(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
2025年1月2日(02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/004151 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 31/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/023636

(22) 国際出願日： 2023年6月26日(26.06.2023)

(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: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目５番１号 Tokyo (JP).

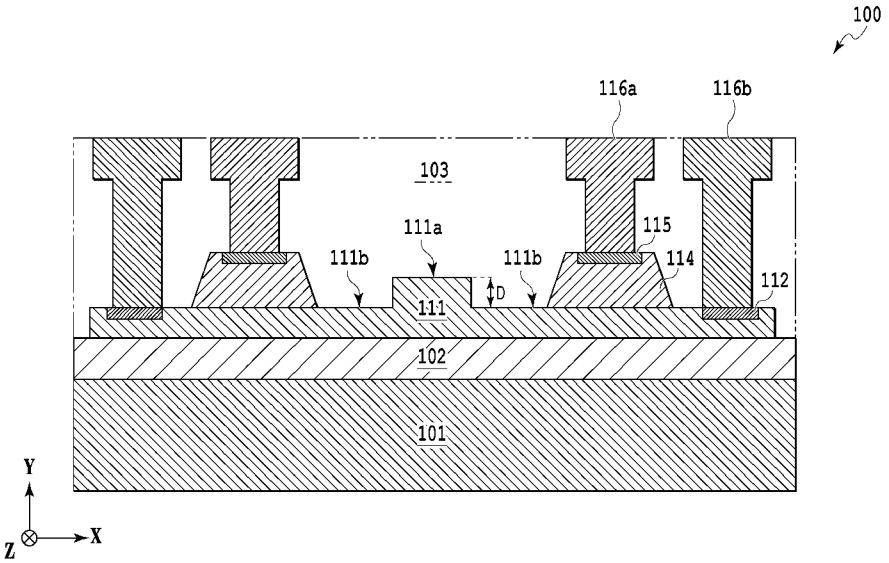
(72) 発明者: 雛倉 陽介 (**HINAKURA Yosuke**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 那須悠介(**NASU Yusuke**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 伊熊雄一郎(**IKUMA Yuichiro**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人谷・阿部特許事務所 (**TANI & ABE, P.C.**); 〒1070052 東京都港区赤坂２丁目６番２０号 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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.

(54) **Title:** LIGHT RECEIVER, LIGHT-RECEIVING CIRCUIT, AND MONITORING METHOD

(54) 発明の名称： 受光器、受光回路、および、モニタ方法



(57) **Abstract:** A light receiver (100) comprises a substrate (101), a first semiconductor layer (111), a second semiconductor layer (114), a first electrode (116b), a second electrode (116a), and an optical waveguide connected to the first semiconductor layer (111). The first semiconductor layer (111) has a first region (111a) having a first thickness, and a second region (111b) having a second thickness less than the first thickness. The second semiconductor layer (114) has a higher refractive index than the first semiconductor layer (111) and is provided on the upper part of the second region (111b). The first electrode (116b) is provided at a position outside the second semiconductor layer (114) with respect to the first region (111a), and the second electrode (116a) is provided on the upper part of the second semiconductor layer (114).

WO 2025/004151 A1

［続葉有］

(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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：受光器（１００）は、基板（１０１）、第１の半導体層（１１１）、第２の半導体層（１１４）、第１の電極（１１６ｂ）、第２の電極（１１６ａ）、および、第１の半導体層（１１１）に接続された光導波路を備える。第１の半導体層（１１１）は、第１の厚みを有する第１の領域（１１１ａ）と、第１の厚みよりも薄い第２の厚みを有する第２の領域（１１１ｂ）とを有する。第２の半導体層（１１４）は、第１の半導体層（１１１）よりも屈折率が高く、第２の領域（１１１ｂ）の上部に設けられる。第１の電極（１１６ｂ）は、第１の領域（１１１ａ）に対して第２の半導体層（１１４）よりも外側の位置に設けられ、第２の電極（１１６ａ）は、第２の半導体層（１１４）の上部に設けられる。

明　細　書

発明の名称 ： 受光器、受光回路、および、モニタ方法

技術分野

[0001]　本開示は、受光器、受光回路、および、モニタ方法に関する。

背景技術

[0002]　近年の光通信の普及に伴い、光通信装置の低コスト化が求められている。この要求に対し、例えば、光通信装置を構成する光回路を、シリコンウエハなどの大口径ウエハ上に、シリコンフォトニクスのような微小光回路技術を用いて形成する技術がある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許６９８１３６５号公報

発明の概要

[0004]　シリコンフォトニクスのような光回路を制御する場合、光回路内の特定のポイントにおける光パワー（例えば、絶対値）を正確に検出することで、光回路の動作を最適化することが可能である。

[0005]　また、光回路を用いた光モジュールを製造する場合においても、正確な光パワー検出は有用である。例えば、正確な光パワー検出は、製造される光モジュールが所期の性能または動作条件を満たしているかといった、試験的な工程に役立ち得る。

[0006]　本開示の非限定的な目的の１つは、受光する光を低損失で高精度にモニタすることが可能な受光器を提供することにある。

[0007]　本開示の一態様に係る受光器は、基板と、前記基板の上部に設けられ、第１の厚みを有する第１の領域と、前記第１の厚みよりも薄い第２の厚みを有する第２の領域とを有する第１の半導体層と、前記第２の領域の上部に設けられ、前記第１の半導体層よりも屈折率の高い第２の半導体層と、前記第２の領域の上部において前記第１の領域に対して前記第２の半導体層よりも外

側の位置に設けられた第１の電極と、前記第２の半導体層の上部に設けられた第２の電極と、前記第１の半導体層に接続された光導波路と、を備える。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第１の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図2]図１に例示した受光器のＡ－Ａ矢視断面を示す断面図である。

[図3]第１の実施形態の変形例に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図4]図３に例示した受光器のＡ－Ａ矢視断面を示す断面図である。

[図5]第２の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図6]第２の実施形態に係る吸光回路による受光パワーと光の伝搬方向に対する吸光回路の位置との関係の例を示すグラフである。

[図7]第２の実施形態に係る測定システムの例を示す図である。

[図8]第２の実施形態に係る入力光パワーのモニタ（または推定）手順の例を示すフローチャートである。

[図9]第３の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図10]図９に例示した受光器のＡ－Ａ矢視断面を示す断面図である。

[図11]第４の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図12]第５の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図13]第６の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図14]第７の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

[図15]第８の実施形態に係る受光器の構成例を示す模式的な上面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照しながら実施形態について詳細に説明する。なお、冗長な説明を避けて説明の簡易化および明瞭化を図る目的で、図面において、同一の番号を付した要素または部分は、特に断らない限り、同一または同様の要素または部分を指す。

[0010] ［概要］

光回路内の光パワーを外部から観測するために、光回路内に予め配置され

た受光器において受光パワーに応じて生じる光電流を、光回路の外部に設けられた電流計によって測定することがある。光電流は、（受光器の光感度Ｒ）×（光パワーＰ）によって決定される。そのため、正確な光感度Ｒを把握しておくことで、光電流に対する正確な光パワーＰを決定できる。

[0011] しかしながら、光感度Ｒには、受光器ごとの個体ばらつきが存在し得る。そのため、光感度Ｒの個体ばらつきに起因して、光パワーの測定に誤差が生じ得る。換言すると、光パワーの測定精度が低下し得る。また、受光器ごとに正確な光感度Ｒを把握しておくことは非現実的である。

[0012] また、通常の受光器では、例えば、光吸収量が大き過ぎるために、光パワーを可能な限り減衰させずに光パワーの測定を実施したい、といった要望または需要に応えることが難しい場合がある。このような事態または事象を回避するために、例えば、光パワーの僅かな一部分を光分岐器によって分岐し、その分岐光を測定用に受光する方法が検討され得る。

[0013] しかしながら、光パワー測定に光分岐器を用いる場合、受光器の光感度Ｒに加えて光分岐器の分岐比にも個体ばらつきが存在し得る。そのため、光感度Ｒの個体ばらつきに加えて分岐比の個体ばらつきによっても、光パワーの測定精度が低下し得る。

[0014] 以下に説明する本開示の例示的な実施形態では、光モニタおよび光分岐器といった追加の部品を用いずに、第１の半導体（例えば、光導波路）を伝搬する光の一部を第２の半導体によって吸収し、その光吸収量に応じた電流を発生する構造の受光器を用いる。

[0015] このような受光器によれば、例えば、第１の半導体を伝搬する光の損失と光パワーモニタの精度低下とを抑制可能である。第１の半導体を伝搬する光の一部を吸収する第２の半導体の非限定的な例としては、ゲルマニウム（Ｇｅ）が挙げられる。以下、Ｇｅを吸光部に用いた構造の受光器について幾つかの例示的な実施形態を説明する。なお、以下の説明において、「受光器」は、「光検出器」に適宜に読み替えられてもよい。

[0016] ［第１の実施形態］

図１は、第１の実施形態に係る受光器１００の構成例を示す模式的な上面図であり、図２は、図１に例示した受光器のＡ－Ａ断面を示す断面図である。図１および図２において、Ｘ軸、Ｙ軸、およびＺ軸は、受光器１００の３次元的な構造を説明するために便宜的に付記されている。

[0017] Ｚ軸は、光の導波方向であって、上面視における受光器１００の長さに対応する方向を表し、Ｘ軸は、上面視における受光器１００の幅に対応する方向を表し、Ｙ軸は、側面視または断面視における受光器１００の厚さ（または高さ）に対応する方向を表す。このようなＸ軸、Ｙ軸およびＺ軸が表す方向は、以降の説明において使用する図面においても同様である。

[0018] 図１および図２に示すように、受光器１００は、例えば、ＳＯＩ（Silicon On Insulator）基板１０１（以下、「基板１０１」と略記することがある）と、ＳＯＩ基板１０１の上部（例えば図２のＹ軸の正方向）に設けられた第１のクラッド層１０２と、第１のクラッド層１０２の上部に設けられた第２のクラッド層１０３と、を備える。第1のクラッド層１０２および第２のクラッド層１０３は、Ｙ軸の方向（厚み方向）における相対的な位置関係を理解し易いように、それぞれ、下部クラッド層１０２および上部クラッド層１０３と称されてもよい。

[0019] ＳＯＩ基板１０１は、例示的に、Ｓｉ基板、Ｓｉ酸化膜、及び表面Ｓｉ層を備える。クラッド層１０２およびクラッド層１０３のそれぞれは、例えば、シリコン（Ｓｉ）及びゲルマニウム（Ｇｅ）よりも屈折率の低いクラッド材料（例えば、二酸化ケイ素，SiO_2）によって形成される。なお、基板１０１の材質によっては下部クラッド層１０２を省略できることがある（例えば、石英ガラス）。

[0020] また、図２に示すように、上部クラッド層１０３の内部には、下部クラッド層１０２の上部に位置するＳｉ層１１１と、Ｓｉ層１１１の上部に位置する２つのＧｅ層１１４と、Ｇｅ層１１４のそれぞれに対応した電流取り出し用の電極１１６ａおよび１１６ｂの対と、が設けられる。

[0021] 電極１１６ａおよび１１６ｂの材料は、電流が流れる材料であれば特に限

定されないが、例示的に、アルミニウム（ＡｌＩ）が主な材料に使用されてよい。なお、電極１１６ａおよび１１６ｂの対を便宜的に「電極対１１６」と表記することがある。

[0022] 例示的に、電極対１１６の一方は、第１の電極の例であってカソード極（－極）に相当し、電極対１１６の他方は、第２の電極の例であってアノード極（＋極）に相当する。

[0023] 電極対１１６の一方（例えば、電極１１６ａ）は、Ｇｅ層１１４それぞれの上部に設けられる。電極対１１６の他方（例えば、電極１１６ｂ）は、幅方向（Ｘ軸方向）においてＧｅ層１１４よりも外側のＳｉ層１１１の上部に設けられる。

[0024] 別言すると、下部クラッド層１０２の上部において、Ｓｉ層１１１、Ｇｅ層１１４、電極対１１６は、上部クラッド層１０３に内包され、それぞれの間隙が、Ｓｉ及びＧｅよりも屈折率の低いクラッド材料によって満たされて（または、埋められて）いる。

[0025] なお、２組の電極対１１６それぞれの厚み方向（Ｙ軸の正方向）の表面は、例示的に、上部クラッド層１０３の上面に露出している。また、図２において、幅方向（Ｘ軸方向）の左右対称に位置する２つのＧｅ層１１４および電極対１１６のセットのうちの左側に位置するセットについては、図面における見やすさのために、符号の明示を省略している。

[0026] Ｓｉ層１１１は、第１の半導体層の非限定的な例であり、例えば、第１導電型の例であるｐ型の不純物をＳｉにドーピングしたｐ型Ｓｉ層である。ｐ型Ｓｉ層１１１（例えば、後述するリブ１１１ａ）のＺ軸方向の端部には、例えば図１に示すように、光入力および光出力の一方を成す光導波路１０８ａと、光入力および光出力の他方を成す光導波路１０８ｂと、が接続（または結合）される。

[0027] ｐ型Ｓｉ層１１１は、Ｙ軸方向においてｐ型Ｓｉ層１１１よりも屈折率の低いクラッド層１０２およびクラッド層１０３によって挟まれるので、光導波路１０８ａ（または、光導波路１０８ｂ）から入射した光を内部に閉じ込

めながら光導波路１０８ｂ（または、光導波路１０８ａ）へ導くスラブ状のコア層導波路として機能する。なお、光導波路１０８ａおよび１０８ｂの一方または双方は、個別の部材としてｐ型Ｓｉ層１１１に接続されてもよいし、ｐ型Ｓｉ層１１１と一体的に形成されてもよい。

[0028] ここで、本実施形態のｐ型Ｓｉ層１１１は、図１および図２に例示するように、上面視における中央部に、Ｚ軸方向に延在し、かつ、断面視においてＹ軸の正方向に突出した凸型断面形状を有するリブ（または「リッジ」と称してもよい）１１１ａを有する。

[0029] 例えば、ｐ型Ｓｉ層１１１は、Ｙ軸方向においてリブ１１１ａの厚みに相当する第１の厚みを有する第１の領域（以下「リブ領域１１１ａ」と表記することがある）と、リブ１１１ａを挟んだＸ軸方向の両側において第１の厚みよりも薄い第２の厚みを有する第２の領域１１１ｂと、を有する。なお、図２には、第１の厚みと第２の厚みとの差分が「Ｄ」によって示される。

[0030] 差分Ｄは、非限定的な一例として、５０ｎｍ～１５０ｎｍといった数十ｎｍ～百数十ｎｍのオーダの数値に設定（または設計。以下において同じ）されてよい。リブ１１１ａのＸ軸方向の幅は、特に限定されないが、例えば０．４μｍ～３μｍといった、数百ナノメートル～数マイクロメートルのオーダの数値に設定されてよい。

[0031] リブ１１１ａのＺ軸方向の長さは、特に限定されないが、例えば５μｍ～３０μｍといった、数マイクロメートル～数十マイクロメートルのオーダの数値に設定されてよい。なお、リブ１１１ａを有するリブ型導波路１１１は、例示的に、半導体の堆積技術またはフォトリソグラフィのような微細加工技術、またはその双方によって形成可能である。

