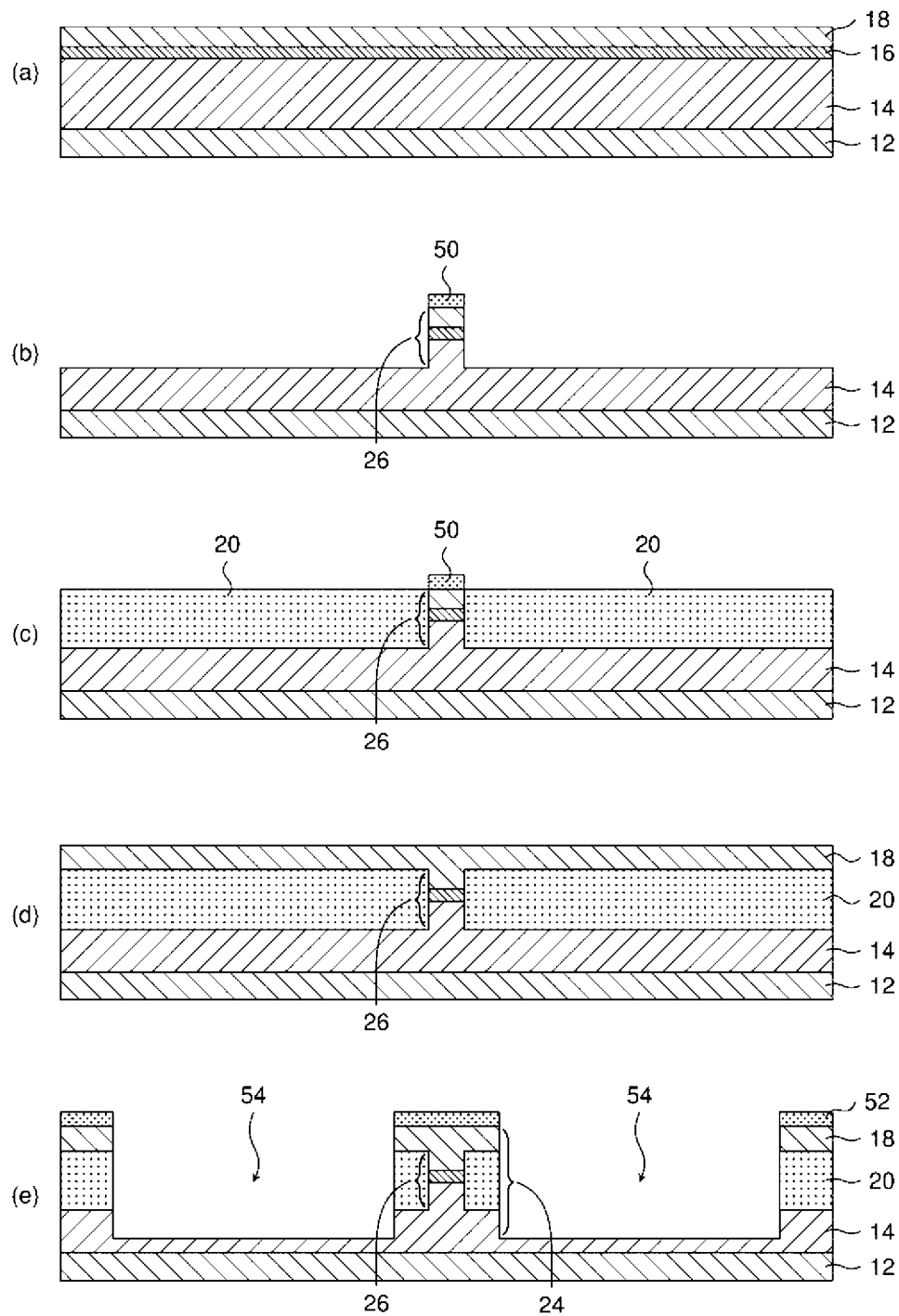
前記第 1 の開口部の底面で前記第 1 導電型クラッド層と接続され、前記第 1 の側面に沿って前記絶縁性樹脂膜より上へ引き出された電極を形成する工程と、を備えた半導体装置の製造方法。

[請求項9] 前記第 1 の側面に順テーパ方向の傾斜を持たせる工程と、前記電極を形成する工程の間に、前記絶縁膜を除去する工程を備える請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

