

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-107973

(P2017-107973A)

(43) 公開日 平成29年6月15日(2017.6.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 5/022 (2006.01)	H O 1 S 5/022	5 F 1 7 3
H O 1 L 31/02 (2006.01)	H O 1 L 31/02	B 5 F 8 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2015-240467 (P2015-240467)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成27年12月9日 (2015.12.9)		住友電気工業株式会社
			大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100136722
			弁理士 ▲高▼木 邦夫
		(74) 代理人	100174399
			弁理士 寺澤 正太郎
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良

最終頁に続く

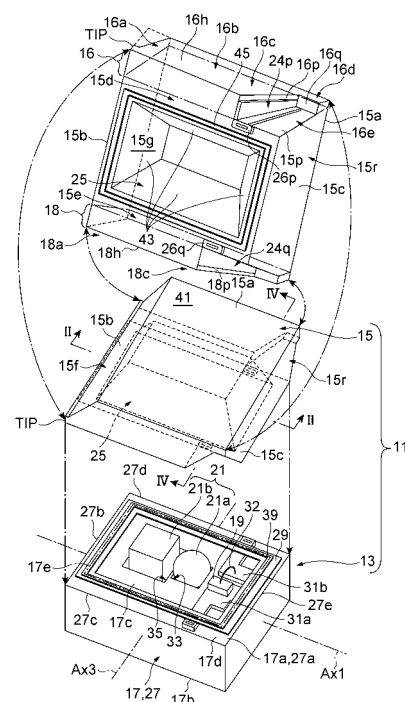
(54) 【発明の名称】 光モジュール、光モジュールを作製する方法、及び光学装置

(57) 【要約】

【課題】 光モジュールの実装において該光モジュールの光結合の向きに関連して受ける制約を緩めることができる光モジュールを提供する。

【解決手段】 光モジュール11は、ベンチ部品13及びキャップ15を備える。キャップ15は、半導体光素子19及びレンズ21aを収容可能なキャビティ25、天井15a、前壁15b、第1側壁15d、第1ウイング16並びに後壁15cを含むキャップベース23と、第1ウイング16に設けられた第1パッド電極24pと、キャップベース23上に設けられ第1パッド電極24pに接続された第1導電体26pとを備える。第2エリア17d上の電極31a、31bは、キャップベース23上の導電体26に電氣的に接続される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光モジュールであって、

第 1 エリア及び第 2 エリアを含む主面を有するベンチ、前記第 1 エリア及び前記第 2 エリア上に設けられた電極、前記第 1 エリアにおいて前記電極上に設けられた半導体光素子、並びに前記第 1 エリアに支持されたレンズを含むベンチ部品と、

前記ベンチ部品上に設けられたキャップと、
を備え、

前記キャップは、前記半導体光素子及び前記レンズを収容可能なキャビティ、天井、前壁、第 1 側壁、第 1 ウイング並びに後壁を含むキャップベースと、前記第 1 ウイングに設けられたパッド電極と、前記キャップベース上に設けられ前記パッド電極に接続された導電体とを備え、

前記ベンチの前記第 2 エリアは前記第 1 エリアを囲み、前記第 2 エリア上の前記電極は、前記キャップベース上の前記導電体に電氣的に接続され、

前記キャップベースの前記天井は、第 1 基準面に沿って延在し、前記前壁は、前記第 1 基準面に交差する第 2 基準面に沿って延在する前外面を有し、前記第 1 ウイングは、前記第 1 側壁に設けられ、前記後壁は、前記キャップから前記ベンチへ向かう方向に前記天井から延在する、光モジュール。

【請求項 2】

前記キャップの前記キャップベースは、第 2 側壁及び第 2 ウイングを更に備え、

前記第 2 ウイングは、前記第 2 側壁に設けられ、

前記キャップベースの前記第 1 側壁及び前記第 2 側壁は、前記前壁から前記後壁への方
向に延在し、

前記前壁、前記第 1 側壁、前記第 2 側壁及び前記後壁は、前記ベンチ部品の前記第 2 エリア上に位置しており、

前記半導体光素子及び前記レンズは、前記ベンチ部品の前記第 2 エリア及び前記キャップにより封止されている、請求項 1 に記載された光モジュール。

【請求項 3】

前記ベンチはシリコン製のベースを含み、

前記ベンチの前記ベースの主面は、前記レンズを位置決めするための窪みを有する、請求項 1 又は請求項 2 に記載された光モジュール。

【請求項 4】

前記ベンチ部品は、前記第 2 エリアにおいて前記電極上に設けられた絶縁層を備え、前記電極は、第 1 部分、第 2 部分及び第 3 部分を含み、前記電極の前記第 1 部分は、前記第 1 エリア上を延在して前記第 2 部分に接続され、前記絶縁層は前記電極の前記第 2 部分上を横切って延在しており、前記電極の前記第 2 部分は前記第 3 部分に接続され、前記第 3 部分は前記導電体に接続される、請求項 1 ～請求項 3 のいずれか一項に記載された光モジュール。

【請求項 5】

前記キャップは、前記ベンチ部品の前記第 2 エリア上に位置する絶縁層を備え、前記導電体は、第 1 部分、第 2 部分及び第 3 部分を含み、前記導電体の前記第 1 部分は、前記パッド電極を前記第 2 部分に接続しており、前記絶縁層は前記導電体の前記第 2 部分上を横切って延在しており、前記導電体の前記第 2 部分は前記第 3 部分に接続され、前記第 3 部分は前記電極に接続される、請求項 1 ～請求項 3 のいずれか一項に記載された光モジュール。

【請求項 6】

光学装置であって、

請求項 1 ～請求項 5 のいずれか一項に記載された光モジュールと、

前記光モジュールの前記前壁を支持する光学部品と、
を備え、

10

20

30

40

50

前記光学部品は、前記光モジュールの前記前壁を介して前記半導体光素子に光学的に結合され、前記半導体光素子に係る光は、前記キャップの前記前壁を通過可能である、光学装置。

【請求項 7】

前記光学部品は、前記半導体光素子に光学的に結合されるグレーティングカブラを備える半導体集積素子を含む、請求項 6 に記載された光学装置。

【請求項 8】

光モジュールを作製する方法であって、

複数の区画の配列における各区画において第 1 基準面に沿って配置された第 1 領域、第 2 領域、第 3 領域、第 4 領域、及び第 5 領域を備えており、第 1 面及び第 2 面を有する単結晶半導体基板を準備する工程と、

第 1 開口パターン及び第 2 開口パターンを有する第 1 マスクを前記単結晶半導体基板の前記第 1 面に形成する工程と、

前記第 1 マスクを用いたエッチングにより、前記第 1 開口パターン及び前記第 2 開口パターンにそれぞれ対応しておりキャビティのために設けられた第 1 内側開口及びウイングのために設けられた第 2 内側開口を前記単結晶半導体基板の前記第 1 面に形成する工程と、

前記第 1 内側開口及び前記第 2 内側開口を形成した後に、前記単結晶半導体基板の前記第 2 内側開口にパッド電極及び導電体のための金属層を形成する工程と、

第 3 開口パターンを有する第 2 マスクを前記単結晶半導体基板の前記第 2 面に形成する工程と、

前記第 2 マスクを用いたエッチングにより、前記第 3 開口パターンに対応しており前壁のために設けられた外側開口を前記単結晶半導体基板の前記第 2 面に形成する工程と、

複数の区画の配列における各区画において第 1 エリア及び第 2 エリアを含む主面を有する支持体と、前記支持体の前記第 1 エリア及び前記第 2 エリア上に設けられた電極と、前記支持体の前記第 1 エリアの前記電極上に設けられた半導体光素子と、前記支持体の前記第 1 エリア上に設けられたレンズとを含むベンチ生産物を準備する工程と、

前記第 1 内側開口、前記第 2 内側開口及び前記外側開口を形成した後に、前記ベンチ生産物の前記支持体の前記第 2 エリアが前記単結晶半導体基板を支持するように、前記ベンチ生産物及び前記単結晶半導体基板を組み立てて、前記ベンチ生産物の前記電極を前記単結晶半導体基板の前記導電体に接続した組立体を作製する工程と、

を備え、

前記単結晶半導体基板の前記第 1 面は前記第 2 面の反対側に位置し、

前記第 1 領域、前記第 2 領域、前記第 3 領域、前記第 4 領域、及び前記第 5 領域は、第 1 軸の方向に順に配列し、

前記外側開口の一側面及び前記外側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第 1 領域に設けられ、

前記外側開口の他側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 2 領域に設けられ、

前記第 1 内側開口の一側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 2 領域に設けられ、

前記第 1 内側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第 3 領域及び前記第 4 領域に延在し、

前記第 1 内側開口の他側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 4 領域に設けられ、

前記第 2 内側開口の一側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 4 領域に設けられ、

前記第 2 内側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第 4 領域及び前記第 5 領域に設けられ、

前記第 1 内側開口の前記一側面は前記第 1 基準面に交差する第 1 1 基準面に沿って延在し、前記外側開口の前記一側面は前記第 1 基準面に交差する第 1 2 基準面に沿って延在し、前記第 2 内側開口の前記一側面は前記第 1 基準面に交差する第 1 3 基準面に沿って延在する、光モジュールを作製する方法。

【請求項 9】

前記単結晶半導体基板の前記第 1 領域において前記組立体を切断する工程と、
前記単結晶半導体基板の前記第 5 領域において前記組立体を切断する工程と、
を更に備える、請求項 8 に記載された光モジュールを作製する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光モジュール、光モジュールを作製する方法、及び光学装置に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献 1 は、小型のレーザモジュールを開示する。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】 http://www.semiconwest.org/sites/semiconwest.org/files/docs/SW2013_P.%20De%20Dobbelaere_Luxtera.pdf

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

非特許文献 1 に開示されたレーザモジュールは、基板、基板上に設けられた光学部品、及び反射鏡を備える。光学部品は、端面発光型の半導体レーザ、レンズ、及びアイソレータを含み、反射鏡は、半導体レーザからの光を基板に向けて反射する。レーザモジュールに光学的に結合される外部デバイスは、レーザモジュールの基板から出射されるレーザ光を受ける。レーザモジュール及び外部デバイスは、基板上の半導体レーザに接続される電極（基板上の電極）を介して電氣的に互いに接続される。

20

【0005】

発明者の検討によれば、光モジュールと外部デバイスとの電気接続を基板上の電極を介して行うことは、光モジュールのアプリケーションを限定的にしている。このような電気接続に係る制約を緩めることには、この光モジュールのアプリケーションを広げる可能性がある。

【0006】

30

本発明の一側面は、上記の背景に基づき為されたものであり、光モジュールを提供することを目的とし、この光モジュールは、当該光モジュールの実装において該光モジュールの光結合の向きに関連する制約を緩めることができる。本発明の別の側面は、上記の光モジュールを含む光学装置を提供することを目的とする。本発明の更なる別の側面は、上記の光モジュールを作製する方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面に係る光モジュールは、第 1 エリア及び第 2 エリアを含む主面を有するベンチ、前記第 1 エリア及び前記第 2 エリア上に設けられた電極、前記第 1 エリアにおいて前記電極上に設けられた半導体光素子、並びに前記第 1 エリアに支持されたレンズを含むベンチ部品と、前記ベンチ部品上に設けられたキャップと、を備え、前記キャップは、前記半導体光素子及び前記レンズを収容可能なキャビティ、天井、前壁、第 1 側壁、第 1 ウイング並びに後壁を含むキャップベースと、前記第 1 ウイングに設けられたパッド電極と、前記キャップベース上に設けられ前記パッド電極に接続された導電体とを備え、前記ベンチの前記第 2 エリアは前記第 1 エリアを囲み、前記第 2 エリア上の前記電極は、前記キャップベース上の前記導電体に電氣的に接続され、前記キャップベースの前記天井は、第 1 基準面に沿って延在し、前記前壁は、前記第 1 基準面に交差する第 2 基準面に沿って延在する前外面を有し、前記第 1 ウイングは、前記第 1 側壁に設けられ、前記後壁は、前記キャップから前記ベンチへ向かう方向に前記天井から延在する。