[0032] 以下、リブ１１１ａを有する構造のＳｉ層１１１を、便宜的に、「リブ型導波路１１１」または「凸型断面Ｓｉ導波路１１１」と称することがある。リブ型導波路１１１においては、リブ１１１ａを挟んだ両側の２つの領域１１１ｂよりもリブ１１１ａに、より多くのパワーの光が集中的に閉じ込められながら伝搬する。

[0033] ここで、「リブ１１１ａに光が集中的に閉じ込められながら伝搬する」とは、例えば、リブ型導波路１１１において、リブ１１１ａに近い領域ほど伝搬光のパワー分布が高い傾向にあることを意味し、リブ１１１ａのみに光が伝搬することを意味しない。この点は、以降の説明においても同じである。

[0034] リブ１１１ａを挟んだ両側の領域１１１ｂそれぞれの上部には、Ｇｅ層１１４が、例えば、Ｚ軸方向に延在するリブ１１１ａを挟んで対称に設けられる。Ｇｅ層１１４のそれぞれは、第２の半導体の非限定的な例であり、例えば、リブ型導波路１１１よりも短い長さでＺ軸方向に延在し、リブ１１１ａの幅の縁からＸ軸方向に一定の間隔を空けて設けられる。

[0035] Ｇｅ層１１４は、非限定的な例として、図２の断面視において、Ｘ軸方向の幅を規定する側面が傾斜したメサ形状を有してよい。ただし、Ｇｅ層１１４は、必ずしもメサ形状でなくてもよく、例えば、図２の断面視において、リブ１１１ａと同じような凸形状を有していてもよい。

[0036] Ｇｅの屈折率はＳｉの屈折率よりも高いため、Ｓｉ導波路であるリブ型導波路１１１を伝搬する光のうち、リブ１１１ａに閉じ込めきれずに幅方向（Ｘ軸方向）両側の領域１１１ｂへ僅かに染み出した光（または、漏れ出した光）が、Ｇｅ層１１４に吸収される。したがって、Ｇｅ層１１４は、吸光部の例と理解されてよい。そのため、以下の説明において、メサ形状を有するＧｅ層１１４を便宜的に「Ｇｅメサ吸光部１１４」と表記することがある。

[0037] リブ１１１ａを挟んで幅方向（Ｘ軸方向）両側に位置する２つのＧｅ層１１４のそれぞれは、非限定的な例として、エピタキシャル成長によってリブ型導波路１１１上に形成（または積層）される。Ｇｅ層１１４それぞれの上部には、例えば図２に示すように、Ｇｅに第２導電型の例であるｎ型の不純物をドーピングしたｎ型Ｇｅ領域１１５が形成されてよい。

[0038] 図２を参照して上述したように、ｎ型Ｇｅ領域１１５それぞれの上面に、上述した電流取り出し用の電極対１１６を成す一方の電極１１６ａがその下面を接して設けられる。また、電極対１１６を成す他方の電極１１６ｂが、リブ型導波路１１１の上部であってリブ１１１ａに対してＧｅ層１１４より

も幅方向（Ｘ軸方向）外側の領域に設けられる。

[0039] 例えば、リブ型導波路１１１のＧｅ層１１４が設けられたＸ軸方向外側の領域に、ｐ型不純物を高濃度にドーピングしたｐ＋＋Ｓｉ電極部１１２が設けられ、このｐ＋＋Ｓｉ電極部１１２の上面に、電流取り出し用の電極１１６ｂの下面が接するようにして電極１１６ｂが設けられる。

[0040] なお、電極１１６ｂは、例示的に、Ｇｅ層１１４または電極１１６ａと同様に、リブ１１１ａを挟んでＸ軸方向に対称な位置に設けられてよい。また、ｐ＋＋Ｓｉ電極部１１２およびｎ型Ｇｅ領域１１５の一方または双方は、例えば、電極対１１６による電流検出感度が許容範囲内である場合に、不要としてもよい。

[0041] 例えば、電極１１６ａは、ｐ＋＋Ｓｉ電極部１１２を介さずに、ｐ型Ｓｉ層１１１（例えば、ｐ型の第２の領域１１１ｂ）の上部に接するように配置されてよい。また、電極１１６ｂは、例えば、ｎ型Ｇｅ領域１１５を介さずに、ｎ型の不純物がドーピングされたｎ型のＧｅ層１１４の上部に接するように配置されてよい。

[0042] このように、ｐ＋＋Ｓｉ電極部１１２およびｎ型Ｇｅ領域１１５の一方または双方を不要としてもよい場合があることは、以降の説明においても同様である。

[0043] （動作例）

上述した構造を有する受光器１００において、例えば、光導波路１０８ａからリブ型導波路１１１に光が入射されると、リブ１１１ａに光が集中的に閉じ込められながらリブ型導波路１１１を伝搬し、光モードの両端が僅かに（例えば、数％以下の割合で）リブ１１１ａの両側（Ｘ軸方向）の領域１１１ｂに染み出す。

[0044] リブ１１１ａの両側の領域１１１ｂに染み出した光は、Ｓｉ層１１１よりも屈折率の高いＧｅ層１１４において吸収される。Ｇｅ層１１４は、吸収した光のパワーに応じた電荷を発生し、発生した電荷に応じた電流が電極１１６ａおよび１１６ｂの対に流れる。したがって、例えば、電極対１１６に電

流計を接続することで、リブ型導波路１１１を伝搬する光パワーを部分的にモニタすることが可能である。

[0045] なお、Ｇｅ層１１４で吸収されなかった大部分の光パワーは、出力側の光導波路１０８ｂに伝搬して受光器１００から出力される。別言すると、受光器１００は、入力光を終端せずに透過するタイプの受光器である。

[0046] ここで、Ｇｅメサ吸光部１１４による光吸収率を数％以下に抑えることで、リブ型導波路１１１を伝搬して出力側の光導波路１０８ｂへ出力される光パワーの減衰（または損失）を抑制することが可能である。したがって、リブ型導波路１１１を伝搬する光パワーの低損失かつ高感度なモニタを実現可能である。

[0047] Ｇｅメサ吸光部１１４による光吸収率は、例えば、リブ型導波路１１１に設けられるリブ１１１ａとＧｅメサ吸光部１１４とのＸ軸方向の間隔に依存して変化し得る。例えば、リブ１１１ａおよびＧｅメサ吸光部１１４のＸ軸方向の間隔が短いほど、Ｇｅメサ吸光部１１４での光吸収率が大きくなり、リブ型導波路１１１を伝搬する光の損失が大きくなる傾向にある。

[0048] したがって、例えば、リブ１１１ａのＸ軸方向の幅を規定する縁と、Ｇｅメサ吸光部１１４のリブ１１１ａに近い側の縁との間の距離を、所期の光吸収率（例えば、数％以下）が得られるように理論的または実験的に設定する。

[0049] このような設定により、伝搬光の損失と光パワーモニタの精度低下とを抑制可能な受光器１００を実現できる。非限定的な例として、Ｇｅメサ吸光部１１４での光吸収率を５％以下とする場合、上述した縁どうしの間の距離は、数μｍ～数十μｍ（例えば、３μｍ～３０μｍ）程度が想定される。

[0050] なお、上述した実施形態において、ｐ型半導体とｎ型半導体との関係（別言すると、第１導電型と第２導電型との関係）は、逆であってもよい。例えば、ｐ型Ｓｉ層（リブ型導波路）１１１およびｐ＋＋Ｓｉ電極部１１２は、それぞれ、Ｓｉにｎ型の不純物をドーピングしたｎ型Ｓｉ層およびｎ＋＋電極部に置換されてよく、かつ、ｎ型Ｇｅ領域１１５は、Ｇｅにｐ型の不純物

をドーピングしたｐ型Ｇｅ領域に置換されてよい。この場合、一対の電極１１６ａおよび１１６ｂを流れる電流の向きが、置換しない場合に対して逆方向になる。このようにｐ型半導体とｎ型半導体との関係が逆でもよいことは、後述する変形例および他の実施形態についても同様にあてはまる。

[0051] また、上述した実施形態においては、Ｇｅ層１１４、電極１１６ａおよび１１６ｂが、リブ型導波路１１１のＺ軸方向に延在するリブ１１１ａに対してＸ軸方向両側に対称に配置される例を示したが、非対称な配置が採用されてもよい。非対称な配置の幾つかの例については、後述する他の実施形態において説明する。

[0052] ［変形例］

次に、図３および図４を参照して、上述した第１の実施形態の変形例について説明する。図３は、第１の実施形態の変形例に係る受光器１００Ａの構成例を示す模式的な上面図であり、図４は、図３に例示した受光器１００ＡのＡ－Ａ断面を示す断面図である。

[0053] 図３および図４に示す受光器１００Ａは、図１および図２に例示した受光器１００に比して、リブ型導波路であるＳｉ層１１１の構成の一部、例えば、少なくともリブ１１３ａの材料が第１の実施形態とは異なる。

[0054] 図３および図４に非限定的な例を示すように、変形例に係る受光器１００Ａにおいて、Ｓｉ層１１１の第１の厚みを有するリブ１１３ａの領域（以下、リブ領域１１３ａとも表記する）は、第１の実施形態とは異なり、ｐ型の不純物がドーピングされない領域である。

[0055] 一方、Ｓｉ層１１１の第１の厚みよりも薄い第２の厚みを有する領域１１１ｂの一部または全部は、第１の実施形態と同様に、ｐ型の不純物がドーピングされた領域である。ただし、図４に示すように、本変形例においては、第２の厚みを有する領域１１１ｂのうちリブ領域１１３ａの幅方向（Ｘ軸方向）両側の周辺領域についても、ｐ型不純物がドーピングされない領域である。

[0056] 図４の断面視において、リブ領域１１３ａを含む凸状領域１１３は、ｐ型

不純物がドーピングされた領域よりも高い屈折率を有する真性Ｓｉ領域である。以下、このようにｐ型の不純物がドーピングされない凸状領域１１３を有するリブを、便宜的に、真性Ｓｉリブ１１３（または真性Ｓｉ領域１１３）と表記する。

[0057] 真性Ｓｉリブ１１３のＸ軸方向の幅は、リブ型導波路１１１の第２の厚みを有する第２の領域１１１ｂ上において、Ｇｅメサ吸光部１１４に重ならず、かつ、接しない範囲で理論的または実験的に設定されてよい。

[0058] このように、リブ型導波路１１１において真性Ｓｉリブ１１３を設けることで、不純物ドーピングによって生じる望まれない光吸収を第１の実施形態よりも抑制することが可能である。したがって、第１の実施形態に比して、リブ型導波路１１１を伝搬する光の損失をより低減できる。

[0059] なお、本変形例において示したリブ型導波路１１１における真性Ｓｉリブ１１３は、後述する他の実施形態においても同様に適用可能である。

[0060] ［第２の実施形態］

次に、図５から図８を参照して、第２の実施形態について説明する。図５は、第２の実施形態に係る受光器１００Ｂの構成例を示す模式的な上面図である。図５に示すように、受光器１００Ｂは、リブ１１１ａを挟んだ両側のリブ型導波路１１１上の第２の領域１１１ｂのそれぞれに、Ｚ軸方向に直列に並べて配置された複数（例えば、５つ）のＧｅメサ吸光部１１４（合計で５×２＝１０個）を備える。

[0061] また、受光器１００Ｂは、リブ型導波路１１１の上部において、個々のＧｅメサ吸光部１１４に対応した複数（例えば、５組）の電極対１１６（電極対として合計で１０個、電極対を成す個々の電極として合計で２０個）と、を備える。

[0062] Ｇｅメサ吸光部１１４および電極対１１６の材料、形状またはサイズといった種々のパラメータは、例えば、第１の実施形態と同じであってもよいし、受光器１００Ｂ（例えば、基板１０１）のサイズに応じて適宜に変更されてもよい。図５には、リブ１１１ａ両側の２つの領域１１１ｂの１つあたり

に５つのＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６がＺ軸方向に直列に配置されるため、それぞれのＺ軸方向の長さが第１の実施形態よりも小さい例が示される。

[0063] なお、図５において、リブ１１１ａを挟んでＸ軸方向に対称に配置された２つのＧｅメサ吸光部１１４と、これら２つのＧｅメサ吸光部１１４に対応する２つの電極対１１６とのセットは、便宜的に「吸光回路」または「光検出回路」と称されてよい。図５の例では、２以上の整数を「ｎ」で表した場合に、ｎ＝１～５の５組の吸光回路＃１～＃５が、リブ１１１ａの延在するＺ軸方向に直列に配置される。

[0064] ＧｅメサＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６のセットのＺ軸方向の配置間隔は、例えば、個々のＧｅメサ吸光部１１４において生じる電流が相互に干渉する影響（以下「電流クロストーク」とも称する）に基づいて設定されてよい。例えば、Ｚ軸方向の配置間隔は、電流クロストークが生じない範囲の値、または電流クロストークが生じても許容可能な範囲の値に設定されてよい。

[0065] このように電流クロストークに基づいてＺ軸方向の配置間隔を最適化することで、例えば、受光器１００Ｂのサイズ低減、または、１つあたりの受光器１００Ｂに搭載されるＧｅメサ吸光部１１４の密度が増加することによる入力光パワーの推定精度（後述）の向上を図ることが可能である。入力光パワーの推定に関しては、図６から図８を参照して詳細を後述する。

[0066] 図５に例示したような配置により、リブ型導波路１１１を伝搬する光のパワーをＺ軸方向の複数の位置または領域においてモニタ（便宜的に「マルチポイントモニタ」と称してもよい）することが可能である。その他の受光器１００Ｂにおける構成要素は、第１実施形態と同一または同様でよい。例えば、図５におけるＡ－Ａ断面（別言すると、受光器１００ＢのＹ軸方向の積層構造）は、図２（または図４）に例示したＡ－Ａ断面と同じであると理解されてよい。

[0067] 例えば、基板１０１の上部に下部クラッド層１０２が積層され、下部クラ

ッド層１０２の上部にリブ型導波路１１１が積層される。そして、リブ型導波路１１１の上部にＧｅメサ吸光部１１４が設けられ、Ｇｅメサ吸光部１１４およびリブ型導波路１１１の上部に電極対１１６が設けられる。ただし、第２の実施形態において、リブ型導波路１１１は、複数の吸光回路＃１～＃５のそれぞれを成す複数のＧｅメサ吸光部１１４および複数の電極対１１６に共通である。

[0068] 図５には、吸光回路＃１～＃５のうちの１つ（吸光回路＃３）に着目した切断線Ａ－Ａのみが示され、他の４組の吸光回路＃１、＃２、＃４、＃５については図示が省略されている。他の４組の吸光回路＃１、＃２、＃４、＃５のそれぞれについても、Ｙ軸方向の積層構造は図２（または図４）と同じであると理解されてよい。