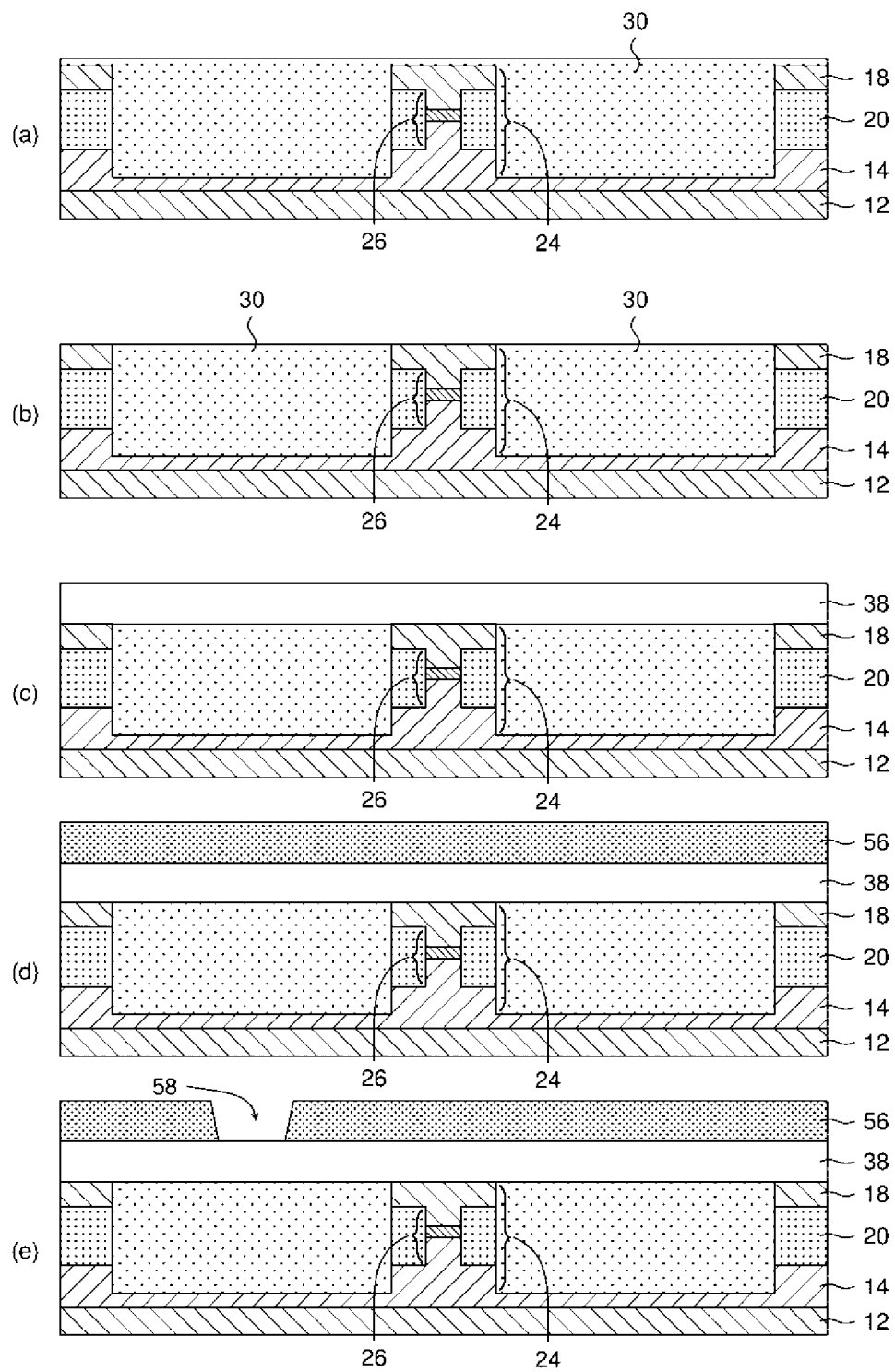
[図1]