40

【0008】

50

本発明の別の側面に係る光学装置は、本件に係る光モジュールと、前記光モジュールの前記前壁を支持する光学部品と、を備え、前記光学部品は、前記光モジュールの前記前壁を介して前記半導体光素子に光学的に結合され、前記半導体光素子に係る光を通過可能な材料を備える。

【0009】

本発明の更なる別の側面は、光モジュールを作製する方法であって、複数の区画の配列における各区画において第1基準面に沿って配置された第1領域、第2領域、第3領域、第4領域、及び第5領域を備えており、第1面及び第2面を有する単結晶半導体基板を準備する工程と、第1開口パターン及び第2開口パターンを有する第1マスクを前記単結晶半導体基板の前記第1面に形成する工程と、前記第1マスクを用いたエッチングにより、前記第1開口パターン及び前記第2開口パターンにそれぞれ対応しておりキャビティのために設けられた第1内側開口及びウイングのために設けられた第2内側開口を前記単結晶半導体基板の前記第1面に形成する工程と、前記第1内側開口及び前記第2内側開口を形成した後に、前記単結晶半導体基板の前記第2内側開口にパッド電極及び導電体のための金属層を形成する工程と、第3開口パターンを有する第2マスクを前記単結晶半導体基板の前記第2面に形成する工程と、前記第2マスクを用いたエッチングにより、前記第3開口パターンに対応しており前壁のために設けられた外側開口を前記単結晶半導体基板の前記第2面に形成する工程と、複数の区画の配列における各区画において第1エリア及び第2エリアを含む主面を有する支持体と、前記支持体の前記第1エリア及び前記第2エリア上に設けられた電極と、前記支持体の前記第1エリアの前記電極上に設けられた半導体光素子と、前記支持体の前記第1エリア上に設けられたレンズとを含むベンチ生産物を準備する工程と、前記第1内側開口、前記第2内側開口及び前記外側開口を形成した後に、前記ベンチ生産物の前記支持体の前記第2エリアが前記単結晶半導体基板を支持するように、前記ベンチ生産物及び前記単結晶半導体基板を組み立てて、前記ベンチ生産物の前記電極を前記単結晶半導体基板の前記導電体に接続した組立体を作製する工程と、を備え、前記単結晶半導体基板の前記第1面は前記第2面の反対側に位置し、前記第1領域、前記第2領域、前記第3領域、前記第4領域、及び前記第5領域は、第1軸の方向に順に配列し、前記外側開口の一側面及び前記外側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第1領域に設けられ、前記外側開口の他側面は、前記単結晶半導体基板の前記第2領域に設けられ、前記第1内側開口の一側面は、前記単結晶半導体基板の前記第2領域に設けられ、前記第1内側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第3領域及び前記第4領域に延在し、前記第1内側開口の他側面は、前記単結晶半導体基板の前記第4領域に設けられ、前記第2内側開口の一側面は、前記単結晶半導体基板の前記第4領域に設けられ、前記第2内側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第4領域及び前記第5領域に設けられ、前記第1内側開口の前記一側面は前記第1基準面に交差する第1基準面に沿って延在し、前記外側開口の前記一側面は前記第1基準面に交差する第1基準面に沿って延在し、前記第2内側開口の前記一側面は前記第1基準面に交差する第1基準面に沿って延在する。

【0010】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0011】

以上説明したように、本発明の一側面は、光モジュールを提供でき、この光モジュールは、当該光モジュールの実装において該光モジュールの光結合の向きに関連する制約を緩めることができる。本発明の別の側面は、光モジュールを含む光学装置を提供できる。また、本発明の更なる別の側面は、光モジュールを作製する方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本実施形態に係る光モジュールを模式的に示す図面である。

【図 2】図 2 は、図 1 に示された I I - I I 線に沿って取られた縦断面を模式的に示す図面である。

【図 3】図 3 は、本実施形態の光モジュールを備える光学装置の一形態を模式的に示す図面である。

【図 4】図 4 は、第 1 側壁の近傍における気密封止及び電気接続のための構造を示す図面である。

【図 5】図 5 は、図 2 に示された断面に対応する工程断面におけるベンチ部品のためのベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 6】図 6 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 7】図 7 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 8】図 8 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 9】図 9 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 10】図 10 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 11】図 11 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 12】図 12 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 13】図 13 は、本実施形態に係るベンチ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 14】図 14 は、図 2 に示された断面に対応する工程断面におけるキャップのためのキャップ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 15】図 15 は、シリコンウエハの第 1 面上の第 1 マスクを示す平面図である。

【図 16】図 16 は、本実施形態に係るキャップ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 17】図 17 は、シリコンウエハの第 2 面上の第 2 マスクを示す平面図である。

【図 18】図 18 は、絶縁膜を除去したシリコンウエハの第 1 面を示す平面図である。

【図 19】図 19 は、本実施形態に係るキャップ生産物を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図 20】図 20 は、配線金属層を形成したシリコンウエハの第 1 面を示す図面である。

【図 21】図 21 は、配線金属層及び上側金属層を形成したシリコンウエハの第 1 面を示す図面である。

【図 22】図 22 は、ベンチ生産物及びキャップ生産物を接合する工程を模式的に示す図面である。

【図 23】図 23 は、組立体において、第 1 方向に延在する第 1 1 切断線及び第 1 2 切断線と、第 1 方向に直交する第 2 方向に延在する第 2 1 切断線、第 2 2 切断線、第 2 3 切断線及び第 2 4 切断線とを示す図面である。

【図 24】図 24 は、作成された光モジュールの外観を示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

引き続き、いくつかの具体例を説明する。

【0014】

一形態に係る光モジュールは、(a) 第 1 エリア及び第 2 エリアを含む主面を有するベンチ、前記第 1 エリア及び前記第 2 エリア上に設けられた電極、前記第 1 エリアにおいて前記電極上に設けられた半導体光素子、並びに前記第 1 エリアに支持されたレンズを含むベンチ部品と、(b) 前記ベンチ部品上に設けられたキャップと、を備え、前記キャップ

10

20

30

40

50

は、前記半導体光素子及び前記レンズを収容可能なキャビティ、天井、前壁、第1側壁、第1ウイング並びに後壁を含むキャップベースと、前記第1ウイングに設けられたパッド電極と、前記キャップベース上に設けられ前記パッド電極に接続された導電体とを備え、前記ベンチの前記第2エリアは前記第1エリアを囲み、前記第2エリア上の前記電極は、前記キャップベース上の前記導電体に電氣的に接続され、前記キャップベースの前記天井は、第1基準面に沿って延在し、前記前壁は、前記第1基準面に交差する第2基準面に沿って延在する前外面を有し、前記第1ウイングは、前記第1側壁に設けられ、前記後壁は、前記キャップから前記ベンチへ向かう方向に前記天井から延在する。

【0015】

この光モジュールによれば、ベンチ部品は、第1エリア及び第2エリア上に設けられた電極、第1エリアにおいて電極上に設けられた半導体光素子、並びに第1エリアに支持されたレンズを含む。ベンチ部品の電極は、ベンチの主面（第1エリア及び第2エリア）上を延在しており、キャップベース上の導電体に電氣的に接続される。キャップベースは、第1側壁に設けられた第1ウイングを備え、第1ウイングはパッド電極を搭載する。このパッド電極は、第1ウイング上において光モジュールの後壁から前壁への方向に後壁から離れた位置に設けられる。光モジュールは、第1ウイング上のパッド電極が後壁から離れることを利用することによって、光モジュールの光結合の向きに関連して光モジュールの電気接続において生じる制約を緩めることができる。

【0016】

一形態に係る光モジュールでは、前記キャップの前記キャップベースは、第2側壁及び第2ウイングを更に備え、前記第2ウイングは、前記第2側壁に設けられ、前記キャップベースの前記第1側壁及び前記第2側壁は、前記第1軸の方向に延在し、前記前壁、前記第1側壁、前記第2側壁及び前記後壁は、前記ベンチ部品の前記第2エリア上に位置しており、前記半導体光素子及び前記レンズは、前記ベンチ部品の前記第2エリア及び前記キャップにより封止されている。

【0017】

この光モジュールによれば、キャップの前壁、第1側壁、第2側壁及び後壁をベンチ部品の第2エリアが支持することによって、半導体光素子及びレンズを封止することができる。別のパッド電極が第2ウイング上に位置し、該別のパッド電極の配置は、当該光モジュールの光結合の向きに関連して光モジュールの電気接続において生じる制約を緩めることを可能にする。

【0018】

一形態に係る光モジュールでは、前記ベンチはシリコン製のベースを含み、前記ベンチの前記ベースの主面は、前記レンズを位置決めするための窪みを有する。

【0019】

この光モジュールによれば、加工により、シリコン製のベースに電極及び位置決め窪みを形成できる。

【0020】

一形態に係る光モジュールでは、前記ベンチ部品は、前記第2エリアにおいて前記電極上に設けられた絶縁層を備え、前記電極は、第1部分、第2部分及び第3部分を含み、前記電極の前記第1部分は、前記第1エリア上を延在して前記第2部分に接続され、前記絶縁層は前記電極の前記第2部分上を横切って延在しており、前記電極の前記第2部分は前記第3部分に接続され、前記第3部分は前記導電体に接続される。

【0021】

この光モジュールによれば、導電体と電極との間の接続と、封止とを共に実現できる。

【0022】

一形態に係る光モジュールでは、前記キャップは、前記ベンチ部品の前記第2エリア上に位置する絶縁層を備え、前記導電体は、第1部分、第2部分及び第3部分を含み、前記導電体の前記第1部分は、前記パッド電極を前記第2部分に接続しており、前記絶縁層は前記導電体の前記第2部分上を横切って延在しており、前記導電体の前記第2部分は前記

10

20

30

40

50

第 3 部分に接続され、前記第 3 部分は前記電極に接続される。

【0023】

この光モジュールによれば、導電体と電極との間の接続と、封止とを共に実現できる。

【0024】

一形態に係る光学装置は、(a) 上記のいずれかの光モジュールと、(b) 前記光モジュールの前記前壁を支持する光学部品と、を備え、前記光学部品は、前記光モジュールの前記前壁を介して前記半導体光素子に光学的に結合され、前記半導体光素子に係る光は、前記キャップの前記前壁を通過可能である。

【0025】

この光学装置によれば、光モジュールが、該光モジュールの前壁を介して光学部品に光学的に結合されると共に、該光モジュールのキャップ上のパッド電極を用いて、当該光モジュールへの電気接続が可能になる。

【0026】

一形態に係る光学装置では、前記光学部品は、前記半導体光素子に光学的に結合されるグレーティングカプラを備える半導体集積素子を含む。

【0027】

この光学装置によれば、半導体集積素子は光モジュールに光学的に結合されると共に、光モジュールは、第 1 ウイング上及び／又は第 2 ウイング上のパッド電極を用いて電氣的に接続可能である。