[0069] 上述した構造を有する受光器１００Ｂでは、例えば、光導波路１０８ａからリブ型導波路１１１に光が入射されると、リブ１１１ａに光が集中的に閉じ込められながらリブ型導波路１１１を伝搬し、光モードの両端が僅かに（例えば、数％以下の割合で）リブ１１１ａの両側（Ｘ軸方向）の領域１１１ｂに染み出す。

[0070] リブ１１１ａの両側の領域１１１ｂに染み出した光は、吸光回路＃１～＃５のそれぞれにおいて、Ｘ軸方向に対称な配置の２つのＧｅメサ吸光部１１４によって吸収される。そして、個々のＧｅメサ吸光部１１４において、吸収した光のパワーに応じて電荷が発生し、発生した電荷に応じた電流が、対応する電極対１１６に流れる。

[0071] ここで、マルチポイントモニタでは、リブ型導波路１１１を伝搬する光の僅かな一部が複数の吸光回路＃ｉ（ｉは１～ｎの何れか）のそれぞれにおいて吸収されるため、伝搬光のパワーは、伝搬方向の後段に進むほど減衰し易い。したがって、光の伝搬方向に対して後段に位置する吸光回路＃ｉほど吸光量が減少する傾向になるため、電極対１１６に流れる電流の大きさも小さくなる傾向にある。

[0072] なお、各吸光回路＃ｉのＧｅメサ吸光部１１４において吸収されなかった

大部分の光パワーは、出力側の光導波路１０８ｂに伝搬して出力される。

[0073] （モニタ方法）

次に、上述したマルチポイントモニタにおける光吸収量（または電流値）の減少傾向を利用して受光器１００Ｂに対する入力光パワーを推定する方法について、図６から図８を参照して説明する。図６は、吸光回路＃ｉによる受光パワー（縦軸）と、光の伝搬方向に対する吸光回路＃ｉの位置（横軸）との関係の例を示すグラフである。

[0074] なお、図６の横軸は、光の伝搬方向に対する吸光回路＃ｉの位置を昇順の吸光回路番号（ｉ）によって表す。別言すると、図６の横軸は、吸光回路番号が大きいほど初段の吸光回路＃１に光が入射する位置を基準にした光の伝搬方向への距離が大きいことを表す。

[0075] 図６において黒点６０１でプロットしたように、個々の吸光回路＃ｉにおいて生じた電流値を基に個々の吸光回路＃ｉによる受光パワーが導出される。なお、１つの吸光回路＃ｉには、既述のとおり、リブ１１１ａを挟んで対称に配置された２つのＧｅメサ吸光部１１４が含まれる。そのため、例えば、２つのＧｅメサ吸光部１１４のそれぞれによって生じる電流値の一方が、１つの吸光回路＃ｉの電流値として選択されてもよいし、２つの電流値の平均値が、１つの吸光回路＃ｉの電流値として決定されてもよい。「平均」は、単純平均であってもよいし、加重平均であってもよい。

[0076] そして、例えば、複数の吸光回路＃ｉのそれぞれについて導出された受光パワーから回帰直線６０２を導出し、回帰直線６０２と初段の吸光回路＃１の位置とのグラフ上での交点（図６において白丸でプロットした点）６０３を求める。交点６０３に対応する縦軸の光パワーが、初段の吸光回路＃１に対する入力光パワーの推定値（または予測値と称してもよい）に相当する。したがって、例えば、受光器１００Ｂに対する入力光パワーの推定精度を高めることができる。

[0077] 上述した回帰直線の導出および回帰直線に基づく入力光パワーの推定には、例えば図７に模式的に示すように、デジタルシグナルプロセッサ（ＤＳＰ

）のような演算処理能力を有するプロセッサ４００が用いられてよい。図７は、第２の実施形態に係る測定システム７００の例を示す図である。

[0078] 測定システム７００は、電流計２００と、アナログ－デジタル変換器（ＡＤＣ）３００と、プロセッサ４００と、を備える。電流計２００、ＡＤＣ３００およびプロセッサ４００の一部または全部は、２つ以上備えられていてもよい。図７には、例示的に、１つの吸光回路＃ｉに含まれる１つのＧｅメサ吸光部１１４に着目した場合の電極対１１６とプロセッサ４００との接続関係の例が示される。

[0079] 図７に示すように、１つのＧｅメサ吸光部１１４に対応する電極対１１６に、電流計２００が接続され、電流計２００の出力にアナログ－デジタル変換器（ＡＤＣ）３００が接続され、ＡＤＣ３００の出力にプロセッサ４００が接続される。

[0080] 電流計２００において電極対１１６を流れる電流が測定され、その測定値であるアナログ電流値がＡＤＣ３００にてＡＤ変換されることによってデジタル電流値が生成され、当該デジタル電流値がプロセッサ４００に入力される。複数の吸光回路＃ｉについて電流計２００を用いた電流測定を実施することで、吸光回路＃ｉごとのデジタル電流値が得られてプロセッサ４００に入力される。

[0081] なお、複数の吸光回路＃ｉに対する電流測定は、例えば、電流計２００を接続する対象の吸光回路＃ｉ（電極対１１６）を１つずつ変更することを繰り返すことで実施されてよい。例えば、図７に示した例において、複数の電極対１１６と電流計２００との間に接続を切り替えるスイッチ（図示省略）を設けて、スイッチの切替制御によって電流計２００の接続対象を切り替えるようにしてよい。スイッチの切替制御は、例えば、プロセッサ４００によって実施されてよい。この場合、例えば、電流計２００、ＡＤＣ３００およびプロセッサ４００を複数の吸光回路＃ｉに対して共用化できるので、測定システム７００の規模を低減できる。

[0082] 代替的に、複数の吸光回路＃ｉに対する電流測定は、例えば、複数の電流

計２００を各吸光回路＃ｉの電極対１１６のそれぞれに個別的に接続しておくことで実施されてもよい。

[0083] 図８は、第２の実施形態に係る入力光パワーのモニタ（または推定）手順の例を示すフローチャートである。図８に示すように、受光器１００Ｂ（例えば、光導波路１０８ａ）に光を入力する（Ｓ１０）。光導波路１０８ａに入力する光は、光源を有する光送信機の送信光であってもよいし、光ファイバのような光伝送路を伝送されてくる光を受信する光受信機の受信光であってもよい。

[0084] 受光器１００Ｂに光が入力された状態において、上述したとおり複数の吸光回路＃ｉに対する電流測定が実施され（Ｓ２０）、複数の電流測定結果であるデジタル電流値がプロセッサ４００に入力される。

[0085] プロセッサ４００は、吸光回路＃ｉそれぞれについて得られたデジタル電流値を基に図６に例示したような回帰直線６０２を導出する（Ｓ３０）。回帰直線６０２を基に、プロセッサ４００は、例えば図６に例示したグラフ上での交点６０３を求めることより、初段の吸光回路＃１に入力される光パワーを推定する（Ｓ４０）。そして、プロセッサ４００は、推定により得られた推定値を出力する（Ｓ５０）。

[0086] 推定値の出力先は、光送信機において送信光の出力パワーをフィードバック制御する制御回路、または光受信機の増幅器の利得を制御する制御回路とすることができる。また、限定されないが、例えば、ディスプレイのような表示装置、プリンタのような印刷装置、他のプロセッサ、メモリのような記憶装置または記憶媒体、または通信回線の何れであってもよい。

[0087] 以上のように、上述したモニタ方法によれば、受光器１００Ｂに光導波路１０８ａを通じて光が入力された状態において、Ｚ軸方向に直列配置された複数のＧｅメサ吸光部１１４それぞれの電極対１１６について電流値を測定する。そして、プロセッサ４００において、各測定電流値に基づいて回帰直線６０２を導出し、回帰直線６０２に基づいて受光器１００Ｂへの入力光パワーを推定する。したがって、リブ型導波路１１１を伝搬する光の損失を抑

制しつつモニタ精度を向上することが可能である。

[0088] なお、上述した第２の実施形態では、初段の吸光回路＃１への入力光パワーを推定したが、例えば、最後尾に位置する吸光回路＃ｎの出力光パワーを回帰直線６０２に基づいて推定してもよい。また、吸光回路＃ｉの数（別言すると、リブ型導波路１１１を光が伝搬する方向に沿った電流測定ポイントの数）がｎ＝５である例を示したが、ｎ＝５には限定されず、回帰直線６０２を導出可能な数、例えば、ｎ≧２であればよい。

[0089] ｎが大きいほど、導出される回帰直線６０２の精度が向上し、結果として、入力光パワーの推定精度が向上する。その一方で、リブ型導波路１１１を伝搬する光の損失は増加する傾向にある。ｎの値は、例えば、入力光パワーに関する所期の推定精度と、許容可能な光損失レベルとのトレードオフの関係に基づいて適宜に定められてよい。

[0090] 回帰直線６０２の「導出」は、回帰式の演算による「算出」であってもよいし、例えば、テーブル形式のデータの参照（別言すると、テーブル引き）のような、「算出」を伴わない「決定」であってもよい。また、吸光回路＃ｉによる受光パワーと、光の伝搬方向に対する吸光回路＃ｉの位置との関係は、回帰直線６０２を導出する手法とは異なる手法によって近似されてもよい。

[0091] ［第３の実施形態］

次に、図９および図１０を参照して、第３の実施形態について説明する。図９は、第３の実施形態に係る受光器１００Ｃの構成例を示す模式的な上面図であり、図１０は、図９に例示した受光器１００ＣのＡ－Ａ矢視断面を示す断面図である。

[0092] 図９および図１０に例示した受光器１００Ｃは、第２の実施形態において図５に例示した構成に比して、リブ型導波路１１１において、複数組（例えば、ｎ＝５組）のＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６のセットが、リブ１１１ａを挟んでＸ軸方向両側に存在する２つの領域１１１ｂのうちの一方に限定してＺ軸方向に直列に配置される点が異なる。なお、領域１１１ｂ

は、既述のとおり、リブ型導波路１１１におけるリブ１１１ａの厚みよりも薄い領域である。

[0093] ｎ組のＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６は、それぞれ、２つの領域１１１ｂのうちの一方においてリブ型導波路１１１を伝搬する光の一部を導波方向（Ｚ軸方向）の異なる位置で吸光する吸光回路＃１～＃ｎを形成する。そのため、第３の実施形態に係る吸光回路＃ｉは、第２の実施形態とは異なり、１つのＧｅメサ吸光部１１４と、１つの電極対１１６とを含む。したがって、例えば、第２の実施形態において説明したような、１つあたりの吸光回路＃ｉから得られる２つの電流値の選択または平均は、第３の実施形態において不要である。

[0094] その他の受光器１００Ｃにおける構成要素は、第１の実施形態および第２の実施形態と同一または同様でよい。例えば、基板１０１の上部に下部クラッド層１０２が積層され、下部クラッド層１０２の上部にリブ型導波路１１１が積層される。そして、図９および図１０に示すように、リブ型導波路１１１の２つの領域１１１ｂの一方の上部にＧｅメサ吸光部１１４が設けられ、Ｇｅメサ吸光部１１４およびリブ型導波路１１１の上部に電極対１１６が設けられる。なお、リブ型導波路１１１は、第２の実施形態と同様に、複数の吸光回路＃１～＃５のそれぞれを成す複数のＧｅメサ吸光部１１４および複数の電極対１１６に共通である。

[0095] 図９には、吸光回路＃１～＃５のうちの１つ（吸光回路＃３）に着目した切断線Ａ－Ａのみが示され、他の４組の吸光回路＃１、＃２、＃４、＃５については図示が省略されている。他の４組の吸光回路＃１、＃２、＃４、＃５のそれぞれについても、Ｙ軸方向の積層構造は図１０と同じであると理解されてよい。

[0096] （動作例）

上述した構造を有する受光器１００Ｃでは、例えば、光導波路１０８ａからリブ型導波路１１１に光が入射されると、リブ１１１ａに光が集中的に閉じ込められながらリブ型導波路１１１を伝搬し、光モードの両端が僅かに（

例えば、数％以下の割合で）リブ１１１ａの両側（Ｘ軸方向）の領域１１１ｂに染み出す。

[0097] リブ１１１ａの両側の領域１１１ｂに染み出した光のうち、吸光回路＃１～＃５が設けられた一方の領域１１１ｂに染み出した光は、吸光回路＃１～＃５のそれぞれにおいて、ＧｅメサＰＤ１１４によって吸収される。そして、個々のＧｅメサＰＤ１１４において、吸収した光のパワーに応じて電荷が発生し、発生した電荷に応じた電流が、対応する電極対１１６に流れる。

[0098] したがって、リブ型導波路１１１の吸光回路＃１～＃５が設けられた一方の領域１１１ｂに関して、第２の実施形態と同様のマルチポイントモニタが実現される。その他の動作例については第２の実施形態と同等と理解されてよい。例えば、マルチポイントモニタによって、第３の実施形態においても、図６から図８を参照して説明したように、Ｚ軸方向の複数の電流測定ポイントにおいて測定された電流値に基づく回帰直線６０２の導出、および、導出した回帰直線６０２に基づく入力光パワー（または出力光パワー）の推定が可能である。

[0099] 第３の実施形態に係る受光器１００Ｃでは、リブ１１１ａを挟んでＺ軸方向の両側の領域１１１ｂにＧｅメサＰＤ１１４を配置した第２の実施形態の受光器１００Ｂよりも、リブ型導波路１１１を伝搬する光の損失を低減できる。したがって、例えば、受光器１００Ｃへの入力光パワーが第２の実施形態よりも低い場合に、所期の光出力パワーを満たし易い。

[0100] その一方で、ＧｅメサＰＤ１１４による吸光量は減少傾向になるので、電流測定に基づく光パワーモニタの精度または感度は低下傾向になる。伝搬光の許容損失量と光パワーモニタの精度または感度の許容レベルとのトレードオフではあるが、例えば、ＧｅメサＰＤ１１４の配置数は変えずに、ＧｅメサＰＤ１１４のサイズを増加したり、配置位置をリブ１１１ａに近付けたりすることによって、光パワーモニタの精度または感度は向上可能である。

[0101] ［第４の実施形態］

次に、図１１を参照して、第４の実施形態について説明する。図１１は、第４の実施形態に係る受光器１００Ｄの構成例を示す模式的な上面図である。図１１に例示する受光器１００Ｄは、第１の実施形態に例示した受光器１００（図１および図２を参照）をＺ軸方向に複数（例示的に、３つ）直列に配置した構成に実質的に相当する。

[0102] なお、受光器１００Ｄは、複数の受光器１００を構成要素に含むので、例えば、便宜的に、「受光回路１００Ｄ」と称されてもよい。また、図１１におけるＡ－Ａ矢視断面は、図２（または図４）に例示した矢視断面と同じと理解されてよい。

[0103] 例えば、受光器１００Ｄは、基板１０１と、基板１０１のＹ軸方向上部に設けられた下部クラッド層１０２と、下部クラッド層１０２のＹ軸方向上部に設けられた上部クラッド層１０３とを備える。

[0104] 上部クラッド層１０３の内部において、複数のリブ型導波路１１１－１～１１１－ｍが、それぞれに共通の下部クラッド層１０２のＹ軸方向上部に、Ｚ軸方向に直列に配置される。なお、ｍは２以上の整数を表し、本例においてはｍ＝３である。