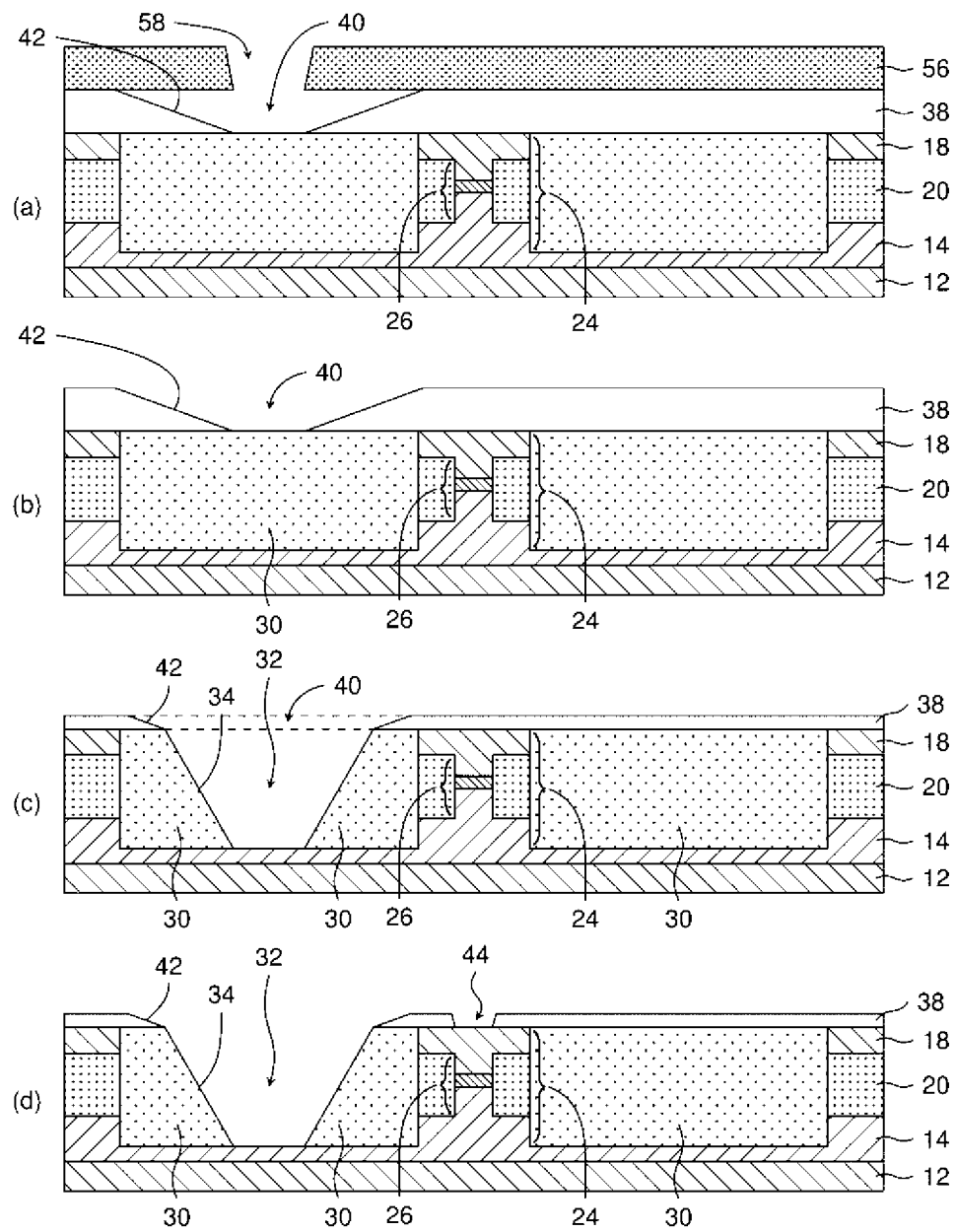
[図2]



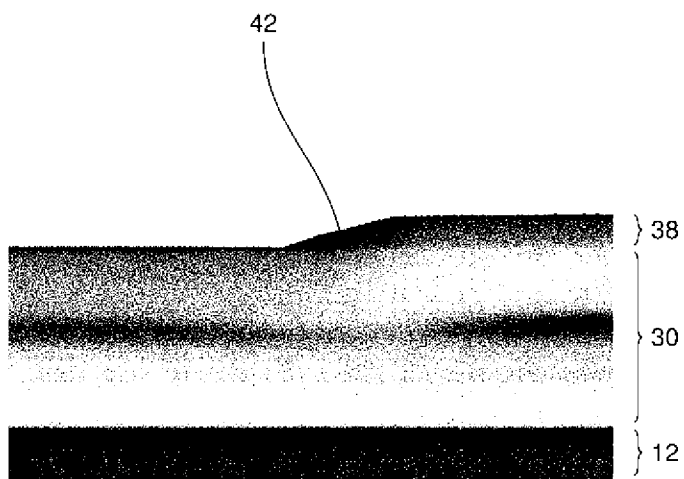
[図3]