【0028】

一形態に係る光モジュールを作製する方法は、(a) 複数の区画の配列における各区画において第 1 基準面に沿って配置された第 1 領域、第 2 領域、第 3 領域、第 4 領域、及び第 5 領域を備えており、第 1 面及び第 2 面を有する単結晶半導体基板を準備する工程と、(b) 第 1 開口パターン及び第 2 開口パターンを有する第 1 マスクを前記単結晶半導体基板の前記第 1 面に形成する工程と、(c) 前記第 1 マスクを用いたエッチングにより、前記第 1 開口パターン及び前記第 2 開口パターンにそれぞれ対応しておりキャビティのために設けられた第 1 内側開口及びウイングのために設けられた第 2 内側開口を前記単結晶半導体基板の前記第 1 面に形成する工程と、(d) 前記第 1 内側開口及び前記第 2 内側開口を形成した後に、前記単結晶半導体基板の前記第 2 内側開口にパッド電極及び導電体のための金属層を形成する工程と、(e) 第 3 開口パターンを有する第 2 マスクを前記単結晶半導体基板の前記第 2 面に形成する工程と、(f) 前記第 2 マスクを用いたエッチングにより、前記第 3 開口パターンに対応しており前壁のために設けられた外側開口を前記単結晶半導体基板の前記第 2 面に形成する工程と、(g) 複数の区画の配列における各区画において第 1 エリア及び第 2 エリアを含む主面を有する支持体と、前記支持体の前記第 1 エリア及び前記第 2 エリア上に設けられた電極と、前記支持体の前記第 1 エリアの前記電極上に設けられた半導体光素子と、前記支持体の前記第 1 エリア上に設けられたレンズとを含むベンチ生産物を準備する工程と、(h) 前記第 1 内側開口、前記第 2 内側開口及び前記外側開口を形成した後に、前記ベンチ生産物の前記支持体の前記第 2 エリアが前記単結晶半導体基板を支持するように、前記ベンチ生産物及び前記単結晶半導体基板を組み立てて、前記ベンチ生産物の前記電極を前記単結晶半導体基板の前記導電体に接続した組立体を作製する工程と、を備え、前記単結晶半導体基板の前記第 1 面は前記第 2 面の反対側に位置し、前記第 1 領域、前記第 2 領域、前記第 3 領域、前記第 4 領域、及び前記第 5 領域は、第 1 軸の方向に順に配列し、前記外側開口の一側面及び前記外側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第 1 領域に設けられ、前記外側開口の他側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 2 領域に設けられ、前記第 1 内側開口の一側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 2 領域に設けられ、前記第 1 内側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第 3 領域及び前記第 4 領域に延在し、前記第 1 内側開口の他側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 4 領域に設けられ、前記第 2 内側開口の一側面は、前記単結晶半導体基板の前記第 4 領域に設けられ、前記第 2 内側開口の底面は、前記単結晶半導体基板の前記第 4 領域及び前記第 5 領域に設けられ、前記第 1 内側開口の前記一側面は前記第 1 基準面に交差す

10

20

30

40

50

る第11基準面に沿って延在し、前記外側開口の前記一側面は前記第1基準面に交差する第12基準面に沿って延在し、前記第2内側開口の前記一側面は前記第1基準面に交差する第13基準面に沿って延在する。

【0029】

光モジュールを作製する方法によれば、単結晶半導体基板の第3領域に位置する底面を有するキャビティ用の第1内側開口と、単結晶半導体基板の第4領域に位置する縁を有する一側面を含むウイング用の第2内側開口とを第1面のエッチングにより形成すると共に、単結晶半導体基板の第1領域に底面を有する前壁用の外側開口を第2面のエッチングにより形成する。第1マスクの第1開口パターン及び第2マスクの第3開口パターンは、単結晶半導体基板の第2領域に第1内側開口の一側面及び外側開口の他側面が位置するようにパターン形成される。また、第1マスクの第2開口パターンは、第4領域に第2内側開口の一側面が位置するようにパターン形成される。個々のエッチングにより、キャップの前壁、後壁及びキャビティのそれぞれのための第1内側開口、第2内側開口、並びに外側開口を形成できる。第1内側開口の一側面、外側開口の一側面及び第2内側開口の一側面は、それぞれ、第11基準面、第12基準面及び第13基準面に沿って延在しており、第11基準面及び第13基準面は第1基準面に対して鋭角を成す。ウイング用の第2内側開口には、パッド電極及び導電体のための金属層が形成される。この作製方法では、光モジュールの組立体は、ベンチ生産物上の電極（ベンチ部品の電極）が第2内側開口の金属層（パッド電極及び導電体のための金属層）に接続されるように作製される。第2内側開口の金属層は、ウイング上において光モジュールのパッド電極として利用される。

【0030】

一形態に係る、光モジュールを作製する方法は、前記単結晶半導体基板の前記第1領域において前記組立体を切断する工程と、前記単結晶半導体基板の前記第5領域において前記組立体を切断する工程を更に備える。

【0031】

この光モジュールを作製する方法によれば、切断により組立体から光モジュールを作製できる。

【0032】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、光モジュール、光モジュールを作製する方法、及び光学装置に係る実施形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0033】

図1は、本実施形態に係る光モジュールを模式的に示す図面である。図2は、図1に示されたI-I線に沿って取られた縦断面を模式的に示す図面である。光モジュール11は、ベンチ部品13及びキャップ15を備える。キャップ15は、ベンチ部品13上に設けられ、シリコン製のキャップベース23を有する。ベンチ部品13は、ベンチ17及び半導体光素子19を有しており、必要な場合には、光学部品21を更に含むことができる。光学部品21は、レンズ21aを含むことができ、また光アイソレータ21bを含むことができる。半導体光素子19は、例えばレーザダイオード、フォトダイオード等であることができる。半導体光素子19は、例えば1.3 μm 帯、1.55 μm 帯、1.49 μm 帯の光を処理することができる。ベンチ17は、シリコン製のベース27を含む。ベンチ17（具体的には、ベース27）は、主面17a（具体的には、主面27a）及び裏面17bを有しており、裏面17bは主面17aの反対側にある。主面17aは、第1エリア17c及び第2エリア17dを含む。第2エリア17dは第1エリア17cを囲む。半導体光素子19及び光学部品21は、第1エリア17c上に設けられている。レンズ21aといった光学部品21は、第1エリア17cによって支持される。図2を参照すると、光モジュール11は、外部デバイスとして働く光学部品49に光学的に結合されて、光学装置DEVを構成する。

【0034】

キャップ15は、天井15aと、前壁15bと、後壁15cとを含む。キャップ15は、半導体光素子19及び光学部品21を収容するキャビティ25を含む。本実施例では、半導体光素子19、光学部品21、並びにキャップ15の前壁15b及び後壁15cが、第1軸Ax1の方向に延在する光学基準面Ropに沿ってベンチ17の主面17a上に置いて配列されている。半導体光素子19は、例えばレンズ21aといった光学部品21を介してキャップ15の前壁15bに光学的に結合される。半導体光素子19に係る光I（半導体光素子19から出射される光又は半導体光素子19に入射する光）は、キャップの前壁15bを通過可能である。具体的には、図2に示されるように、天井15aは、第1基準面R1に沿って延在する。前壁15bは、天井15aから第2基準面R2に沿って延在する。第2基準面R2は、角度ACUT2で第1基準面R1に対して傾斜している。前壁15bの前内面15gが、第1基準面R1に対して傾斜する第11基準面R11に沿って延在する部分を有すると共に、前壁15bの前外面15fが、第1基準面R1及び光学基準面Ropに対して傾斜する第12基準面R12に沿って延在する部分を有する。好適な実施例では、第11基準面R11の傾斜角が角度ACUT2であることができ、第12基準面R12の傾斜角が角度ACUT2であることができる。角度ACUT2は、ゼロより大きく90度以下の角度であることが好ましい。具体的には、前壁15bの前外面15f及び前内面15gにそれぞれ対応するキャップベース23の外面及び内面が、ベース材のシリコンの(111)面を備えることができる。このときは、角度ACUT2は、シリコンの(111)面とシリコンの(001)面との角度として、例えば54.7度である。一実施例では、光学基準面Ropはベンチ17の主面17aの法線に対して交差している。ベンチ17の主面17aの法線が光学基準面Ropに直交するとき、光学基準面Ropは、第2基準面R2、第11基準面R11及び第12基準面R12に対して鋭角を成す。

10

20

【0035】

キャップ15は、第1軸Ax1の方向に延在する第1側壁15d及び第2側壁15eを含む。具体的には、キャップ15は、例えばシリコン製のキャップベース23を有することができる。キャップベース23が、天井15a、前壁15b、後壁15c、第1側壁15d、第1ウイング16、第2側壁15e、及び第2ウイング18のベース部分を提供している。前壁15b、第1側壁15d、第2側壁15e及び後壁15cは、ベンチ部品13の第2エリア17d上に位置している。第1ウイング16は、第1側壁15dのベース部分に設けられ、第2ウイング18は、第2側壁15eのベース部分に設けられる。キャビティ25は、天井15a、前壁15b、後壁15c、第1側壁15d及び第2側壁15eによって規定される。第1側壁15d及び第2側壁15eは、前壁15bから後壁15cへの方向に延在する。

30

【0036】

図3は、本実施形態の光モジュールを備える光学装置の一形態を模式的に示す図面である。図3の(a)部は、光学部品に実装された光モジュールの外観を示し、また、図1に示されたII-II線に沿って取られた縦断面を示す。図3の(b)部及び(c)部は、光モジュールの背面図を示す。図1及び図3に示されるように、第1ウイング16は、前端部16a及び後端部16cを有しており、前端部16a及び後端部16cは、第1側壁15d上に設けられる。前端部16a及び後端部16cは、第1軸Ax1の方向に配列されている。後端部16cは、後壁15cから前壁15bへの方向に後壁15cの後端面15rから後退したところに位置している。前端部16aは、本実施例では、前壁15bのところに位置しているが、この配置に限定されない。第1ウイング16が第1側壁15d上に設けられるので、第1ウイング16の後端部16cは、第1側壁15dの側面15pに対して段差を形成する。この段差に起因して、第1ウイング16の後端部16cは、後端面16pを有する。第1ウイング16は、中間部16bを更に備えることができる。この中間部16bは、前端部16aと後端部16cとの間に位置する。後端部16cの後端面16pは、第1基準面R1に対して傾斜する第13基準面R13に沿って延在している。

40

50

【0037】

第1ウイング16は、第1基準面R1の方向に天井15aから延出する底部16dを有する。底部16dは、キャップベース23の第1側壁15dの上縁に沿って第1ウイング16の後端部16cから後壁15cの後端面15rまで第1軸Ax1の方向に延在する。底部16dは、第1ウイング16の機械的強度を高めることができる。第1ウイング16の底部16dは、第1側壁15dの側面15pに対して段差を形成する。この段差を形成するために、底部16dは下面16qを有する。後端部16cの後端面16p及び底部16dの下面16qは、第1側壁15dの側面15pに繋がっており、側面15pは、後壁15cの後端面15rに繋がっている。

【0038】

後壁15cは、キャップ15からベンチ部品13へ向かう方向に、天井15aから延在する。後壁15cの後端面15rは、第1軸Ax1に交差する第2軸Ax2の方向に沿って延在し、後壁15cの内面15iは、第1基準面R1及び光学基準面Ropに対して傾斜する第14基準面R14に沿って延在する。第14基準面R14は、角度ACUT4で第1基準面R1に対して傾斜している。角度ACUT4は、ゼロより大きく90度より小さい角度であることが好ましい。具体的には、後壁15cの内面15iは、ベース材のシリコンの(111)面を備えることができる。