[0105] Ｚ軸方向において隣り合うリブ型導波路１１１－ｊ（例えば、リブ１１１ａ）の間のそれぞれは、下部クラッド層１０２のＹ軸方向上部に設けられる光導波路１０８によって接続される。ｊは、１～ｍのうちの何れか１つの整数を表す。

[0106] リブ型導波路１１１－１のＺ軸方向の両端部のうち光導波路１０８が接続されない端部は、例えば、下部クラッド層１０２のＹ軸方向上部に設けられる光導波路１０８ａと接続される。リブ型導波路１１１－３のＺ軸方向の両端部のうち光導波路１０８が接続されない端部は、例えば、下部クラッド層１０２のＹ軸方向上部に設けられる光導波路１０８ｂと接続される。

[0107] したがって、例えば、光導波路１０８ａに光を入力した場合、入力光は、Ｚ軸の正方向へ、リブ型導波路１１１－１、光導波路１０８、リブ型導波路

１１１－２、光導波路１０８、および、リブ型導波路１１１－３を順番に伝搬して光導波路１０８ｂから出力される。なお、逆方向（Ｚ軸の負方向）への光伝搬も可能である。

[0108] 個々のリブ型導波路１１１－１～１１１－３のＹ軸方向上部においては、第１の実施形態と同様に、リブ１１１ａを挟んでＸ軸方向の両側の領域１１１ｂにそれぞれＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６が、Ｘ軸方向に対称に配置される。

[0109] このように、第４の実施形態において、基板１０１、下部クラッド層１０２、および、上部クラッド層１０３は、３つリブ型導波路１１１－１～１１１－３と、リブ型導波路１１１－１～１１１－３それぞれのＹ軸方向上部においてＸ軸方向に対称に設けられた２組のＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６と、に共通である。

[0110] 一方、２組のＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６は、第１の実施形態とは異なり、複数のリブ型導波路１１１－１～１１１－３のそれぞれに個別的に設けられる。

[0111] したがって、例えば、第２の実施形態（図５参照）のように同一のリブ型導波路１１１に複数のＧｅメサ吸光部１１４および電極対１１６のセット（別言すると、吸光回路＃ｉ；ｉ＝１～ｎの何れか）をＺ軸方向に直列配置した場合よりも、Ｚ軸方向の電流クロストークを低減できる。

[0112] 電流クロストークを低減できることにより、例えば、個々の吸光回路＃ｉに対する電流測定の精度が向上する。その結果、第２の実施形態において説明したマルチポイントモニタを受光器１００Ｄに適用した場合に、導出される回帰直線６０２の精度、および、回帰直線６０２に基づく入力光パワー（または出力光パワー）の推定精度が向上する。

[0113] なお、図１１には、３つの吸光回路＃１～＃３のうちの１つ（例えば、吸光回路＃２）に着目した切断線Ａ－Ａのみが示され、他の２組の吸光回路＃１および＃３については図示が省略されている。他の２組の吸光回路＃１および＃３のそれぞれについても、Ｙ軸方向の積層構造は図２（または図４）

と同じであると理解されてよい。

[0114] 上述した例においては、吸光回路＃ｉの数（別言すると、電流測定ポイントの数）がｎ＝３である例を示したが、ｎ＝３には限定されず、回帰直線６０２を導出可能な数、例えば、ｎ≧２であればよい。

[0115] また、その他の作用効果については、第１の実施形態または第２の実施形態と同一または同様と理解されてよい。

[0116] 上述した第１の実施形態（変形例を含む）から第４の実施形態に例示した受光器の構造は、適宜に、組み合わせて実施されてよい。以下に組み合わせの非限定的な例として幾つかのバリエーションを第５から第８の実施形態として図１２から図１５に示す。

[0117] ［第５の実施形態］

図１２は、第５の実施形態に係る受光器１００Ｅの構成例を示す模式的な上面図である。図１２に示す受光器１００Ｅは、上面視において、例えば、ＧｅメサＳ吸光部１１４および電極対１１６の複数のセット（例えば、５つの吸光回路＃ｉ）が、リブ１１１ａを挟んだＸ軸方向両側の２つの領域１１１ｂの一方と他方とに、Ｚ軸方向の異なる位置ごとに交互に配置された構成を備える。

[0118] 図１２に例示した構成は、図５の構成においてリブ１１１ａを挟んでＸ軸方向両側の領域１１１ｂのそれぞれにＺ軸方向に直列に配置された複数の吸光回路＃ｉの一部を間引いた構成に相当すると理解されてもよい。なお、図１２において、５つの吸光回路＃ｉそれぞれの断面（例えば図１２のＡ－Ａ矢視断面およびＢ－Ｂ矢視断面）は、例えば、第３の実施形態の図１０に示した断面に対応すると理解されてよい。

[0119] このような交互配置によれば、例えば、マルチポイントモニタにおける電流測定ポイント数を増加しても、Ｚ軸方向の電流クロストークを最小化できるだけの吸光回路間の間隔マージンを確保し易いので、測定精度の向上と受光器サイズの低減とが期待できる。

[0120] ［第６の実施形態］

図１３は、第６の実施形態に係る受光器１００Ｆの構成例を示す模式的な上面図である。図１３に示す受光器１００Ｆは、第４の実施形態の図１１に例示した構成において、複数のリブ型導波路１１１－ｊの一部が、複数の吸光回路＃ｊに共通な構成を有する。

[0121] 例えば、図１３の上面視において、受光器１００Ｆは、下部クラッド層１０２の上部に２つのリブ型導波路１１１－１および１１１－２を備え、一方のリブ型導波路１１１－１は、２つの吸光回路＃１および＃２に共通である。他方のリブ型導波路１１１－２は、図１１に示した例と同様に、１つの吸光回路＃３を備える。なお、個々の吸光回路＃ｉの断面（例えば図１３に示すＡ－Ａ矢視断面）は、例えば、第３の実施形態の図１０に例示した断面に対応すると理解されてよい。

[0122] このような配置は、例えば、受光器１００Ｆ（例えば、基板１０１の上部）において、Ｚ軸方向に関する電流クロストークの低減効果が得られる位置または領域を選択的に設定し易いので、受光器１００Ｆの設計に関する自由度の向上が期待できる。

[0123] ［第７の実施形態］

図１４は、第７の実施形態に係る受光器１００Ｇの構成例を示す模式的な上面図である。図１４に示す受光器１００Ｇは、第４の実施形態（図１１）と第３の実施形態（図９）との組み合わせに相当する。

[0124] 例えば、受光器１００Ｇは、図１１に例示した構成において、図９に例示した構成と同様に、リブ１１１ａを挟んだＸ軸方向両側の２つの領域１１１ｂのうちの一方に限定して複数（例えば、ｎ＝３個）の吸光回路＃ｉがＺ軸方向に直列に配置された構成を備える。

[0125] また、吸光回路＃ｉのそれぞれは、Ｚ軸方向に個別に配置された複数（例えば、ｍ＝３個）のリブ型導波路１１１－ｊそれぞれの上部に対して個別的に設けられる。個々の吸光回路＃ｉの断面（例えば、図１４のＡ－Ａ矢視断面）は、例えば、第３の実施形態の図１０に例示した断面に対応すると理解されてよい。

[0126] このような配置によれば、吸光回路＃ｉ間の電流クロストークの抑制効果と、リブ型導波路１１１を伝搬する光の損失低減効果とを得ることができる。

[0127] ［第８の実施形態］

図１５は、第８の実施形態に係る受光器１００Ｈの構成例を示す模式的な上面図である。図１５に示す受光器１００Ｇは、例えば、第４の実施形態（図１１）に例示した構成において、第５の実施形態（図１２）と同様に、複数（例えば、ｎ＝３個）の吸光回路＃ｉが、リブ１１１ａを挟んだ両側の２つの領域１１１ｂの一方と他方とに、Ｚ軸方向の異なる位置ごとに交互に配置された構成を備える。

[0128] また、吸光回路＃ｉのそれぞれは、Ｚ軸方向に個別に配置された複数（例えば、ｍ＝３個）のリブ型導波路１１１－ｊそれぞれの上部に対して個別的に設けられる。個々の吸光回路＃ｉの断面（例えば、図１５のＡ－Ａ矢視断面およびＢ－Ｂ矢視断面）は、例えば、第３の実施形態の図１０に例示した断面に対応すると理解されてよい。

[0129] このような配置によれば、例えば、第４の実施形態と同等の効果が得られることに加えて、第５の実施形態と同様に、Ｚ軸方向の電流クロストークを最小化できるだけの吸光回路間の間隔マージンを確保し易いので、測定精度の向上と受光器サイズの低減とが期待できる。

[0130] 以上、本開示の非限定的な例について詳細に説明した。本開示によれば、リブ型導波路１１１を伝搬する光の一部であってリブ１１１ａから染み出す光をＧｅ層１１４にて吸収し、Ｇｅ層１１４が吸収した光のパワーに応じて発生させる電荷の流れ（つまりは電流）を測定する。

[0131] したがって、伝搬光の損失抑制と光パワーモニタの精度向上とを図ることができる。光パワーモニタの精度向上により、例えば、受光器を含む光回路のより正確な監視制御が可能になり、光回路の性能向上につながる。

[0132] ［適用例］

上述した各実施形態において例示した受光器（便宜的に符号は省略）の様

々な構成または構造は、例えば、入力光パワー（別言すると、モニタ対象の光パワー）の相違に応じて適用または採用する構成が選定されてよい。

[0133] 例えば、光送信機の送信光パワーを本開示による受光器によってモニタする場合、光受信機の受信光パワーをモニタする場合よりも吸光回路＃ｉの搭載数が少なくても所期のモニタ精度が得られ易い。

[0134] したがって、例えば図５および図９に例示した構成の比較においては吸光回路＃ｉの搭載数の少ない図９に例示した構成が、光送信機に適用する受光器構成に優先的に適用されてよい。逆に、光受信機の受信光パワーをモニタする場合には、吸光回路＃ｉの搭載数の多い図５に例示した構成が、光受信機に適用する受光器構成に適用されてよい。

[0135] ［全体の補足］

本開示において使用した図面では、Ｚ軸方向に延在するリブ１１１ａを、第１の半導体の例であるＳｉ層１１１の幅方向（Ｘ軸方向）中央部に配置した例を示した。しかし、リブ１１１ａは、Ｓｉ層１１１の幅方向（Ｘ軸方向）中央部からＸ軸方向にずれた位置に設けられてもよい。この場合、リブ１１１ａを挟むＸ軸方向両側の２つの領域１１１ｂの面積が相互に異なるため、それぞれの面積に応じて配置する吸光回路＃ｉ（Ｇｅメサ吸光部１１４および電極対１１６）のサイズまたは数が設定されてよい。

[0136] また、本開示において使用した図面では、Ｚ軸方向またはＸ軸方向において複数のＧｅメサ吸光部１１４（および電極対１１６）が等間隔または対称に整列される例を示した。しかし、複数のＧｅメサ吸光部１１４は、Ｚ軸方向またはＸ軸方向において、不等間隔または非対称に配置されてもよい。また、複数のＧｅメサ吸光部１１４のサイズまたはリブ１１１ａ（または１１３ａ）に対するＸ軸方向の離間距離は、同じでもよいし、一部または全部が異なっていてもよい。

[0137] 例えば、Ｚ軸方向に直列に複数のＧｅメサ吸光部１１４を配置する場合、Ｚ軸の正方向（または負方向）の下流に位置するＧｅメサ吸光部１１４ほど、吸光量が増加するサイズ（別言すると、吸光面積）に個々のサイズが設定

されてもよい。追加的または代替的に、Ｚ軸方向に直列に複数のＧｅメサ吸光部１１４を配置する場合、Ｚ軸の正方向（または負方向）の下流に位置するＧｅメサ吸光部１１４ほど、Ｘ軸方向においてリブ１１１ａに近付くように個々の配置位置が設定されてもよい。

[0138] これらの配置の場合、マルチポイントモニタの観点では、Ｚ軸方向における複数の電流測定ポイントにおいて測定される電流値が、図６に例示したグラフとは異なり、一定範囲に収まる傾向になる。したがって、回帰直線６０２の導出に代えて、例えば、マルチポイントモニタにおいて得られた測定電流値の平均によって光入力パワー（または光出力パワー）を推定することが可能になる。ただし、受光器の製造工程、またはマルチポイントモニタによる回帰直線導出の観点においては、上述したような配置に関する条件をＧｅメサ吸光部１１４の間において可能な限り揃えることが有用と云える。

[0139] ［用語の補足］

本開示において使用した「積層」という用語は、２つの層が直接に重なり合う態様に限らず、２つの層の間に１つまたは複数の別の層が介在する態様を含むものと理解されてよい。例えば、第１の半導体の例であるリブ型導波路１１１を伝搬する光の一部を第２の半導体の例であるＧｅ層１１４にて吸収可能な構造であれば、本開示において例示した積層構造と異なる構造を有する受光器であっても、本開示の趣旨及び範囲を逸脱しない。

[0140] また、「接続」または「結合」という用語は、２つ以上の要素間の直接的または間接的なあらゆる「接続」または「結合」を意味すると理解されてよい。例えば、相互に「接続」または「結合」された２つの要素間に１つまたは複数の中間要素が介在する間接的な「接続」または「結合」も当該用語に含まれると理解されてよい。要素間の「接続」または「結合」は、光学的および電気的な「接続」または「結合」の何れであってもよい。

[0141] 「第１の・・・」、「第２の・・・」といった呼称を付記した要素へのいかなる参照も、それらの要素の量または順序を限定しない。これらの呼称は、２つ以上の要素間を単に区別するための便宜的な方法として使用されるに

過ぎない。例えば、第１及び第２の要素への参照は、２つの要素のみが採用され得ることを意味せず、また、第１の要素が第２の要素に何らかの物理量において優先されなければならないことを意味しない。

[0142] 本開示において、「・・・回路」および「・・・部」という用語は、相互に読み替えられてもよいし、それぞれが「・・・手段」、「・・・デバイス」といった他の用語に適宜に読み替えられてもよい。「検出」という用語は、文脈に応じて「測定」、「計測」、「観測」、または「モニタ」といった他の用語に適宜に読み替えられてもよい。「・・・領域」という用語は、「・・・部分」に適宜に読み替えられてもよい。

[0143] 以上、本開示について詳細に説明したが、本開示を通じて説明した内容に本開示の趣旨および範囲が限定されないことは当業者に明らかである。本開示は、請求の範囲の記載によって定まる本開示の趣旨および範囲を逸脱することなく修正及び変更態様として実施可能である。したがって、本開示の記載は、例示的な説明を目的とし、本開示の趣旨および範囲に対して何らの制限的な意味を有さない。

産業上の利用可能性

[0144] 本開示は、光通信システム、または光情報処理システムのような光回路を用いる技術に有用である。

符号の説明

[0145] １００，１００Ａ～１００Ｈ　受光器
１０１　ＳＯＩ基板
１０２　下部クラッド層
１０３　上部クラッド層
１０８，１０８ａ，１０８ｂ　光導波路
１１１、１１１－１～１１１－３　シリコン（Ｓｉ）層
１１１ａ　第１の領域（リブ）
１１１ｂ　第２の領域
１１２　ｐ＋＋Ｓｉ電極部