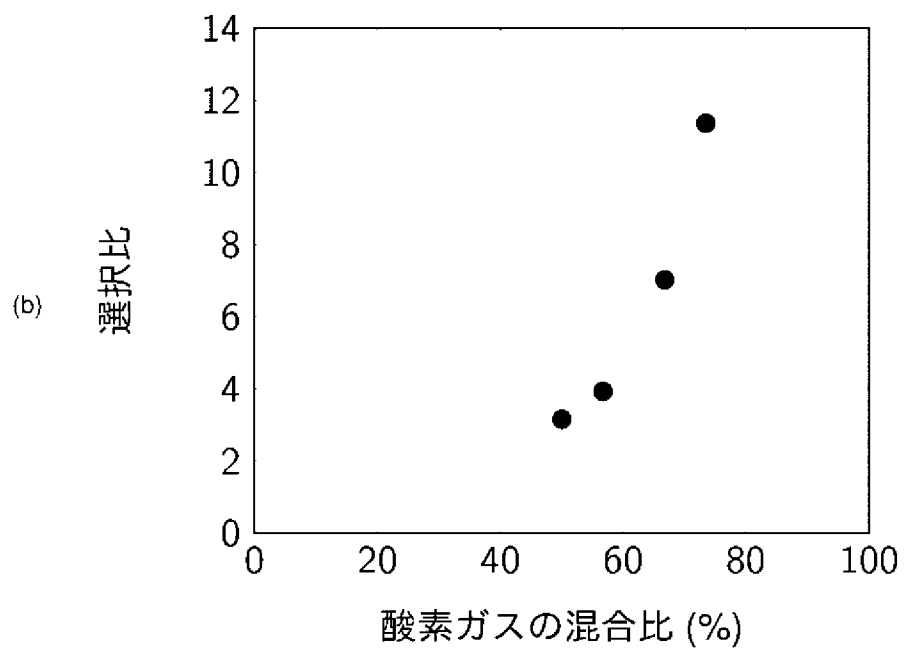
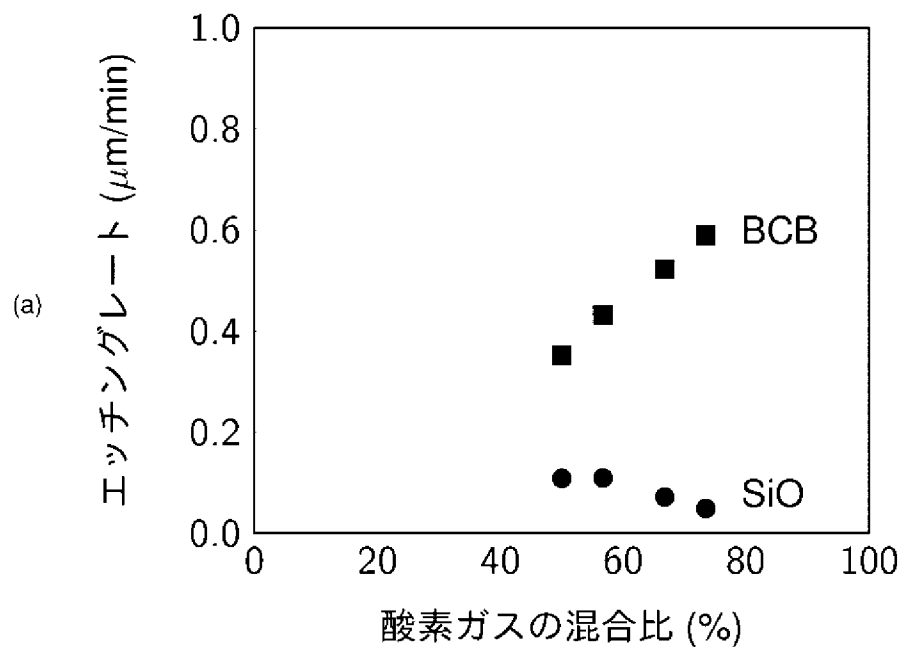
[図4]