【0039】

キャップ15の前壁15b、半導体光素子19及び光学部品21は、主面17a上において光学基準面Rop（具体例として、ベンチ17の主面17aの法線に直交する平面）に沿って配列されている。本実施例では、この光学基準面Ropに対して、キャップ15の前壁15bは傾斜している。前壁15bの傾斜角が光学基準面Ropを基準にして直角ではなく鋭角である形態では、この傾斜により、半導体光素子19に係る光Iは、前壁15bへの入射と前壁15bからの出射の際に屈折して、これら二回の屈折の際にその進行方向を変えて、光学基準面Ropから外れたレベルで伝搬する。

【0040】

図3には、光学装置DEVが示される。光学装置DEVは、本実施形態のいずれか一形態として記載された光モジュール11と、該光モジュール11の前壁15bを支持する光学部品49とを備える。光学部品49は、光モジュール11の前壁15bを介して半導体光素子19に光学的に結合され、この半導体光素子19に係る光Iは、キャップ15の前壁15bを通過可能である。この光学装置DEVによれば、光モジュール11が、該光モジュール11の前壁15bを介して光学部品49に光学的に結合される。光モジュール11の前壁15bは、屈折率調整材及び／又は接着材を含む固定部材50を介して光学部品49の主面49aによって支持される。

【0041】

図3の(a)部に示されるように、第13基準面R13の傾斜角は、角度ACUT3であることができる。角度ACUT3は、30度から70度までの角度であることが好ましい。具体的には、後端部16cの後端面16pは、ベース材のシリコンの(111)面を備えることができ、底部16dの下面16qは、シリコンの(001)面を備えることができる。このときは、角度ACUT3は、後端部16cの後端面16pと底部16dの下面16qとの角度である。角度ACUT3は、例えば54.7度であり、この値は、シリコンの(111)面とシリコンの(001)面との角度に対応する。前壁15bと後端面16pとの角度は、例えば、0度～20度の範囲であることができる。

【0042】

図3の(b)部及び(c)部に示されるように、第1側壁15dの側面15pは、第1基準面R1からベンチ部品13に向かって傾斜する第15基準面R15に沿って延在している。第15基準面R15の傾斜角は、角度ACUT5であることができる。角度ACUT5は、30度から70度までの角度であることが好ましい。具体的には、第1側壁15dの側面15pは、ベース材のシリコンの(111)面を備えることができる。角度ACUT5は、第1側壁15dの側面15pと底部16dの下面16qとの角度である。角度

ACUT5は、例えば54.7度であり、この値は、シリコンの(111)面とシリコンの(001)面との角度に対応する。

【0043】

第1パッド電極24pは、第1ウイング16の後端部16c上に設けられることができる。本実施例では、第1パッド電極24pは、後端部16cの後端面16p上に位置する。このパッド電極は、光学部品49の主面49aに光モジュールの前壁15bが支えられる場合において、光学部品49の主面49aとおおむね平行な位置関係を有する。従って光学部品49の主面49a上の電極に対しワイヤーボンディング可能な装置を用いれば、このパッド電極にもワイヤーボンディングは容易であり、ワイヤーボンディングを用いて、このパッド電極と光学部品49の主面49a上の電極との電気接続が容易に行える利点を有している。第1ウイング16の後端部16c及び底部16dに係る2つの段差は、後端部16cへの第1パッド電極24pの接続のための経路を提供し、この経路によって後端部16c上への第1パッド電極24pの接続が容易となる。第1パッド電極24pは、第1側壁15d及び／又は第1ウイング16上に設けられた第1導電体26pに電氣的に接続される。

10

【0044】

本実施形態に係る光モジュール11では、図1及び図3に示されるように、第2ウイング18が、第2側壁15e上に設けられる。第2ウイング18は、後端部18cを有し、その後端面18p上に第2パッド電極24qが設けられる。第2パッド電極24qは、第2側壁15e及び／又は第2ウイング18上に設けられた第2導電体26qに電氣的に接続される。第2ウイング18は、前端部18aを有し、本実施例では、前壁15bのところに位置することができる。

20

【0045】

この光モジュール11によれば、ベンチ部品13は、電極31a、31bを含むことができ、電極31a、31bは、半導体光素子19に接続され、第1エリア17c及び第2エリア17dに設けられる。電極31a、31bは、第1エリア17cと第2エリア17dとの境界17eを第3軸Ax3の方向に横切って延在し、これによって電極31a、31bを介して、第1エリア17c上の半導体光素子19への電気接続が第2エリア17dにおいて行われることができる。ベンチ17の第2エリア17d上の電極31a、31bは、それぞれ、キャップ15の第1導電体26p及び第2導電体26qに接続され、また、キャップ15の第1パッド電極24p及び第2パッド電極24qに接続される。本実施例では、電極31a、31bは、例えば、第3軸Ax3の方向に境界17eを横切るように延在する。この延在によりキャビティ25内に存在する半導体光素子19と、キャビティ25の外に存在する電極との間の電氣的接続を得ることができる。電極31a、31bは、必要な場合に、第3軸Ax3と異なる方向に境界17eを横切ることができる。

30

【0046】

ベンチ部品13は、第1エリア17cにおいて電極31a上に設けられた半導体光素子19と、第1エリア17cに支持されたレンズ21aとを更に含む。ベンチ部品13の電極31a、31bは、ベンチ17の主面17a（第1エリア17c及び第2エリア17d）上を延在しており、これ故に、ベンチ17の主面17aの向き及び該主面17a上の電極31a、31bの表面の向きは、当該光モジュール11の実装において光モジュール11の光結合の向きに関連する。

40

【0047】

図1及び図3に示されるように、本実施形態の光モジュール11は、第1ウイング16上及び第2ウイング18上にそれぞれ設けられた第1パッド電極24p及び第2パッド電極24qを用いて、光学部品49に電気接続されることができる。第1パッド電極24pと光学部品49との電氣的な接続のために、例えば、第1ボンディングワイヤ48aが用いられ、第2パッド電極24qと光学部品49との電氣的な接続のために、例えば、第2ボンディングワイヤ48bが用いられる。図3の(b)部及び(c)部に示されるように、例えば、第1ボンディングワイヤ48aは、後端面16p上において、第1パッド電極

50

24 pに接続され、第2ボンディングワイヤ48 bは、後端面18 p上の第2パッド電極24 qに接続される。本実施例では、第1ウイング16及び第2ウイング18が、それぞれ、第1側壁15 d及び第2側壁15 eに設けられるので、第1パッド電極24 p及び第2パッド電極24 qは、光モジュール11の後壁15 cから前壁15 bへ方向に後壁15 cから離れた位置に設けられることができる。図3の(a)部に示されるように、第1ウイング16又は第2ウイング18は、距離24 hによって光モジュール11の後壁15 cから後退する。第1ボンディングワイヤ48 a及び第2ボンディングワイヤ48 bは、第1ウイング16上の第1パッド電極24 p及び第2ウイング18上の第2パッド電極24 qから曲がりながら延在して、光学部品49に接続される。ボンディングワイヤの高さ48 hは、後壁15 cの高さ13 hよりも低いことが望ましい。高さ48 hは、光学部品49の主面49 aからボンディングワイヤの最高点までの距離として規定され、高さ13 hは、光学部品49の主面49 aから後壁15 cの後端面15 rまでの距離である。後壁15 cは、第1基準面R1に交差する第16基準面R16に沿って延在している。光モジュール11は、第1ウイング16上及び第2ウイング18上に第1パッド電極24 p及び第2パッド電極24 qを設けることによって、光モジュール11の実装において光モジュール11の光結合の向きに関連して生じる制約を緩めることができる。ボンディングワイヤの高さ48 hが後壁15 cの高さ13 hを越えないように、第1ボンディングワイヤ48 aは、光学部品49を第1パッド電極24 pに接続でき、第2ボンディングワイヤ48 bは、光学部品49を第2パッド電極24 qに接続できる。

【0048】

図3の(b)部及び(c)部には、パッド電極に接続されたボンディングワイヤの形態が例示されている。ベンチ部品13の幅HC1がキャップ15の下端の幅未満であるとき、より厳格には、ベンチ部品13の幅HC1が第1側壁15 dの下端と第2側壁15 eの下端の幅HC2未満であるとき、第1ボンディングワイヤ48 a及び第2ボンディングワイヤ48 bは、例えば、図3の(b)部に示されるように、第1側壁15 d及び第2側壁15 eの側面に沿う方向に延在することができる。また、第1ボンディングワイヤ48 a及び第2ボンディングワイヤ48 bは、例えば、図3の(c)部に示されるように、ベンチ部品13の幅HC1が第1側壁15 dの下端と第2側壁15 eの下端の幅HC2未満であるとき、又は、幅HC2以上であるときのいずれにおいても、第1側壁15 d及び第2側壁15 eの側面に交差する方向に延在することができる。あるいは、第1ボンディングワイヤ48 a及び第2ボンディングワイヤ48 bは、例えば、図3の(b)部及び(c)部に示された方向と異なる方向に延在してもよい。第1ボンディングワイヤ48 a及び第2ボンディングワイヤ48 bは、底部16 d及び底部18 dによって保護される。

【0049】

図2に示されるように、光学基準面Ropに対して傾斜した前壁15 bを有する光モジュール11によれば、半導体光素子19、レンズ21 a、及びキャップ15の前壁15 bは、光学基準面Ropに沿って配列されて、これにより半導体光素子19はレンズ21 aといった光学部品21を介してキャップ15の前壁15 bに光学的に結合される。また、半導体光素子19に係る光Iは、キャップ15の前壁15 bを通過可能であって、半導体光素子19に係る光Iは、第2基準面R2に沿って延在する前壁15 bの前内面15 g及び前外面15 fにおいて屈折する。前壁15 bに係る第2基準面R2が、第1基準面R1及び光学基準面Ropに対してゼロ度より大きい角度で傾斜する。具体的には、前壁15 bの前内面15 gが、鋭角で第1基準面R1に対して傾斜する第11基準面R11に沿って延在する部分を有すると共に、前壁15 bの前外面15 fが、鋭角で第1基準面R1及び光学基準面Ropに対して傾斜する第12基準面R12に沿って延在する部分を有することができる。角度ACUT2が90度未満の場合には、前壁15 bの傾斜によって、ベンチ17の主面17 aの法線方向に関して、光Iの光軸と前壁15 bの前外面15 fとの交差位置P1の高さを光Iの光軸と前壁15 bの前内面15 gとの交差位置P2の高さより高くできる。この高さの差異(シフト量SHF)は、ベンチ17の主面17 aの法線方向に関して前壁15 bの先端TIP(例えば切断端)から交差位置P1を離すことを可能

にする。キャップ15の製造に際して前壁15bの先端TIPに光学的に不均一な形状が形成される可能性があるけれども、前壁15bの傾斜により、不均一形状の部分が、半導体光素子19から出射又は入射するために前壁15bを通過する光Iを攪乱することを避けることができる。

【0050】

また、前壁15bの前外面15fの傾斜面は、前内面15gに比べて、ベンチ17の主面17aから離れたところで終端する。これに対して、前壁15bの前内面15gの傾斜面は、前外面15fに比べて、ベンチ17の主面17aの近くまで延在して終端する。これらの終端の位置の差（終端位置の高さの違い）は、後述のキャップ15の製造方法に起因する。一方、半導体光素子19に係る光Iは、ベンチ17の主面17a上に配列された光学部品21を伝搬するので、光Iの経路は、ベンチ17の主面17aの近くにある。所望の厚さTH及び所望の傾斜を有する前壁15bは、前壁15bを通過する光の屈折により、前壁15bにおける伝搬光の入射レベル及び出射レベルを高さに関して互いに異ならせることを可能にする。前壁15bの厚さTHは、例えば100 μ m程度であることができ、例えば50～300 μ mであることができる。