１１３　凸状領域（真性Ｓｉ領域）

１１４　ゲルマニウム（Ｇｅ）層

１１５　ｎ型Ｇｅ領域

１１６ａ，１１６ｂ　電極

２００　電流計

３００　アナログ－デジタル変換器（ＡＤＣ）

４００　プロセッサ

７００　測定システム

請求の範囲

[請求項1] 基板と、

前記基板の上部に設けられ、第１の厚みを有する第１の領域と、前記第１の厚みよりも薄い第２の厚みを有する第２の領域とを有する第１の半導体層と、

前記第２の領域の上部に設けられた、前記第１の半導体層よりも屈折率の高い第２の半導体層と、

前記第２の領域の上部において前記第１の領域に対して前記第２の半導体層よりも外側の位置に設けられた第１の電極と、

前記第２の半導体層の上部に設けられた第２の電極と、

前記第１の半導体層に接続された光導波路と、

を備える、受光器。

[請求項2] 前記第１の半導体層は、前記第２の領域において第１導電型および第２導電型の一方の不純物がドーピングされた領域を有し、かつ、

前記第２の半導体層は、前記第１導電型および前記第２導電型の他方の不純物がドーピングされた領域を有する、

請求項１に記載の受光器。

[請求項3] 前記第１の半導体層における前記第１の領域は、前記一方の導電型の不純物がドーピングされない真性半導体領域である、

請求項２に記載の受光器。

[請求項4] 複数の前記第２の半導体層が、前記第２の領域の上部において前記第１の領域が延在する方向に沿って直列に配置され、

前記直列に配置された前記複数の第２の半導体層それぞれの上部に前記第２の電極が設けられ、かつ、

前記直列に配置された前記複数の第２の半導体層それぞれに対し、前記外側の位置に前記第１の電極が設けられる、

請求項１に記載の受光器。

[請求項5] 前記第２の半導体層は、上面視において、延在する前記第１の領域

を挟んで両側に位置する２つの前記第２の領域の一方に配置される、

請求項１に記載の受光器。

[請求項6] 前記第１の半導体層は、シリコンであり、前記第２の半導体層は、ゲルマニウムである、

請求項１に記載の受光器。

[請求項7] 請求項１に記載の受光器を複数個直列に接続した構成を有する、

受光回路。

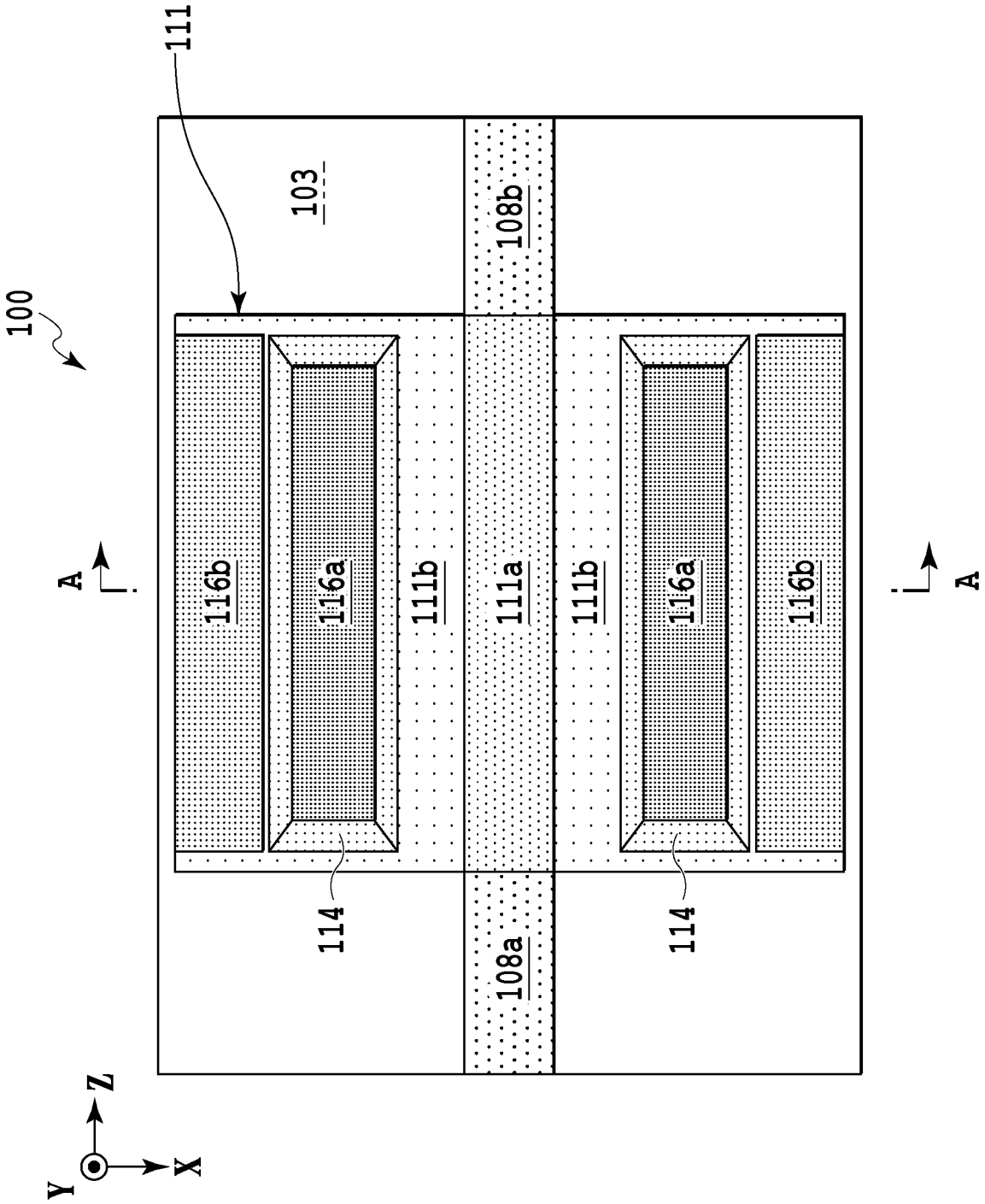
[請求項8] 請求項４に記載の受光器に前記光導波路を通じて光が入力された状態において、前記第１の電極および前記第２の電極の複数セットについて電流値を測定することと、

前記複数セットについて得られた複数の電流値に基づいて回帰直線を導出することと、

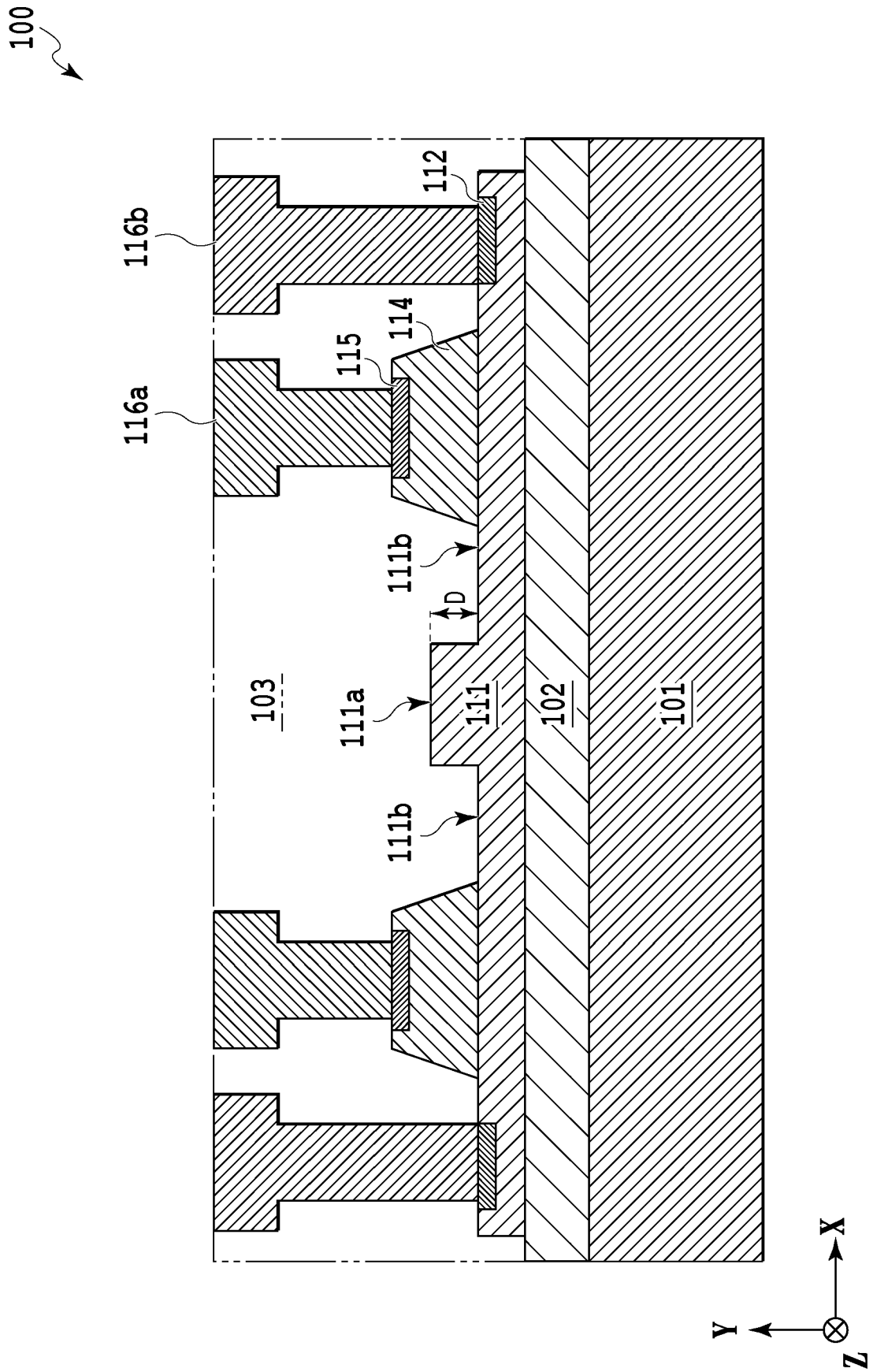
前記回帰直線に基づいて前記受光器への入力光パワーを推定することと

含む、モニタ方法。

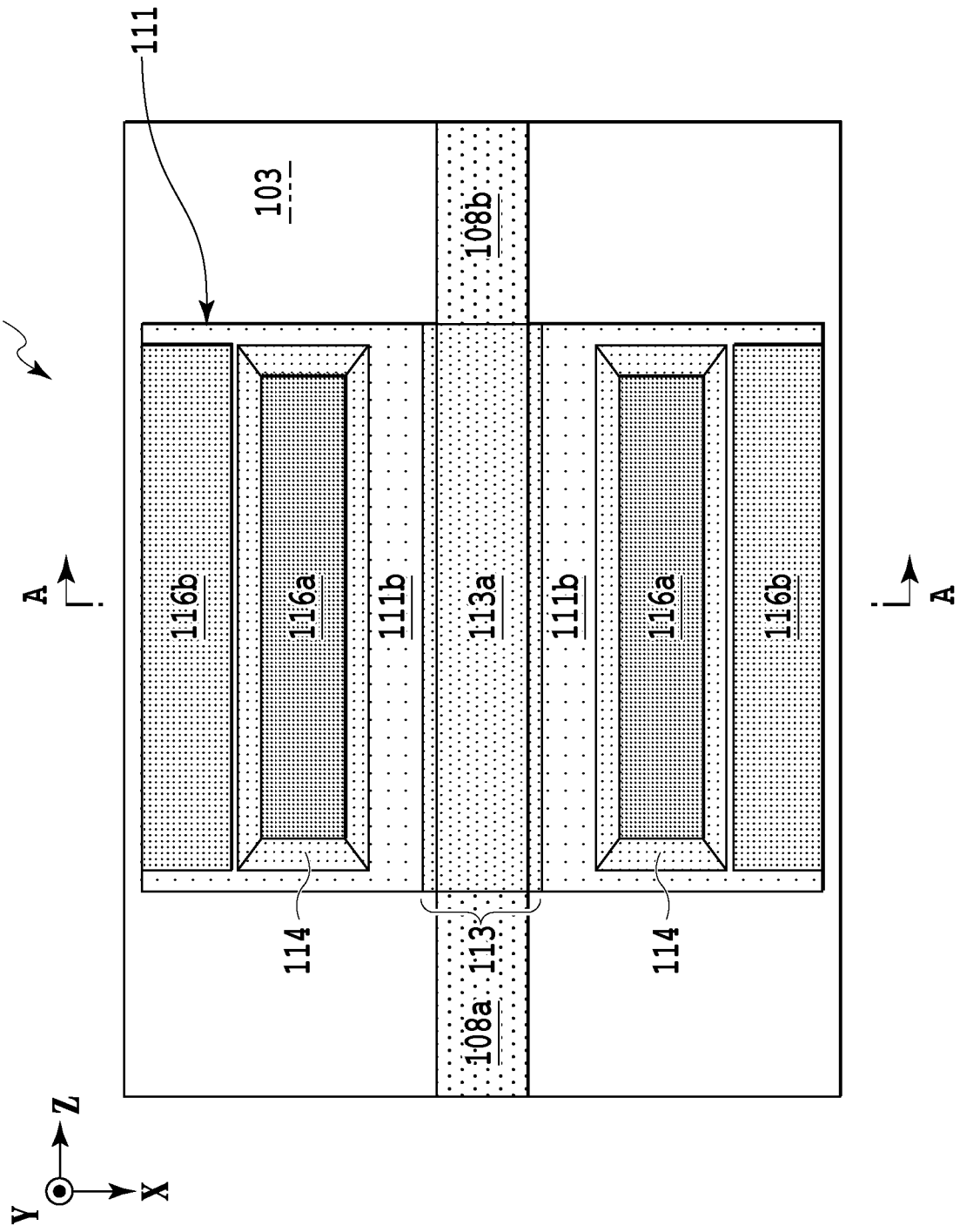
[図1]