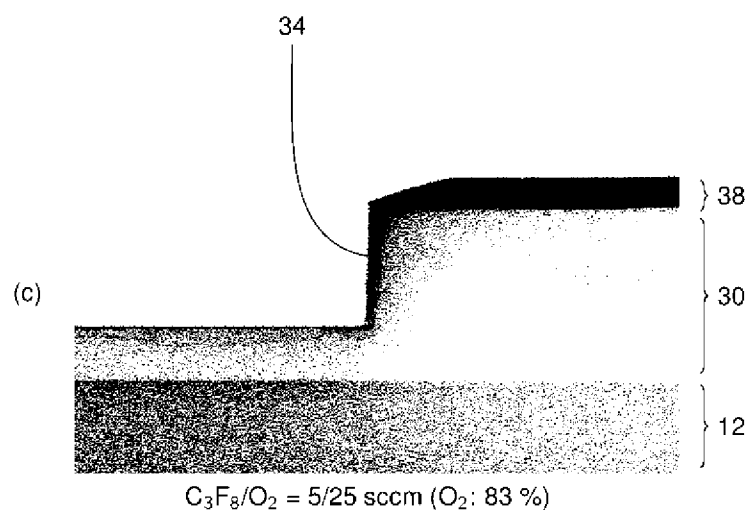
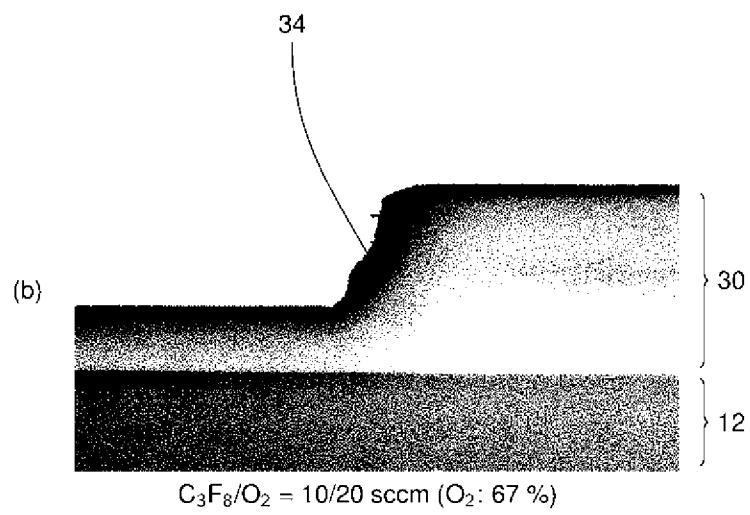
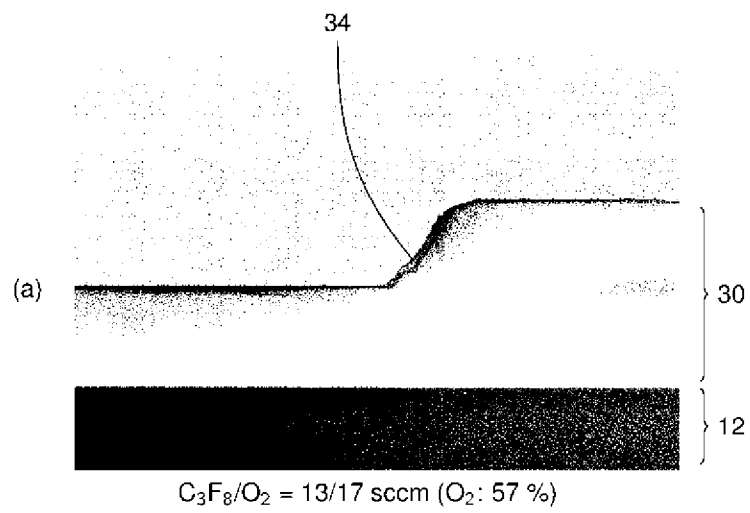
[図5]



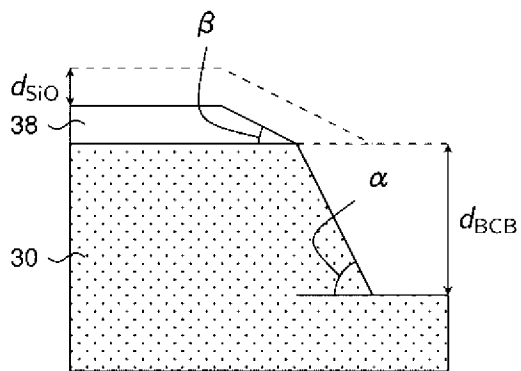
[図6]



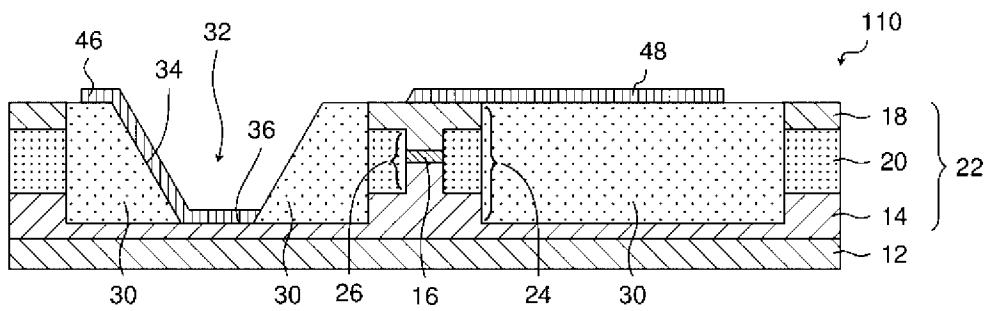
[図7]