【0051】

光学部品49は、シリコンフォトリソグラフィ素子といった半導体集積素子を含むことができ、光学部品49（例えば半導体集積素子）は、半導体光素子19に光学的に結合されるグレーティングカプラ49cpといった光結合素子を備える。光モジュール11の光学基準面Ropに対する前壁15b（15f、15g）の傾斜に起因して、光学部品49の主面49aの法線軸NXと光学基準面Ropとの角度ACPは、半導体集積素子内の光結合デバイス、例えばグレーティングカプラ49cpの結合角に合わされることが好ましい。グレーティングカプラ49cpのための角度ACPは、例えば5度から15度の範囲内にあるが、本形態は、これに限定されるものではない。角度ACPは、具体的には、キャップ15の前壁15bの傾きに関連しており、前壁15bの傾きの大きさは、キャップ15のキャップベース23を形成するための半導体部材の主面の面方位に関連している。

【0052】

図1及び図2に示されるように、半導体光素子19及びレンズ21aは、ベンチ部品13の第2エリア17d上においてキャップ15により封止されている。キャップ15の前壁15b、第1側壁15d、第2側壁15e及び後壁15cをベンチ部品13の第2エリア17dが支持することによって、半導体光素子19及びレンズ21aを封止できる。

【0053】

光モジュール11では、ベース27の主面27a上では、電極31a、31bが、第1エリア17cと第2エリア17dとの境界17eを第3軸Ax3の方向に横切って第1エリア17cから第2エリア17dまで延在する。ベンチ部品13は、絶縁及び気密封止のための絶縁層29を備え、絶縁層29は、第2エリア17dにおいて電極31a、31b上に設けられる。具体的には、絶縁層29が、ベース27の前縁27b、第1側縁27c及び第2側縁27d、及びベース27の後縁27eに沿って延在するので、ベース27の主面27aにおいて閉じた線に沿って帯状の形状を有する。本実施例では、帯状の絶縁層29は、第1エリア17cと第2エリア17dとの境界17e上に設けられている。絶縁層29は、例えばシリコン系無機絶縁膜であることができ、具体的にはSiO₂、SiN、SiON等であることができる。絶縁層29上には、気密封止のための下側金属層39が設けられている。下側金属層39もまた、ベース27の主面27aにおいて閉じた線に沿って帯状に延在している。下側金属層39は絶縁層29上に設けられ、また絶縁層29は電極31a、31b上に設けられて、電極31a、31bは、絶縁層29によって下側金属層39から絶縁される。

【0054】

キャップ15の前壁15bの先端TIP、後壁15cの外側面、第1ウイング16の側面16h及び第2ウイング18の側面18h（これらは切断された状態の端面である）を除いて、天井15aのキャップベース23の外側面、及び前壁15bのキャップベース23

の外面は、外保護膜 4 1 によって覆われている。また、天井 1 5 a のキャップベース 2 3 の内面（キャビティの天井面）、前壁 1 5 b のキャップベース 2 3 の内面（キャビティの前面）及び下端面、後壁 1 5 c のキャップベース 2 3 の内面（キャビティの後面）及び下端面、第 1 側壁 1 5 d のキャップベース 2 3 の内面（キャビティの側面）及び下端面、並びに第 2 側壁 1 5 e のキャップベース 2 3 の内面（キャビティの側面）及び下端面は、内保護膜 4 3 によって覆われている。外保護膜 4 1 及び内保護膜 4 3 は、シリコンベース上で反射防止膜として働く誘電体膜を備えることが好ましい。これによって、前壁 1 5 b を介する光の出射／入射において、前壁 1 5 b に起因する光学ロスを低減できる。

【0055】

キャップ 1 5 は、内保護膜 4 3 上に設けられ、気密封止のための上側金属層 4 5 を含む。上側金属層 4 5 は、キャップ 1 5 の前壁 1 5 b のキャップベース 2 3 の下端面、後壁 1 5 c のキャップベース 2 3 の下端面、第 1 側壁 1 5 d のキャップベース 2 3 の下端面、及び第 2 側壁 1 5 e のキャップベース 2 3 の下端面の内保護膜 4 3 上に設けられる。上側金属層 4 5 もまた、ベンチ部品 1 3 の下側金属層 3 9 と同様に、キャップベース 2 3 における上記の下端面上において閉じた線に沿って延在する帯状の形状を有する。

【0056】

ベンチ部品 1 3 の下側金属層 3 9 及びキャップ 1 5 の上側金属層 4 5 は、必要な場合には半田材といった金属体 4 7 を介して互いに接合されて、ベンチ部品 1 3 の下側金属層 3 9 及びキャップ 1 5 の組立体のキャビティ 2 5 は、気密に封止される。光モジュール 1 1 では、ベンチ部品 1 3 の後縁 2 7 e の位置は、キャップ 1 5 の後壁 1 5 c の後端の位置と同じであってもよく、又は後縁 2 7 e から前縁 2 7 b への方角に向かって後壁 1 5 c の後端の位置から後退していてもよい。

【0057】

図 4 は、第 1 側壁の近傍における気密封止及び電気接続のための構造を示す図面であり、図 1 に示された I V - I V 線に沿って取られた縦断面を示す。図 4 の（a）部は、図 1 及び図 2 に示された光モジュール 1 1 の第 1 ウイング 1 6 におけるインターコネクトを模式的に示す図面である。電極 3 1 a は、第 1 部分 3 2 a、第 2 部分 3 2 b 及び第 3 部分 3 2 c を含む。絶縁層 2 9 が第 2 部分 3 2 b 上を横切って延在しているので、封止用の下側金属層 3 9 は、電極 3 1 a から絶縁される。具体的には、第 1 部分 3 2 a は、第 1 エリア 1 7 c 上を延在して第 2 部分 3 2 b に接続され、第 2 部分 3 2 b は第 3 部分 3 2 c に接続される。第 3 部分 3 2 c が、第 2 エリア 1 7 d 上においてキャップ 1 5 の第 1 導電体 2 6 p に接続される。この光モジュール 1 1 によれば、第 1 パッド電極 2 4 p 及び第 1 導電体 2 6 p と電極 3 1 a との間の接続と、封止とを共に実現できる。第 2 側壁 1 5 e の近傍における気密封止及び電気接続のための構造も、図 4 の（a）部に示す構造と同様であることができる。

【0058】

図 4 の（b）部は、図 1 及び図 2 に示された光モジュール 1 1 のための別のインターコネクトを模式的に示す図面である。キャップ 1 5 の第 1 導電体 2 6 p は、第 1 部分 2 6 a、第 2 部分 2 6 b 及び第 3 部分 2 6 c を含む。キャップ 1 5 は、絶縁層 2 8 を備え、絶縁層 2 8 はベンチ部品 1 3 の絶縁層 2 9 と同様の役割を有する。絶縁層 2 8 は、ベンチ部品 1 3 の第 1 エリア 1 7 c と第 2 エリア 1 7 d との境界 1 7 e の位置に合わせて、後壁 1 5 c の下端面上に設けられる。第 1 導電体 2 6 p の第 2 部分 2 6 b 上を絶縁層 2 8 は横切って延在するので、封止用の上側金属層 4 5 は、第 1 導電体 2 6 p から絶縁される。第 1 導電体 2 6 p の第 1 部分 2 6 a は、第 1 パッド電極 2 4 p を第 2 部分 2 6 b に接続している。第 1 導電体 2 6 p の第 2 部分 2 6 b は第 3 部分 2 6 c に接続される。第 3 部分 2 6 c は、第 1 エリア 1 7 c 上の電極 3 1 a に接続される。この形態の光モジュール 1 1 によれば、第 1 導電体 2 6 p と電極 3 1 a との間の接続と、封止とを共に実現できる。第 2 側壁 1 5 e の近傍における気密封止及び電気接続のための構造も、図 4 の（b）部に示す構造と同様であることができる。

【0059】

再び図1及び図2を参照すると、ベンチ17は、シリコン製のベース27を含む。ベンチ17（具体的には、ベース27）の主面17aは、ボールレンズといったレンズ21aを位置決めするための第1窪み33と、光アイソレータ21bを収容する第2窪み35とを有する。第1窪み33及び第2窪み35は、シリコン製のベース27の加工により作製される。

【0060】

レンズ21a及び光アイソレータ21bは、例えばエポキシ系接着材といった接着部材によってベンチ17に固定される。半導体光素子19は、例えば半田材（AuSn半田）によってベンチ17の電極31aに固定される。半導体光素子19は、ボンディングワイヤといった接続導体32を介して電極31bに接続される。レンズ21aは、半導体光素子19に係る光の集光又はコリメートのために用いられる。

10

【0061】

キャップベース23がシリコン単結晶からなるとき、キャップ15の前壁15bのキャップベース23の内面、後壁15cのキャップベース23の内面、第1側壁15dのキャップベース23の内面、及び第2側壁15eのキャップベース23の内面は、シリコンの（111）面を備えることができる。この構造は、（001）面の主面を有するシリコン基板を用いて作製されることができる。この光モジュール11は、基板裏面ではなくキャップ15の側面において外部デバイスと光学的に結合可能である。

【0062】

以上説明した本実施形態によれば、当該光モジュール11の実装において該光モジュール11の光結合の向きに関連する制約を緩めることができる。

20

【0063】

引き続き、光モジュール11を作製する方法における主要な工程を説明する。引き続き製造方法の記述において、理解を容易にするために、可能な場合には図1～図4を参照しながら行われた光モジュール11の説明における参照符合を用いる。図2に示された断面に対応する工程断面における図5、図6、図7～図13の（a）部、及び、ベンチ17の平面図を表す図7～図13の（b）部を参照しながら、ベンチ部品13のためのベンチ生産物を準備する工程を説明する。引き続き説明から理解されるように、準備の一例として、ベンチ生産物の作製を行う。

【0064】

工程S101では、図5に示されるように、単結晶半導体基板としてシリコンウエハ51を準備する。シリコンウエハ51は主面51a及び裏面51bを有しており、主面51aは例えば（001）面を備える。シリコンウエハ51は、複数の区画（単一のベンチ17を作製するための区画）の配列を有する程度のサイズ（例えば、6インチ）を有し、例えば725μm厚を有する。区画の配列における各区画において、主面51aは、第1エリア51c、第2エリア51d、及び第3エリア51eを有する。第2エリア51d及び第3エリア51eは、切断のための切り代を含む。図5の（a）部に示されるように、シリコンウエハ51の主面51a上に、シリコン酸化膜といった第1絶縁膜53を形成する。本実施例では、シリコンウエハ51の裏面51bを絶縁膜により覆ってないけれども、必要に応じて裏面51b上にも絶縁膜を形成することができる。

30

40

【0065】

工程S102では、本実施例におけるレンズ21aを配置するための第1窪み33をシリコンウエハ51の各区画の第1エリア51cに形成する。図5の（b）部に示されるように、フォトリソグラフィを用いて、レンズ21aを配置するための第1窪み33を規定する第1マスク53aを第1絶縁膜53から形成する。図5の（c）部に示されるように、KOH溶液をエッチャントとして第1マスク53aを用いて、第1マスク53aの第1開口53bに露出されたシリコン単結晶のウェットエッチングを行って、第1エリア51cに第1窪み33を形成する。第1開口53bの形状は、シリコンの四回対称性に起因して、例えば長方形又は正方形等であることができ、本実施例では、シリコン結晶の<110>軸方向の一对の辺及び<11-0>軸方向の一对の辺を含む正方形である。第1窪み