111
103
108b
100
A
A
116b
116a
111b
111a
111b
116a
116b
114
114
108a
Z
Y
X

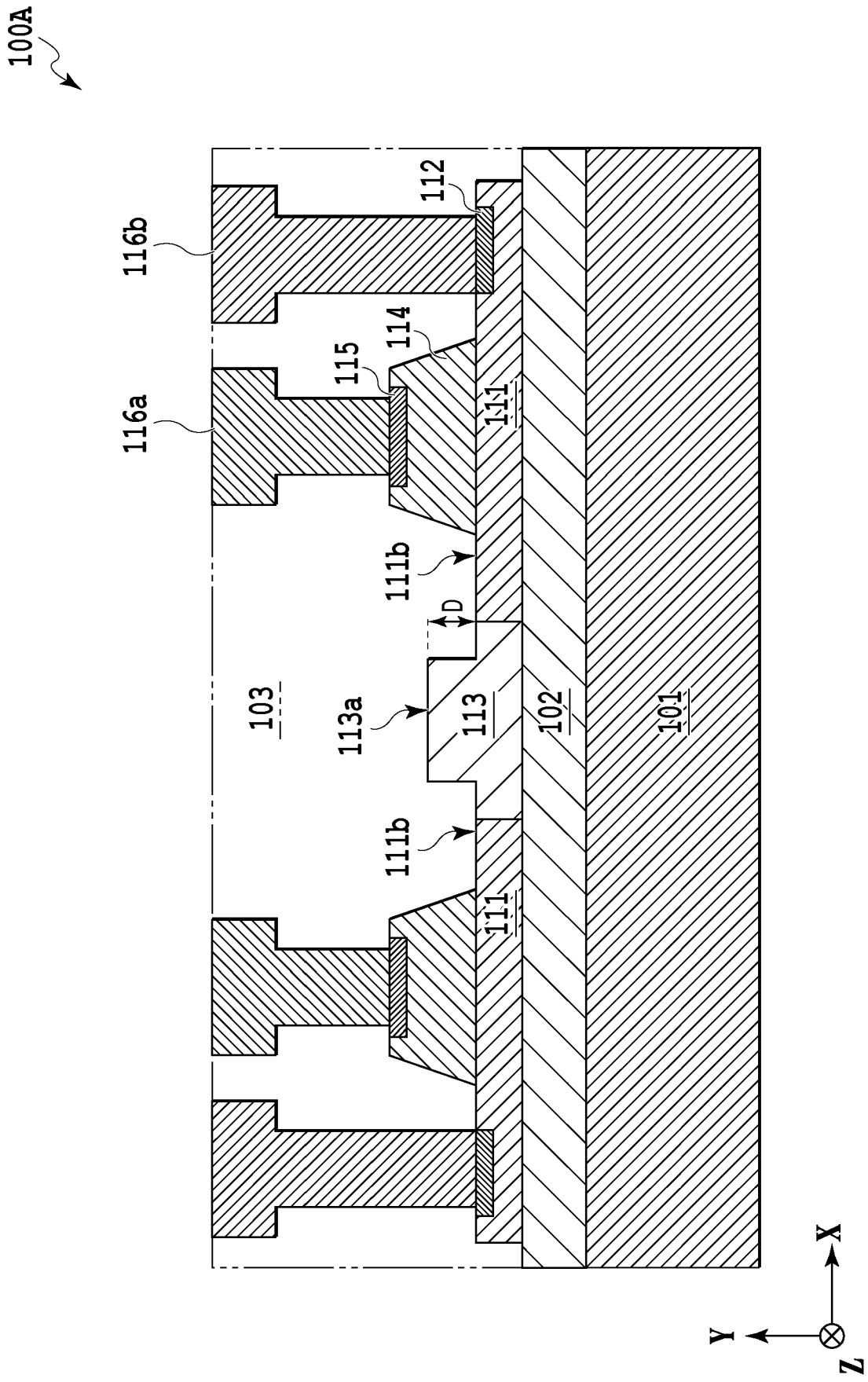
[図2]



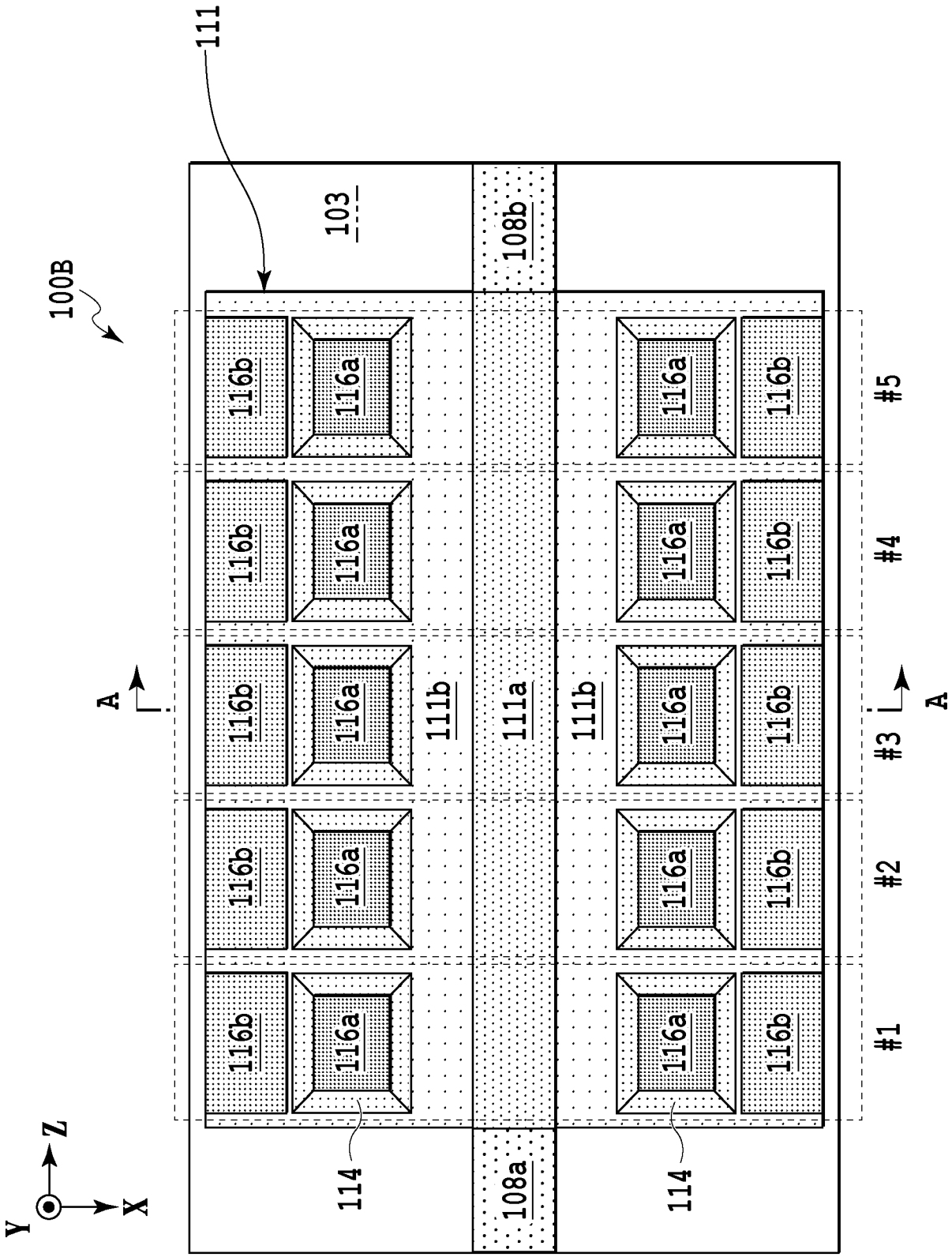
[図3]


111
103
108b
100A
A
A
116b
116a
111b
113a
111b
116a
116b
114
113
114
108a
Z
Y
X

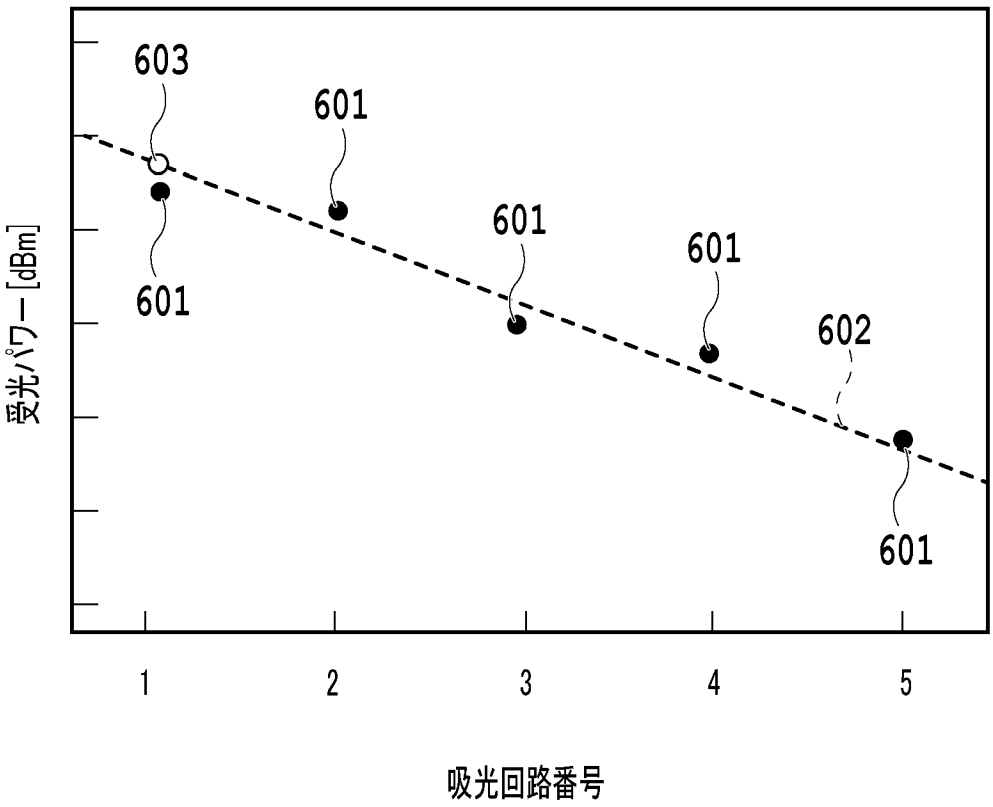
[図4]


100A
116b
112
114
115
116a
111
111b
D
103
113a
113
102
101
111b
111
X
Y
Z

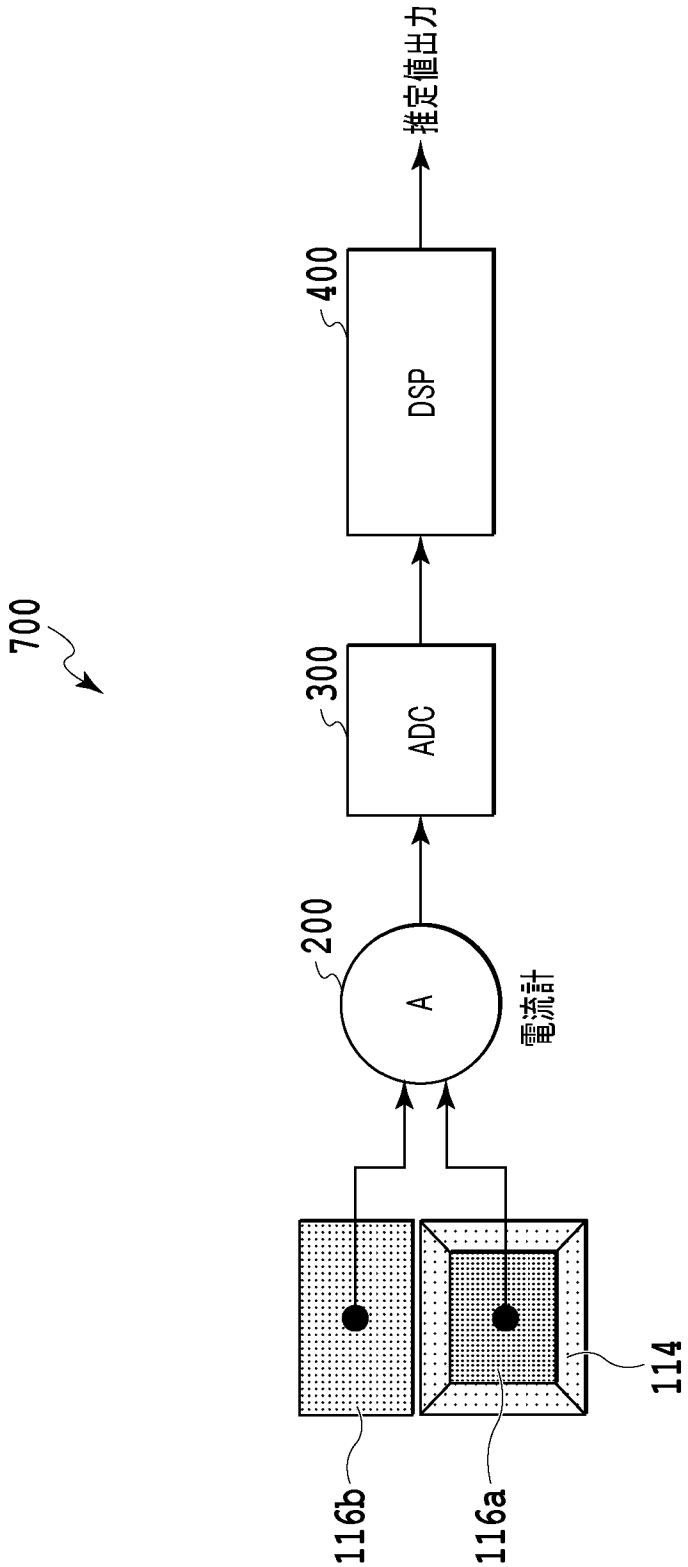
[図5]


111
103
108b
100B
116b
116a
#5
#4
#3
#2
#1
A
A
111b
111a
111b
114
114
108a
Z
Y
X

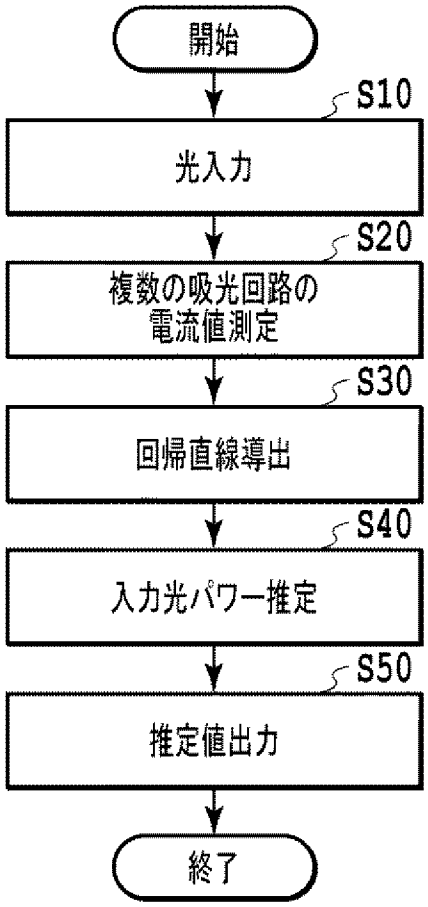
[図6]