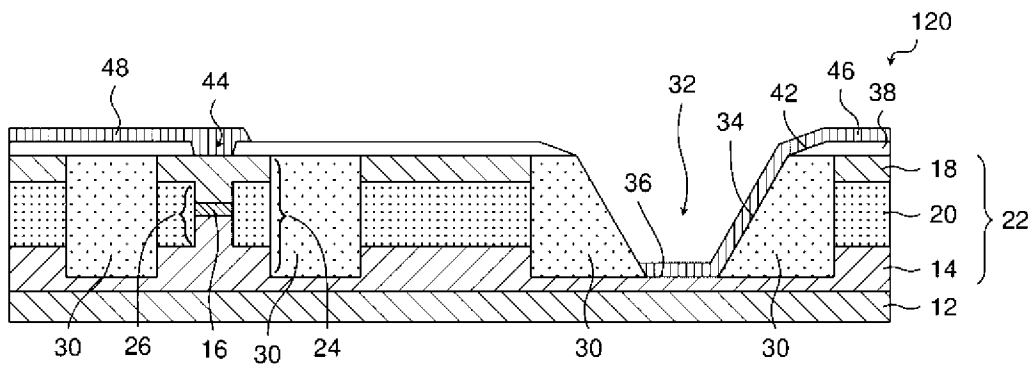
[図8]



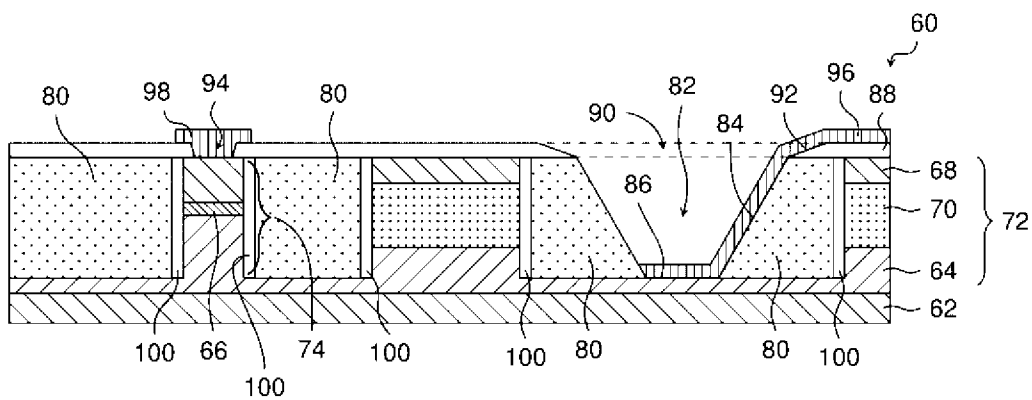
[図9]



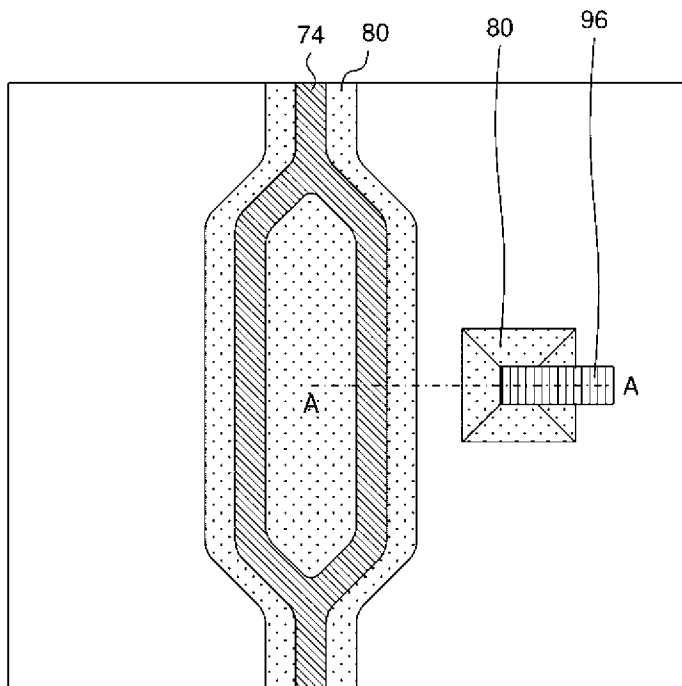
[図10]