50

3 3が形成された後に、図5の(d)部に示されるように、第1マスク5 3 aを除去する。

【0066】

工程S103では、第1マスク5 3 aを除去した後に、図6の(a)部に示されるように、シリコンウエハ5 1の主面5 1 a上に、シリコン酸化膜といった第2絶縁膜5 5を形成する。シリコンウエハ5 1の裏面5 1 bのエッチングを避けるためには、裏面5 1 b上にもシリコン酸化膜といった絶縁膜を形成してもよい。

【0067】

工程S104では、本実施例における光アイソレータ2 1 bを配置するための第2窪み3 5をシリコンウエハ5 1の各区画の第1エリア5 1 cに形成する。図6の(b)部に示されるように、フォトリソグラフィを用いて、光アイソレータ2 1 bを配置するための第2窪み3 5を規定する第2マスク5 5 aを第2絶縁膜5 5から形成する。図6の(c)部に示されるように、第2マスク5 5 aを用いて、第2マスク5 5 aの第2開口5 5 bに露出されたシリコン単結晶のドライエッチングを行って、第1窪み3 3の隣に第2窪み3 5を形成する。第2開口5 5 bの形状は、例えば正方形又は長方形等であることができ、本実施例では、シリコン結晶の $\langle 110 \rangle$ 軸方向の一对の辺及び $\langle 11-0 \rangle$ 軸方向の一对の辺を含む正方形である。第1エリア5 1 cに第2窪み3 5が形成された後に、図5の(d)部に示されるように、第2マスク5 5 aを除去する。

【0068】

工程S105では、図7に示されるように、第1エリア5 1 cに電極3 1 a、3 1 bを形成する。本実施例では、電極3 1 a、3 1 bをリフトオフ法により形成する。具体的には、リフトオフのためのパターンを有する犠牲膜を形成した後に、金属膜を蒸着法により成長する。犠牲膜はレジスト膜であることができ、金属膜は、例えばTi/Pt/Au(100nm/200nm/500nm)を備える。金属膜を成長した後に犠牲膜の剥離液にシリコンウエハ5 1を浸漬して、金属膜のリフトオフを行う。

【0069】

工程S106では、絶縁及び気密封止用の絶縁層2 9を形成する。図8に示されるように、絶縁層2 9のために化学的気相成長(CVD)法により絶縁膜5 7(例えば、500nm厚のSi₃N₄)を成長する。フォトリソグラフィ及びエッチングを用いて、封止用パターンを有する封止マスク5 9を絶縁膜5 7上に形成する。図8においては、本工程断面に現れる封止マスク5 9の第1開口5 9 a及び第2開口5 9 bが描かれており、封止マスク5 9は、絶縁層2 9に対応する封止用の閉じたストライプ状のパターンを区画毎に有している。

【0070】

工程S107では、図9に示されるように、封止マスク5 9を用いてエッチャント(CF₄)によるドライエッチングを絶縁膜5 7に施して絶縁層2 9を第1エリア5 1 c上に形成すると共に、エッチング後に封止マスク5 9を剥離液により除去する。

【0071】

工程S108では、図10に示されるように、封止部材のためのパターンを有する犠牲膜6 0を形成する。犠牲膜6 0はレジスト膜であることができる。

【0072】

工程S109では、図11に示されるように、封止部材を形成する。封止部材としては、金属材料、有機樹脂材等を使用することが可能である。本実施例では、金属材料を備える封止部材、具体的には、下側金属層3 9をリフトオフ法により形成する。犠牲膜6 0及び絶縁層2 9上に金属膜を蒸着法により成長する。金属膜は、例えばTi/Pt/Au(100nm/200nm/50nm)を備える。この金属膜のリフトオフのための剥離液にシリコンウエハ5 1を浸漬して、パターン形成された金属膜、本実施例では下側金属層3 9を区画毎に形成する。

【0073】

工程S110では、半導体光素子1 9のダイボンドを行う。図12に示されるように、

10

20

30

40

50

半導体光素子 19 のダイボンドのための半田 47 a をリフトオフ法により形成する。具体的には、リフトオフのためのパターンを有する犠牲膜を形成した後に、金属膜を蒸着法により成長する。犠牲膜はレジスト膜であることができ、金属膜は、例えば $2\text{ }\mu\text{m}$ 厚の Au Sn 半田を堆積する。金属膜を形成した後に犠牲膜の剥離液にシリコンウエハ 51 を浸漬して、金属膜のリフトオフを行う。次に、図 12 に示されるように、半導体光素子 19 のダイボンドを行う。具体的には、レーザダイオードを固着用のハンダ上に置いてソルダーリングにより固着する。ワーク温度は例えば摂氏 330 度である。半導体光素子 19 のダイボンドの後に、半導体光素子 19 の上部電極を電極 31 b に金ワイア 63 を用いてワイアリングする。

【0074】

工程 S111 では、図 13 に示されるように、光学部品 21 の配置を行う。本実施例では、ボールレンズ及びアイソレータをそれぞれ第 1 窪み 33 及び第 2 窪み 35 に固定する。この固着のために、例えばエポキシ接着剤といった接着部材 65 を使用することができる。図 13 の (a) 部は、図 13 の (b) 部に示された X I I I a - X I I I a 線に沿ってとられた断面を示す。

【0075】

これらの工程によって、ベンチ部品 13 のための区画の配列を備えるベンチ生産物 S P B N が準備される。図 13 の (b) 部は、工程 S111 における代表的な 1 つの区画を模式的に示す平面図である。ベンチ生産物 S P B N は、上記の処理が施されたシリコンウエハ 51 を支持体として備え、この支持体の主面上において素子区画毎に半導体光素子 19 及び光学部品 21 が設けられている。また、ベンチ生産物 S P B N は、気密封止のための構造を有している。

【0076】

引き続き説明においては、図 14 ~ 図 21 を参照しながら、キャップ 15 のためのキャップ生産物を準備する工程を説明する。図 14、図 16 及び図 19 は、図 2 に示された断面に対応する断面を示す図面である。引き続き説明から理解されるように、準備の一例として、キャップ生産物の作製を行う。

【0077】

工程 S201 では、図 14 の (a) 部に示されるように、単結晶半導体基板としてシリコンウエハ 71 を準備する。基板厚さは例えば $725\text{ }\mu\text{m}$ であることができる。シリコンウエハ 71 は第 1 面 71 a 及び第 2 面 71 b を有しており、シリコンウエハ 71 の第 1 面 71 a 及び第 2 面 71 b は、互いに平行であることが好ましい。本実施例では、第 1 面 71 a 及び第 2 面 71 b の各々は、例えば (001) 面を備えるが、これに限定されない。この面方位の選択は、角度 A C P に関連している。第 1 面 71 a 及び第 2 面 71 b の各々が例えば (001) 面を備えるとき、第 1 面 71 a 及び第 2 面 71 b の各々におけるオフ角は、シリコン結晶の (001) 面から $-1\text{ 度} \sim +1\text{ 度}$ の範囲にあることができる。第 1 面 71 a は第 2 面 71 b の反対側に位置する。シリコンウエハ 71 は、複数の区画（単一のキャップのキャップベース 23 を作製するための区画）の配列を有する程度のサイズ（例えば、6 インチ）を有している。区画の配列における各区画において、単結晶半導体基板としてシリコンウエハ 71 は、区画毎に、第 1 領域 71 c、第 2 領域 71 d、第 3 領域 71 e、第 4 領域 71 f 及び第 5 領域 71 g を有する。第 1 領域 71 c、第 2 領域 71 d、第 3 領域 71 e、第 4 領域 71 f 及び第 5 領域 71 g は、第 1 基準面 R E 1 F に沿って配列される。第 1 領域 71 c、第 2 領域 71 d、第 3 領域 71 e、第 4 領域 71 f 及び第 5 領域 71 g は、第 1 軸 A x 1 の方向に順に配列している。シリコンウエハ 71 の第 1 面 71 a 及び第 2 面 71 b 上に、それぞれ、第 3 絶縁膜 73 及び第 4 絶縁膜 75 を形成する。第 3 絶縁膜 73 及び第 4 絶縁膜 75 の各々は、例えばシリコン酸化膜を備えることができる。

【0078】

シリコンウエハ 71 の第 1 面 71 a に第 1 内側開口及び第 2 内側開口を形成すると共に、シリコンウエハ 71 の第 2 面 71 b に外側開口を形成する。本実施例では、第 1 内側開

10

20

30

40

50

口及び第2内側開口を形成した後に、外側開口を形成するけれども、外側開口を形成した後に、第1内側開口及び第2内側開口を形成することができる。

【0079】

工程S202では、キャップ15のキャビティ25のための第1内側開口の配列及び第1ウイング16及び第2ウイング18のための第2内側開口の配列をシリコンウエハ71の第1面71a上に形成するプロセスを行う。図14の(b)部に示されるように、フォトリソグラフィを用いて、第3絶縁膜73から第1マスク77を第1面71a上に形成する。図15は、シリコンウエハ71の第1面71a上の第1マスク77を示す平面図である。第1マスク77は、キャビティ25を提供できる第1内側開口のための第1開口パターン77aと、ウイング(図1に示された第1ウイング16及び第2ウイング18)を提供する第2内側開口のための第2開口パターン77b、77cとを有する。引き続き説明は、第2開口パターン77bを参照しながら行われる。図15において、第1開口パターン77aの内側に描かれた破線及び第2開口パターン77b、77cの内側に描かれた破線は、それぞれ、形成されるべき第1内側開口及び第2内側開口を示しており、第1開口パターン77aは、 $\langle 110 \rangle$ 軸及び $\langle 11-0 \rangle$ 軸のいずれか一方向に延在すると共に区画毎に設けられたストライプ形状を有しており、具体的には、第1開口パターン77aの形状は、区画毎に設けられた矩形であることができる。第1開口パターン77aの第1長さLG1及び第1幅WD1は、キャビティ25の長さに関連している。また、第2開口パターン77bは、 $\langle 110 \rangle$ 軸及び $\langle 11-0 \rangle$ 軸のいずれか一方向に延在すると共に区画の境界に設けられたストライプ形状を有しており、具体的には、第2開口パターン77bの形状は、区画に跨って設けられた矩形であることができる。第2開口パターン77bは、ウイング(第1ウイング16及び第2ウイング18)上に設けられるパッド電極(第1パッド電極24p及び第2パッド電極24q)に十分な幅を提供するための大きさの第2幅WD2を有する。本実施例では、第1開口パターン77aは、例えばシリコン結晶の $\langle 110 \rangle$ 軸方向の一对の辺及び $\langle 11-0 \rangle$ 軸方向の一对の辺を含み区画毎に設けられた長方形であり、第2開口パターン77bは、例えばシリコン結晶の $\langle 110 \rangle$ 軸方向の一对の辺及び $\langle 11-0 \rangle$ 軸方向の一对の辺を含み区画の境界上に設けられた長方形である。第1開口パターン77a及び第2開口パターン77bは、第3軸Ax3方向に配列されることができる。

【0080】

図15では、第1開口パターン77aは、シリコンウエハ71の各区画における第2領域71d、第3領域71e、及び第4領域71fに設けられ、第2開口パターン77bは、第4領域71f及び第5領域71gに設けられる。第2開口パターン77bは、第3領域71e及び第4領域71fに設けられる。第2開口パターン77b、第1開口パターン77a及び第2開口パターン77cは、この順に第3軸Ax3方向に配列されることができる。