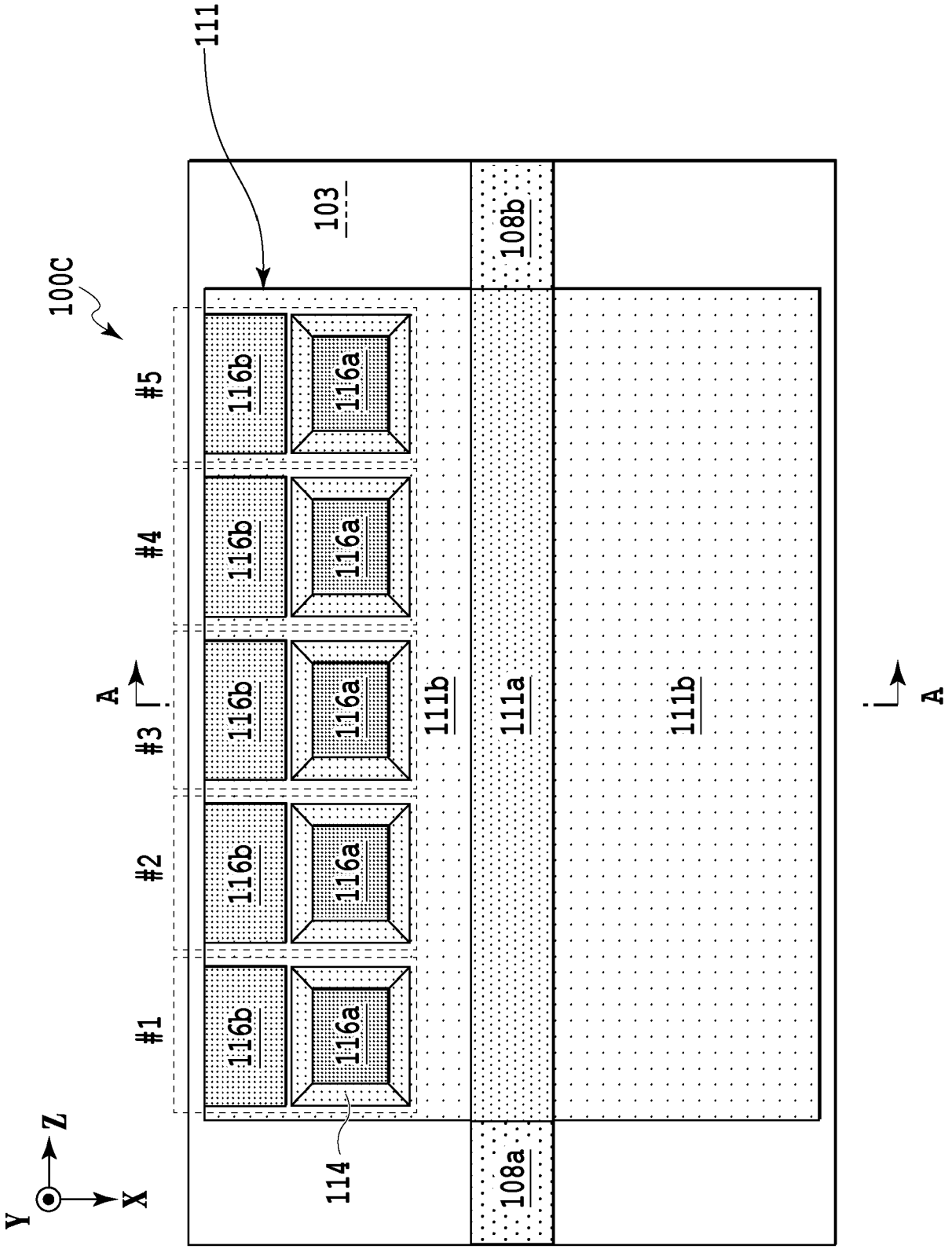
[図7]



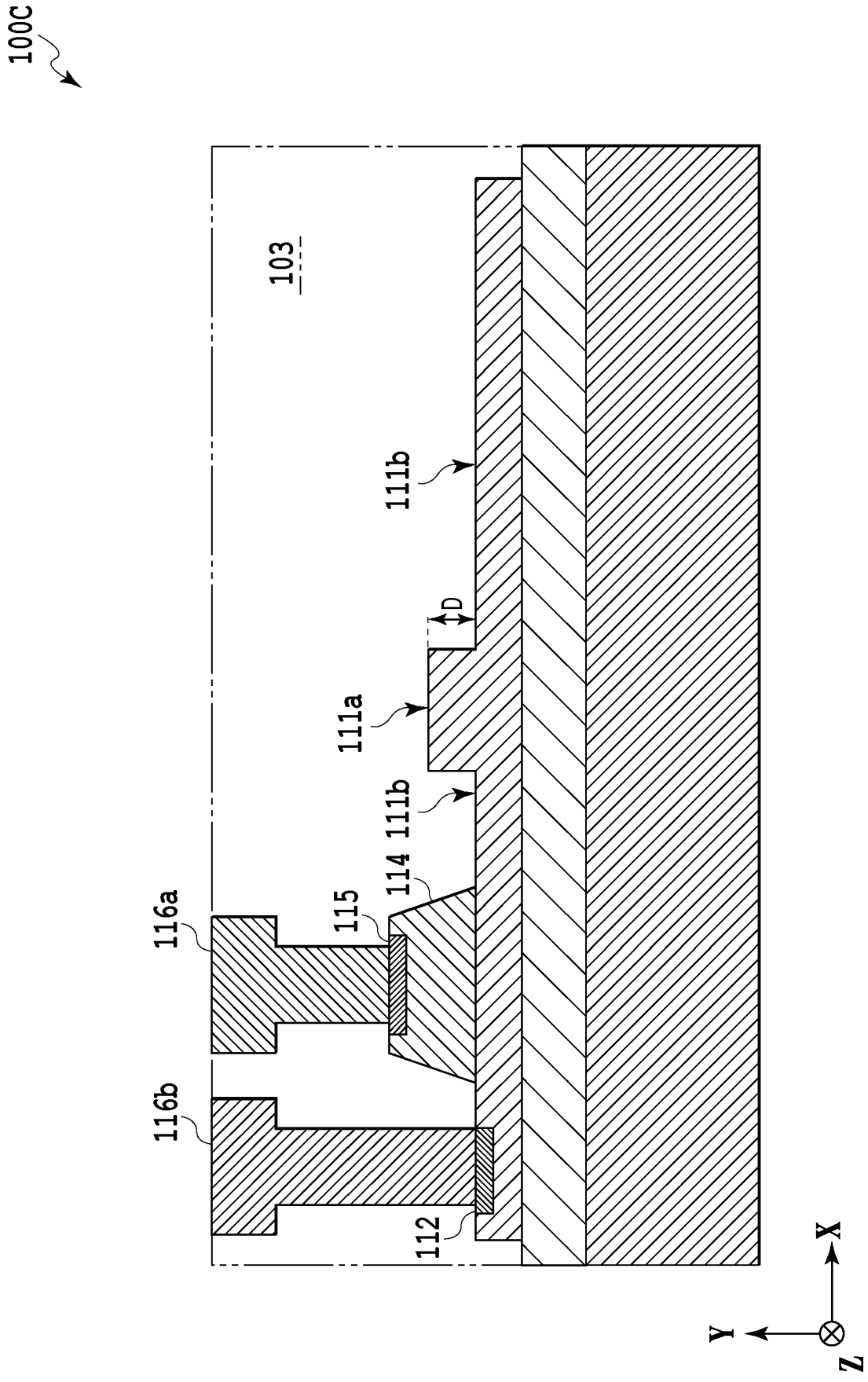
[図8]


開始
S10
光入力
S20
複数の吸光回路の
電流値測定
S30
回帰直線導出
S40
入力光パワー推定
S50
推定値出力
終了

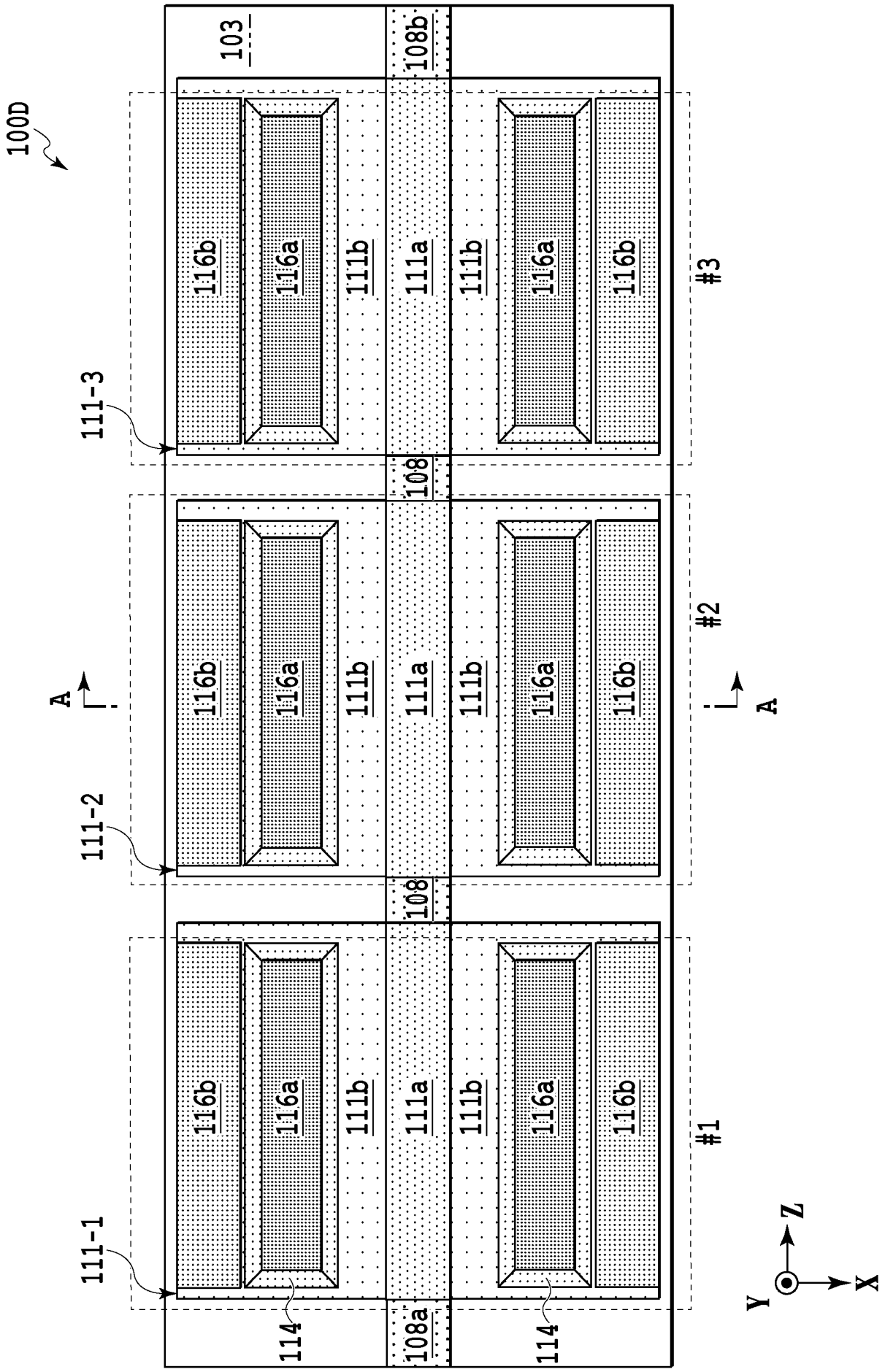
[図9]



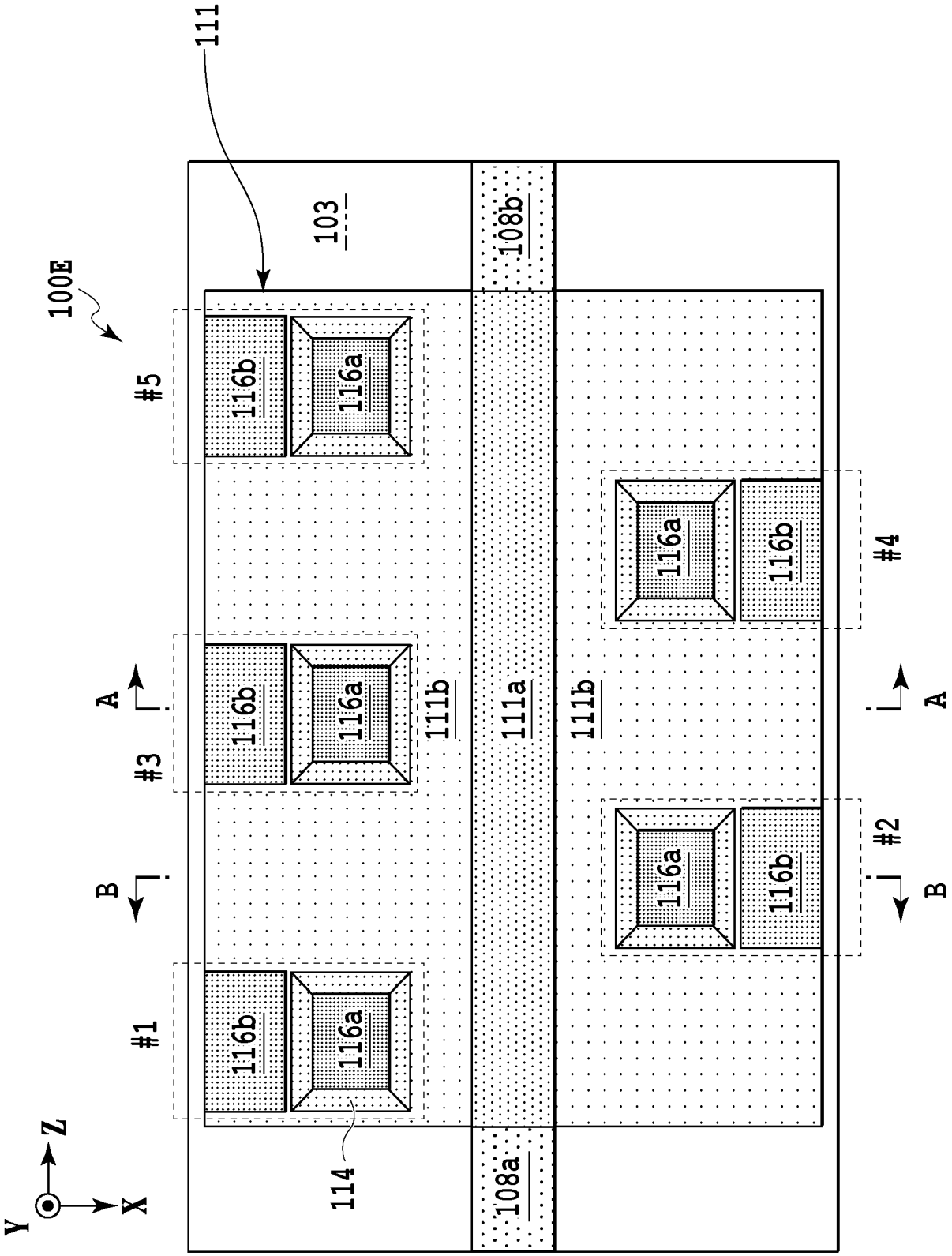
[図10]