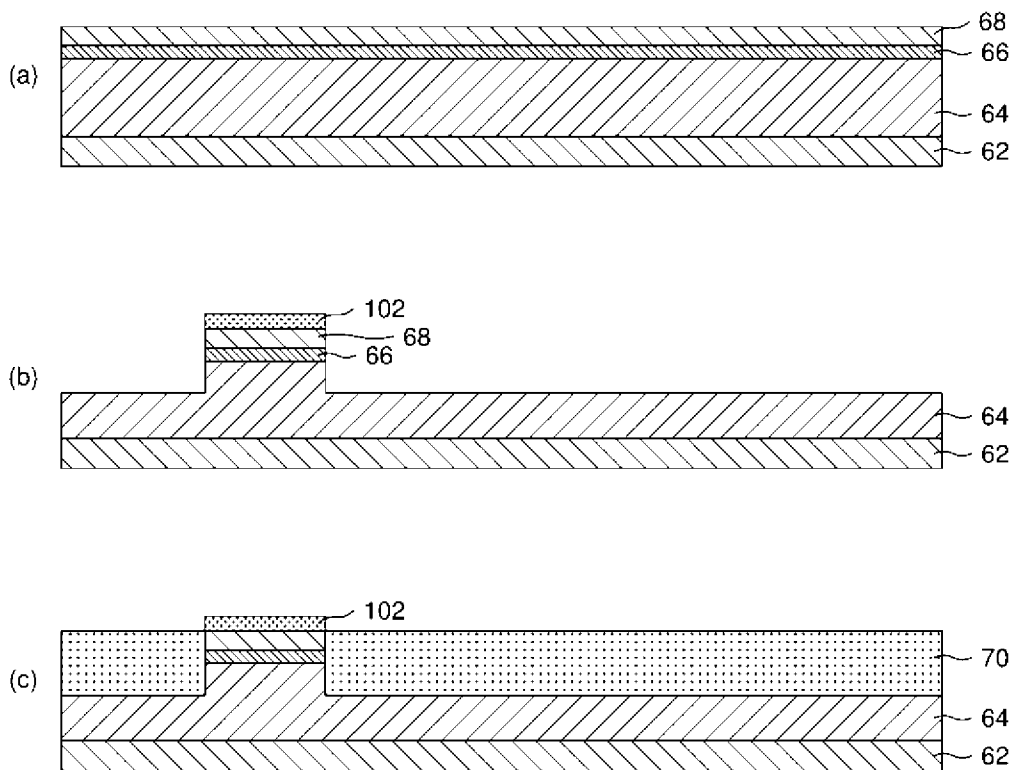
[図11]



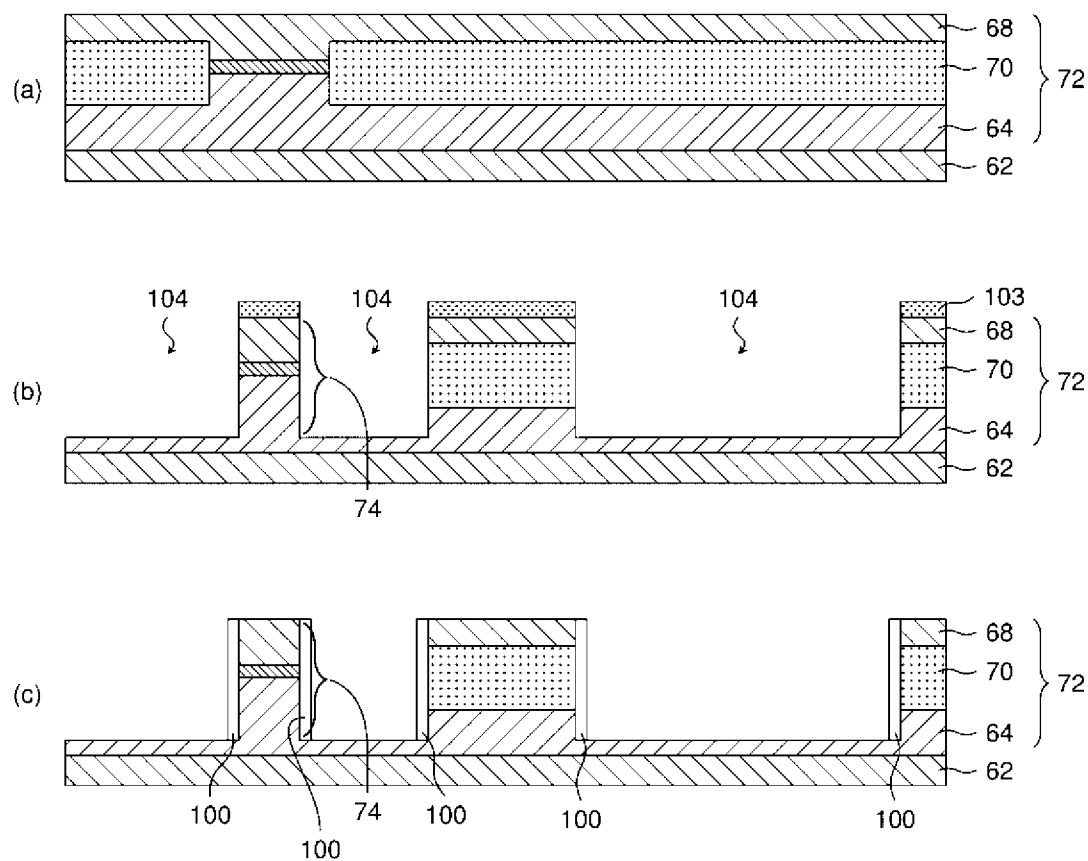
[図12]