【0081】

第1マスク77及びエッチャントのKOH溶液を用いて、第1マスク77の第1開口パターン77a及び第2開口パターン77b、77cに露出されたシリコン単結晶をエッチングして、図14の(c)部及び(d)部に示されるように、第1内側開口79及び第2内側開口83、84を形成する。キャップ15のキャビティ25のための第1内側開口79は、シリコンウエハ71の区画における第2領域71d、第3領域71e、及び第4領域71fに第1配列軸Ar1に沿って延在する。第1ウイング16及び第2ウイング18のための第2内側開口83、84は、シリコンウエハ71の区画における第4領域71f及び第5領域71gに第2配列軸Ar2に沿って延在する。第1配列軸Ar1及び第2配列軸Ar2は、各区画において第1軸Ax1に交差する方向に第1基準面R1に沿って配列する。引き続き説明は、第1内側開口79及び第2内側開口83を参照しながら行われる。第1内側開口79は、底面79a、一側面79b及び後内面79cを有する。底面79aは、第1基準面RE1Fの方向に沿って延在する。第1基準面RE1Fに沿って、第1領域71c、第2領域71d、第3領域71e、第4領域71f及び第5領域71gが

順に配置される。第1内側開口79の底面79aは、第3領域71eに設けられる。底面79aは、第3領域71e及び第4領域71fに設けられてもよい。後内面79cは、第4領域71fに設けられ、第5領域71gに設けられていない。第1内側開口79の一側面79bは、第2領域71dに設けられている。第1内側開口79の一側面79bは、第1基準面RE1Fに対して鋭角ACUT1を成す第1基準面RE1Fに沿って延在し、第1内側開口79の後内面79cは、第1基準面RE1Fに対して鋭角ACUT2を成す第2基準面RE2Fに沿って延在して、この結果、第1内側開口79は台形の縦断面を有する。第1内側開口79は、キャップの側壁の内面になるべき第1側面79d及び第2側面79eを含む。第1側面79dは一側面79bの一縁を後内面79cの一縁に繋ぎ、第2側面79eは一側面79bの他縁を後内面79cの他縁に繋ぐ。また、第2内側開口83の一側面83b（図1に示される第1ウイング16の後端部16cの後端面16p、第2ウイング18の後端部18cの後端面18p）は、第4領域71fに設けられ、底面83aは、第5領域71gに設けられる。底面83aは、第4領域71f及び第5領域71gに設けられてもよい。後内面83cは、第5領域71gに設けられる。第2内側開口83の一側面83bは、第1基準面RE1Fに対して鋭角ACUT3を成す第1基準面RE1Fに沿って延在すると共に、後内面83cは、第1基準面RE1Fに対して鋭角ACUT2を成す第2基準面RE2Fに沿って延在する。この結果、第2内側開口83は、台形の縦断面を有する。第2内側開口83は、第3側面83d及び第4側面83eを含む。第3側面83dは一側面83bの一縁を後内面83cの一縁に繋ぎ、第4側面83eは一側面83bの他縁を後内面83cの他縁に繋ぐ。第1内側開口79と第2内側開口83との間に位置する領域には、第1側壁15dのための第1壁が設けられ、第1内側開口79と第2内側開口84との間に位置する領域には、第2側壁15eのための第2壁が設けられる。

【0082】

具体的には、第1内側開口79の底面79aは、シリコンの(001)面を備え、一側面79b及び後内面79cは、例えばシリコンの(111)面を備えており、第1側面79d及び第2側面79eは、例えばシリコンの(111)面を備える。第1内側開口79の第1深さD1（例えば底面79aと第1面71aとの距離）は、例えば650μmであり、500~700μmであることができる。第2内側開口83の第2深さD2（例えば底面83aと第1面71aとの距離）は、第1深さD1と実質的に同じ深さであることができる。また、第2内側開口83の底面83aは、シリコンの(001)面を備え、一側面83b及び後内面83cは、例えばシリコンの(111)面を備え、第3側面83d及び第4側面83eは、例えばシリコンの(111)面を備える。第1内側開口79及び第2内側開口83、84を形成した後に、第1マスク77及び第4絶縁膜75を除去する。

【0083】

工程S203では、キャップ15の前壁のための外側開口の配列を単結晶半導体基板の各区画における第1領域71c及び第2領域71dの第2面71bに形成する。図16の(a)部に示されるように、シリコンウエハ71の第1面71a及び第2面71b上に、それぞれ、第5絶縁膜87及び第6絶縁膜89を成長する。第5絶縁膜87及び第6絶縁膜89の各々は、例えばシリコン酸化膜を備えることができる。図16の(b)部に示されるように、フォトリソグラフィを用いて、第6絶縁膜89から第2マスク91を第2面71b上に形成する。第2マスク91は、キャップ15の前壁15bの外面を規定する外側開口のための第3開口パターン91aを有する。図17は、シリコンウエハ71の第2面71b上の第2マスク91を示す平面図である。図17において、第3開口パターン91aの内側に描かれた破線は、形成されるべき外側開口を示している。第3開口パターン91aの形状は、区画を横切って<110>軸及び<11-0>軸のいずれか他方向（図15の第1開口パターン77aの配列と同じ方向）に延在するストライプ形状であることができ、或いは、<110>軸及び<11-0>軸のいずれか他方向（図15の第1開口パターン77aの配列と同じ方向）に延在する矩形状を有していてもよい。本実施例では、第3開口パターン91aが、光モジュール11の光出射及び／又は光入射に用いる前壁

15bを形成する溝のために設けられ、また、区画を横断するように延在する。第2マスク91を用いたウエットエッチングを行う。図16の(c)部に示されるように、KOH溶液のエッチャントを用いて、第2マスク91の第3開口パターン91aに露出されたシリコン単結晶をエッチングして、外側開口93を形成する。外側開口93は、底面93a、一側面93b及び他側面93cを有する。底面93aは、第1基準面RE1Fの延在方向に延在する。外側開口93の底面93aは第1領域71cに設けられ、外側開口93の一側面93bは第2領域71dに設けられ、外側開口93の他側面93cは第1領域71cに設けられる。外側開口93の一側面93bは、第1基準面RE1Fに対して鋭角ACUT12を成す第12基準面RE12Fに沿って延在し、外側開口93の他側面93cは、第1基準面RE1Fに対して鋭角ACUT22を成す第22基準面RE22Fに沿って延在する。外側開口93の一側面93b及び他側面93cは、例えばシリコンの(111)面を備えており、底面93aは、シリコンの(001)面を備える。外側開口93を形成した後に、第2マスク91及び第5絶縁膜87を除去する。外側開口93の第3深さD3(例えば底面93aと第2面71bとの距離)は、第2面71bを基準して例えば675 μm であり、600~700 μm であることができる。

【0084】

図18は、絶縁膜を除去したシリコンウエハ71の第1面71aを示す平面図である。第1内側開口79の一側面79b及び外側開口93の一側面93bが、第2領域71dに形成されて、前壁15bのための隔壁を形成する。一側面79bと一側面93bとの間隔は、この製造方法によって作製されるキャップ15の前壁15b(図2における厚さTH)の厚さに関連しており、この厚さは光軸のシフト量(図2のシフト量SHF)を規定している。これ故にシフト量SHFは、第1内側開口79及び外側開口93の配置に応じて変更可能である。前壁15bの厚さTHは、例えば100 μm 程度であることができる。厚さTHは、例えばシリコンの(111)に直交する方向に規定される。

【0085】

工程S204では、第1内側開口79、第2内側開口83、84及び外側開口93を形成した後に、図19に示されるように、シリコンウエハ71の第1面71a及び第2面71b上に、それぞれ、第7絶縁膜95a及び第8絶縁膜95bを成長する。第7絶縁膜95a及び第8絶縁膜95bは、反射防止膜として利用可能な絶縁膜、例えばシリコン酸窒化膜(SiON)を備えることができる。具体的には、反射防止膜ARINは、第1内側開口79の一側面79b上に設けられ、また反射防止膜AROTは、外側開口93の一側面93b上に設けられる。

【0086】

これらの絶縁膜を形成した後に、工程S205では、図20に示されるように、第1パッド電極24p及び第1導電体26pのための第1配線金属層85pと第2パッド電極24q及び第2導電体26qのための第2配線金属層85qとを形成する。第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qは、例えば金を備える。具体的には、第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qをリフトオフ法により形成する。リフトオフのためのパターンを有する犠牲膜を形成した後に、金属を蒸着法により成長する。犠牲膜はレジスト膜であることができ、金属膜は、例えばTi/Pt/Au(100nm/200nm/500nm)を備える。金属膜を堆積した後に犠牲膜の剥離液にシリコンウエハ71を浸漬して、金属膜のリフトオフを行う。これによって、パターン形成された金属膜、本実施例では第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qが区画毎に形成される。本実施例では、第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qは、第4領域71fの第1面71a、第2内側開口83の一側面83b、第3側面83d、及び第4側面83e上に形成される。第1配線金属層85pは、一側面83bから第4領域71fの第3側面83d上を延在して第1面71aに到達し、第1面71a上において終端する。第2配線金属層85qは、一側面83bから第4領域71fの第4側面83e上を延在して第1面71aに到達し、第1面71a上において終端する。第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qは、それぞれ、第4領域71fの第1面71a上では電氣的な接続用の第1導電体26p及

び第2導電体26qのための導電体を提供し、第2内側開口83の一側面83b上では第1パッド電極24p及び第2パッド電極24qのための導電体を提供し、必要な場合には、第2内側開口83の第3側面83d及び第4側面83e上に設けられるべき導電体を提供する。

【0087】

工程S206では、図21に示されるように、封止部材を形成する。封止部材としては、金属材、有機樹脂材等を使用することが可能である。本実施例では、金属材を備える封止及び接合のための部材を形成する。具体的には、気密封止及び接合のための上側金属層45をリフトオフ法では、リフトオフのためのパターンを有する犠牲膜を形成した後に、金属膜を蒸着法により成長する。犠牲膜はレジスト膜であることができ、金属膜は、例えばTi/Pt/Au/SuAg(100nm/200nm/50nm/2000nm)を備える。金属膜を堆積した後に犠牲膜の剥離液にシリコンウエハ71を浸漬して、金属膜のリフトオフを行う。これによって、パターン形成された金属膜、本実施例では、上側金属層45が区画毎に形成される。封止のために、上側金属層45の形状、位置及びサイズは、それぞれ、下側金属層39の形状、位置及びサイズに対応している。本実施例では、上側金属層45は、キャビティ25のための第1内側開口79を囲うように形成される。また、上側金属層45は、接合のために、第4領域71fの第1面71a上の第1配線金属層85p及び第2配線金属層85q上に設けられる。

【0088】

これらの工程によって、キャップ15のための区画の配列を備えるキャップ生産物SPCPが完成する。上記の処理を施した単結晶半導体基板をベンチ生産物と組み立てて、組立体が作製される。

【0089】

図21は、第1配線金属層85p、第2配線金属層85q及び上側金属層45を形成したシリコンウエハ71の第1面71aを示す図面である。図21においては、第1面71a上の第1内側開口79が実線で描かれており、第2面71b上の外側開口93が破線で描かれている。第1内側開口79の一側面79b及び外側開口93の一側面93bは同じ方向に延在しており、好適な実施例では、一側面79b及び一側面93bは実質的に平行であり、例えば(111)面を有する。