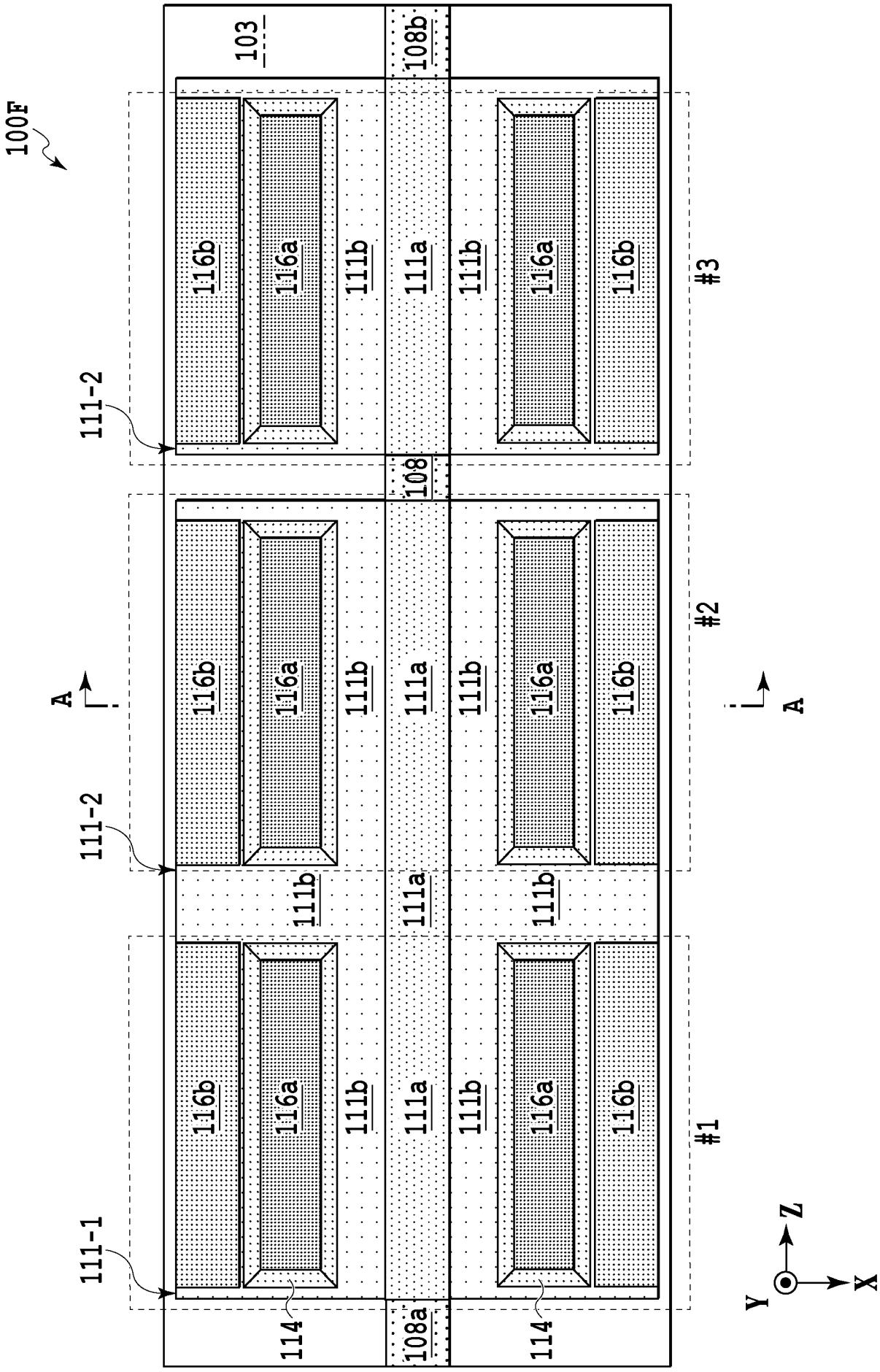
[図11]


100D
103
108b
116b
116a
111b
111a
111b
116a
116b
#3
111-3
108
#2
111-2
108
#1
111-1
114
108a
114
A
A
Z
X
Y

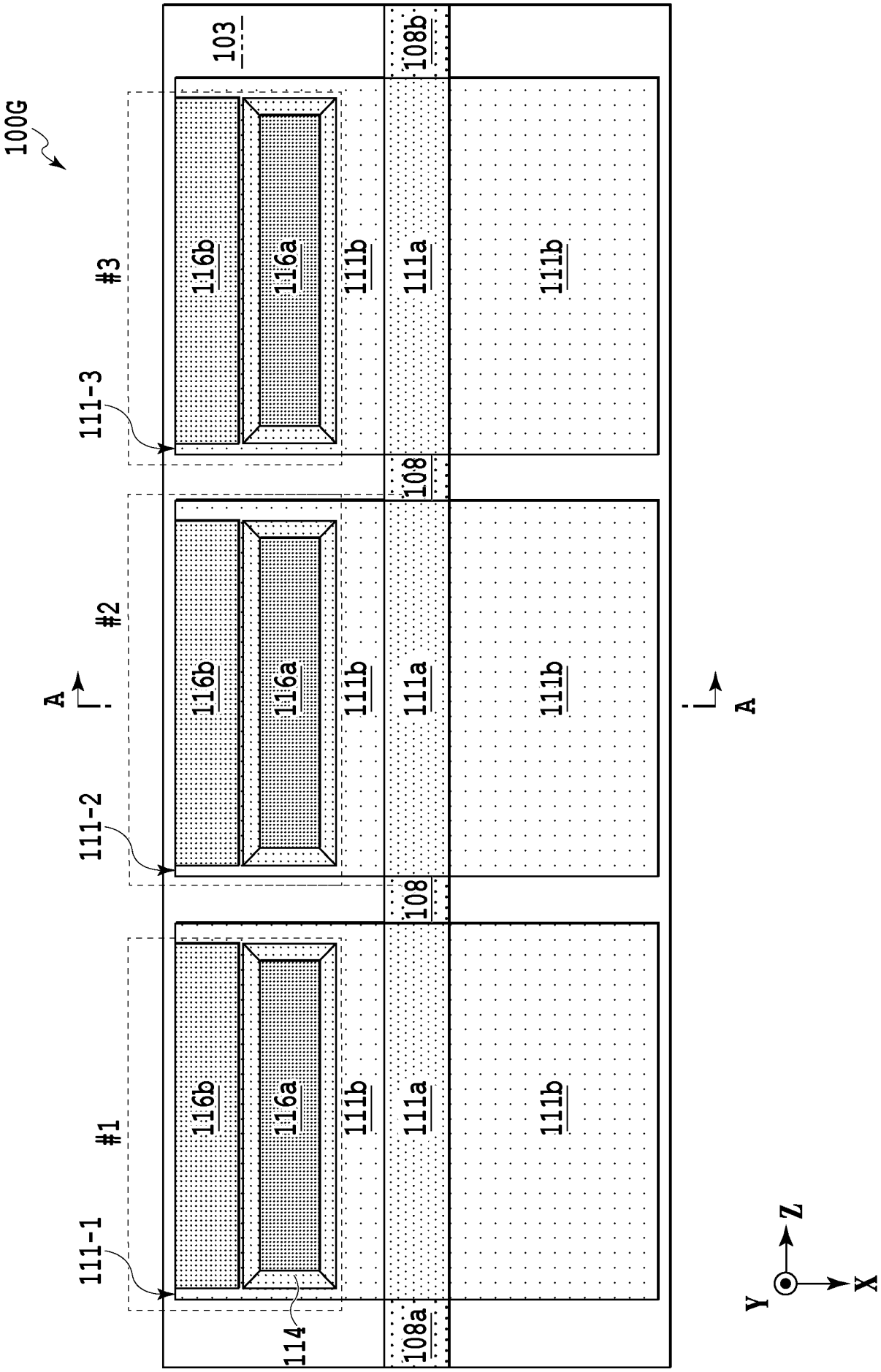
[図12]


111
103
108b
100E
#5
116b
116a
#4
116a
116b
A
#3
116b
116a
111b
111a
111b
A
#2
116a
116b
B
B
#1
116b
116a
114
108a
Z
X
Y

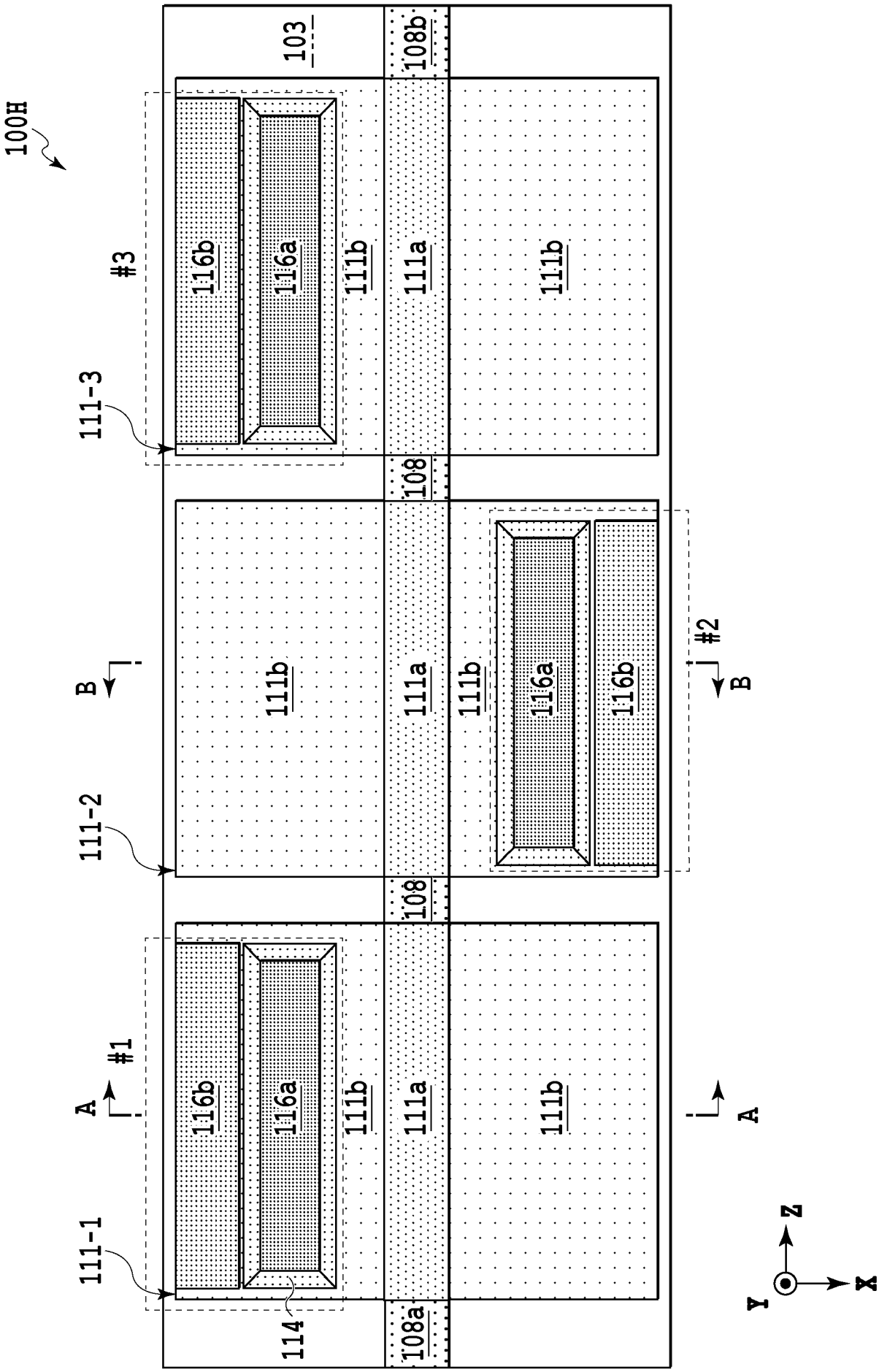
[図13]


100F
103
108b
116b
116a
111b
111a
#3
111-2
108
#2
A
A
111-2
111-1
#1
114
108a
114
Z
X
Y

[図14]


100G
103
108b
#3
#2
#1
111-3
111-2
111-1
116b
116a
111b
111a
108
108a
114
A
A
Z
X
Y

[図15]


100H
103
108b
#3
116b
116a
111b
111a
111b
111-3
108
B
111b
111a
111b
116a
116b
#2
B
111-2
108
A
#1
116b
116a
111b
111a
111b
A
111-1
114
108a
Z
Y
X

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/023636

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 31/10(2006.01)i
FI: H01L31/10 A

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)

H01L31/08-31/119

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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	CN 112349803 A (WUHAN OPTICS VALLEY INFORMATION PHOTOELECTRON INNOVATION CENTER CO., LTD.) 09 February 2021 (2021-02-09) paragraphs [0001]-[0020], [0043]-[0104], fig. 3-6d	1–3, 6
Y		1, 4, 6-7
A		5, 8
Y	JP 2019-186298 A (AIST) 24 October 2019 (2019-10-24) paragraphs [0010]-[0012], [0022]-[0023], fig. 2, 12	1, 4, 6-7
A		2-3, 5, 8
Y	US 2009/0202197 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 13 August 2009 (2009-08-13) fig. 1	4, 7
A	JP 2019-125888 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 25 July 2019 (2019-07-25) entire text, all drawings	1-8
A	US 5572014 A (UNIV CALIFORNIA) 05 November 1996 (1996-11-05) entire text, all drawings	1-8

☐ 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	Date of mailing of the international search report
10 July 2023	**25 July 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **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/JP2023/023636

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 112349803 A	09 February 2021	(Family: none)	
JP 2019-186298 A	24 October 2019	(Family: none)	
US 2009/0202197 A1	13 August 2009	(Family: none)	
JP 2019-125888 A	25 July 2019	(Family: none)	
US 5572014 A	05 November 1996	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/023636

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 31/10(2006.01)i
FI: H01L31/10 A

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））

H01L31/08-31/119

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

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	CN 112349803 A (WUHAN OPTICS VALLEY INFORMATION PHOTOELECTRON INNOVATION CENTER CO., LTD.) 09.02.2021 (2021-02-09) 段落[0001]-[0020], [0043]-[0104], 図3-6d	1-3,6
Y		1,4,6-7
A		5,8
Y	JP 2019-186298 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 24.10.2019 (2019-10-24) 段落[0010]-[0012], [0022]-[0023], 図2,12	1,4,6-7
A		2-3,5,8
Y	US 2009/0202197 A1 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 13.08.2009 (2009-08-13) 図1	4,7
A	JP 2019-125888 A (日本電信電話株式会社) 25.07.2019 (2019-07-25) 全文, 全図	1-8

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
10.07.2023	25.07.2023

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）
吉岡　一也 2K 4742

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	US 5572014 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 05.11.1996 (1996-11-05) 全文，全図	1-8

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/JP2023/023636

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
CN 112349803 A	09.02.2021	（ファミリーなし）	
JP 2019-186298 A	24.10.2019	（ファミリーなし）	
US 2009/0202197 A1	13.08.2009	（ファミリーなし）	
JP 2019-125888 A	25.07.2019	（ファミリーなし）	
US 5572014 A	05.11.1996	（ファミリーなし）	