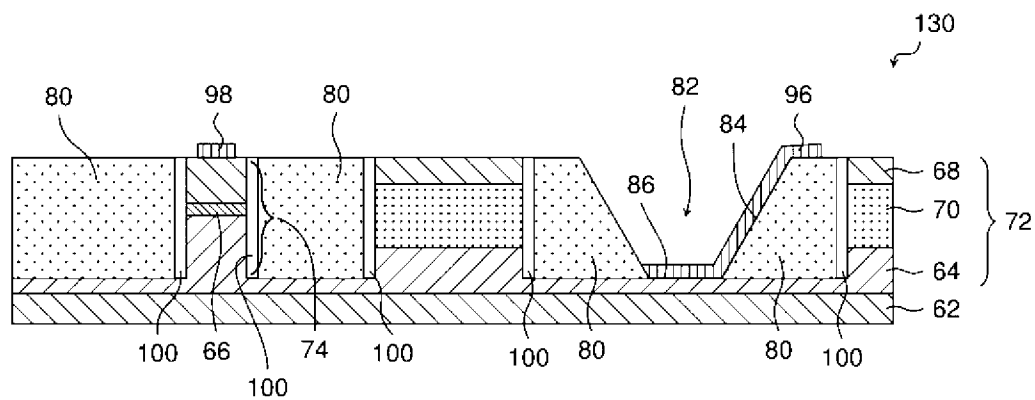
[図13]



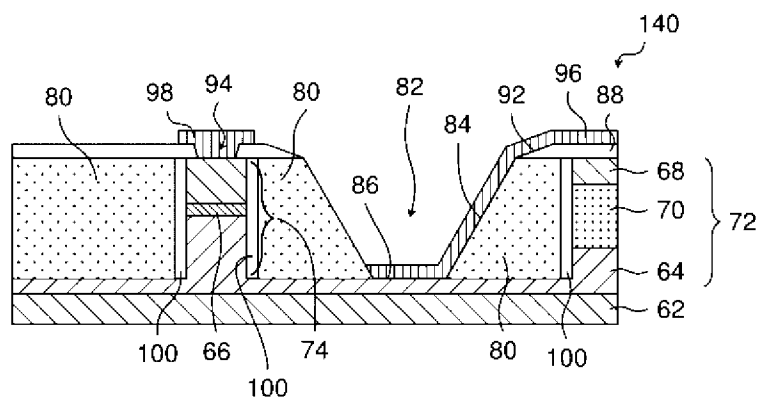
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/011431

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01S5/227 (2006.01) i

FI: H01S5/227

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)

Int. Cl. H01S5/227

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2014-38322 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 27 February 2014, paragraphs [0030]-[0128], fig. 1-14	1, 3, 5-7
A	JP 2012-209489 A (FUJITSU LTD.) 25 October 2012, entire text, all drawings	1-9
A	JP 7-135369 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 23 May 1995, entire text, all drawings	1-9
A	JP 2016-46393 A (SEDI INC.) 04 April 2016, entire text, all drawings	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
09.06.2020

Date of mailing of the international search report
23.06.2020

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

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/011431

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2014-38322 A	27.02.2014	US 2014/0021160 A1 paragraphs [0033]- [0122], fig. 1-14	
JP 2012-209489 A	25.10.2012	(Family: none)	
JP 7-135369 A	23.05.1995	(Family: none)	
JP 2016-46393 A	04.04.2016	US 2016/0056614 A1 entire text, all drawings	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 5/227(2006.01)i FI: H01S5/227														
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（IPC）） H01S5/227 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
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												
X	JP 2014-38322 A（住友電気工業株式会社）27.02.2014（2014 - 02 - 27） [0030]-[0128]図1-14	1,3,5-7												
A	JP 2012-209489 A（富士通株式会社）25.10.2012（2012 - 10 - 25） 全文全図	1-9												
A	JP 7-135369 A（日本電信電話株式会社）23.05.1995（1995 - 05 - 23） 全文全図	1-9												
A	JP 2016-46393 A（住友電工デバイス・イノベーション株式会社）04.04.2016 （2016 - 04 - 04） 全文全図	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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 参考文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 参考文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 参考文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 09.06.2020		国際調査報告の発送日 23.06.2020												
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 村井 友和 2K 3207 電話番号 03-3581-1101 内線 3255												

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/011431

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2014-38322	A	27.02.2014	US 2014/0021160 A1 [0033]-[0122]図1-14	
JP	2012-209489	A	25.10.2012	(ファミリーなし)	
JP	7-135369	A	23.05.1995	(ファミリーなし)	
JP	2016-46393	A	04.04.2016	US 2016/0056614 A1 全文全図	