【0090】

引き続き、ベンチ生産物SPBN及びキャップ生産物SPCPから光モジュールを作製する工程を具体的に説明する。図22は、ベンチ生産物SPBN及びキャップ生産物SPCPを接合する工程を模式的に示す図面である。図22の(a)部は図22の(b)部のXXIIa-XXIIa線に沿ってとられた断面を示す。図22の(a)部及び(b)部に示されるように、工程S301では、半導体光素子19及び光学部品21の配列の軸に対して、キャップ生産物SPCPの第1内側開口79の一側面79bの位置合わせを行って、ベンチ生産物SPBN及びキャップ生産物SPCPの一方を他方の上に配置して、熱処理によって封止を行う。これによって、ベンチ生産物SPBN及びキャップ生産物SPCPから組立体ASMが作製される。上記の配置において、下側金属層39及び上側金属層45を互いに位置合わせする。熱処理によって下側金属層39及び上側金属層45が接合されて、封止されたキャビティ25が区画毎に形成される。また、電極31a、31bと第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qとの接合が形成されて、これによって、キャップ15とベンチ部品13との間の電氣的接続が完成する。気密封止と電気接続との両方が実現される。キャップ生産物SPCPの第1内側開口79によるキャビティ25は、ベンチ生産物SPBNの半導体光素子19、レンズ21a及び光アイソレータ21bを収容する。

【0091】

組立体ASMを切断して、光モジュールを形成する。図23は、組立体ASMのキャップ生産物SPCPの上面を示す図面である。キャップ生産物SPCPの上面には、外側開口93が現れている。図23は、組立体ASMにおいて第1方向に延在する第11切断線

C 1 1 T 及び第 1 2 切断線 C 1 2 T と、第 1 方向に直交する第 2 方向に延在する第 2 1 切断線 C 2 1 T、第 2 2 切断線 C 2 2 T、第 2 3 切断線 C 2 3 T 及び第 2 4 切断線 C 2 4 T とを示す。例えば、第 1 1 切断線 C 1 1 T 及び第 1 2 切断線 C 1 2 T による切断を行った後に、第 2 1 切断線 C 2 1 T、第 2 2 切断線 C 2 2 T、第 2 3 切断線 C 2 3 T 及び第 2 4 切断線 C 2 4 T による切断を行って、光モジュールを作製できる。これらの切断の順序を逆順に行っても、光モジュールを作製できる。

【0092】

例えば、工程 S 3 0 2 では、第 1 1 切断線 C 1 1 T 及び第 1 2 切断線 C 1 2 T によって示される第 1 方向に組立体 A S M（キャップ生産物 S P C P とベンチ生産物 S P B N の両方）を切断する。この切断は、例えばダイサーといった切断装置 9 7 を用いて行われる。第 1 1 切断線 C 1 1 T は、外側開口 9 3 の一側面 9 3 b を残すように規定される。第 1 1 切断線 C 1 1 T の切断によって、光モジュール 1 1 のための前壁 1 5 b 及び前壁 1 5 b の先端 T I P が形成され、外側開口 9 3 の底面 9 3 a は消失する。第 1 2 切断線 C 1 2 T は、光モジュール 1 1 の後壁 1 5 c を形成するように規定される。第 1 2 切断線 C 1 2 T の切断によって、光モジュール 1 1 のための後壁 1 5 c が形成される。これらの切断によって、光モジュール部品の一形態として例示される光モジュールバーが形成される。光モジュールバーが一方向に配列された多数の光モジュールの配列を備える。本実施例では、組立体 A S M（キャップ生産物 S P C P とベンチ生産物 S P B N の両方）を一緒に切断して、ベンチ部品 1 3 の後縁 2 7 e がキャップ 1 5 の後壁 1 5 c の後端の位置と同じになっている。

【0093】

次いで、工程 S 3 0 3 では、第 2 3 切断線 C 2 3 T 及び第 2 4 切断線 C 2 4 T によって示される第 2 方向に光モジュールバーのキャップ生産物 S P C P を切断し、第 2 1 切断線 C 2 1 T 及び第 2 2 切断線 C 2 2 T によって示される第 2 方向に光モジュールバーのベンチ生産物 S P B N を切断する。これらの切断は、例えばダイサーといった切断装置 9 7 を用いて行われる。これらの切断によって、組立体 A S M から光モジュールが作製され、また、これらの切断の順序を逆順に行って、組立体 A S M から光モジュールを作製することができる。図 2 4 は、これらの工程によって作成された光モジュールの外観を示す図面である。図 2 4 の（a）部は、光モジュールバーの切断により作製された光モジュールの正面図を示す。図 2 4 の（b）部は、光モジュールバーの切断により作製された光モジュールの前面を示している。図 2 4 の（c）部は、光モジュールバーの切断により作製された光モジュールの背面を示している。本実施例の切断工程では、組立体 A S M の第 2 内側開口 8 3 内及び第 2 内側開口 8 4 内に位置する第 2 3 切断線 C 2 3 T 及び第 2 4 切断線 C 2 4 T に沿ってキャップ生産物 S P C P の表面から組立体 A S M のキャップ生産物 S P C P を切断し、組立体 A S M の第 1 内側開口 7 9 の外側に位置する第 2 1 切断線 C 2 1 T 及び第 2 2 切断線 C 2 2 T に沿って組立体 A S M のベンチ生産物 S P B N を切断する。本実施例の切断工程では、ベンチ生産物 S P B N のための第 2 1 切断線 C 2 1 T と第 2 2 切断線 C 2 2 T との間隔は、キャップ 1 5 のための第 2 3 切断線 C 2 3 T と第 2 4 切断線 C 2 4 T との間隔よりも小さくすることができる。

【0094】

光モジュール 1 1 を作製する方法によれば、単結晶半導体基板の一例としてシリコンウエハ 7 1 の第 3 領域 7 1 e 及び第 4 領域 7 1 f に位置する底面 7 9 a を有するキャビティ用の第 1 内側開口 7 9、及びシリコンウエハの第 4 領域 7 1 f に位置する一側面 8 3 b を有する第 1 ウイング 1 6 及び第 2 ウイング 1 8 用の第 2 内側開口 8 3 及び 8 4 を第 1 面 7 1 a にエッチングにより形成すると共に、シリコンウエハ 7 1 の第 1 領域 7 1 c に底面 9 3 a を有する前壁 1 5 b 用の外側開口 9 3 を第 2 面 7 1 b にエッチングにより形成する。第 1 マスク 7 7 の第 1 開口パターン 7 7 a 及び第 2 マスク 9 1 の第 3 開口パターン 9 1 a の各々は、シリコンウエハ 7 1 の第 2 領域 7 1 d に外側開口 9 3 の一側面 9 3 b 及び第 1 内側開口 7 9 の一側面 7 9 b が位置するようにパターン形成される。第 1 マスク 7 7 の第 1 開口パターン 7 7 a は、第 3 領域 7 1 e に位置し、第 1 マスク 7 7 の第 2 開口パターン

77bは、第4領域71f及び第5領域71gに位置する。上記のエッチングによる形成により、キャップ15の前壁15b、後壁15c及びキャビティ25のための第1内側開口79、第2内側開口83、84及び外側開口93を形成できる。第1内側開口79の一側面79b、外側開口93の一側面93b及び第2内側開口83の一側面83bは、それぞれ、第11基準面RE11F、第12基準面RE12F及び第13基準面RE13Fに沿って延在しており、第11基準面RE11F、第12基準面RE12F及び第13基準面RE13Fは第1基準面RE1Fに対して、それぞれ、鋭角ACUT11、鋭角ACUT12及び鋭角ACUT13を成す。単結晶半導体基板の第4領域71f上に、第1パッド電極24p及び第2パッド電極24qと第1導電体26p及び第2導電体26qとのための第1配線金属層85p及び第2配線金属層85qを形成するので、結果として得られる光モジュール11は、第1ウイング16と第2ウイング18上とに、それぞれ、第1パッド電極24p及び第1導電体26pと、第2パッド電極24q及び第2導電体26qとを有する。この作製方法では、ベンチ生産物SPBN上の電極（ベンチ部品の電極）を利用するのではなくシリコンウエハ71上の配線金属層（第1配線金属層85p及び第2配線金属層85q）を介して外部デバイスに電氣的に接続可能な光モジュール11を作製できる。当該光モジュール11は、光モジュール11の実装において当該光モジュールの光結合の向きに関連して制約を緩めることができる。

10

【0095】

また、この作製方法によれば、シリコンウエハ71の第1領域71cに位置する底面93aを有する分離用の外側開口93を第2面71bに形成すると共に、シリコンウエハ71の第3領域71eに位置する底面79aを有するキャビティ用の第1内側開口79を第1面71aに形成する。シリコンウエハ71の第2領域71dには、外側開口93の一側面93b及び第1内側開口79の一側面79bが位置する。第1内側開口79の一側面79b及び外側開口93の一側面93bは、それぞれ、第11基準面RE11F及び第12基準面RE12Fに沿って延在しており、第11基準面RE11F及び第12基準面RE12Fは、第1基準面RE1Fに対して、それぞれ、鋭角ACUT11及び鋭角ACUT12を成す。一側面79b及び一側面93bを通過する光は、一側面79b及び一側面93bの各々において屈折して、シリコンウエハ71の第1面71aから第2面71bへの方向に関して、外側開口93の底面93aを基準にして外側開口93の一側面93bと光軸との交差位置の高さを第1内側開口79の一側面79bと光軸との交差位置の高さより高くできる。この高さの差異により、キャップ15の前壁15bの外表面と光軸との交差位置を外側開口93の底面93aの法線方向に関して外側開口93の一側面93bの端から離すことができ、キャップ15の製造において外側開口93の底面93aにおいて分離するに際して、分離端（先端TIP）に光学的な不均一が形成される可能性があるけれども、この不均一な形状から、外側開口93の一側面93bと光軸との交差位置を離すことができる。以上説明した本実施形態によれば、基板裏面ではなく側面に光学的に結合可能な光モジュールを作製する方法が提供される。

20

30

【0096】

（実施例）

以上説明した本実施形態に係る方法により、半導体光素子19として働くレーザダイオードを備えるLDモジュールを作製する。LDモジュールの縦、横及び高さは、例えば数mm程度のサイズである。LDモジュールでは、図2に示されるように、レーザダイオードから出射されたレーザ光は、レンズで集光される。集光された光は、キャップの前壁のSi(111)面に対して垂直に入射するものでなく、具体的には(111)面に対して垂直ではない角度（例えば54.7度）で入射する。この入射角は、シリコンベースの主面の面方位及び(111)面の方向関係で決まる。シリコン半導体の屈折率（約3.4）は空気の屈折率（約1）より大きいので、レーザ光は、前壁のシリコン半導体に入射する際に入射方向に対して屈折されて、キャップ前壁のシリコン半導体内では入射位置に対してLDモジュールのベンチからキャップ前壁への方向に向きを変える。さらに、キャップ前壁のシリコン半導体から出射するときには、入射位置より高い出射位置に光軸を移して、

40

50

入射光の伝搬方向に平行に伝搬していく。光を入射させる構造を作製できるので、当該製造方法におけるダイシングにより作製された前壁の先端による影響（光散乱による影響）を低減できる。LD光モジュールの製造では、キャップ生産物SPCPをダイシングにより分離するけれども、レーザ光がシリコンキャップの前壁を通過する際の光伝搬経路が、上述のように、当該ダイシングにより作製された前壁の先端から離れるように変化する。

【0097】

LDモジュールは、(111)面の内面及び外面を有するキャップ前壁を外部デバイスによって支持されると共に、レーザダイオードは、ベンチ上の電極を介してキャップ上の電極に接続される。好ましくは、ベンチ上の電極を介してレーザダイオードがキャップ上の電極に接続される形態では、レーザダイオードは(111)面の内面及び外面を有するキャップ前壁を介して外部デバイスに光学的に結合される。

10

【0098】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

【産業上の利用可能性】

【0099】

以上説明したように、本実施形態によれば、光モジュールの実装において該光モジュールの光結合の向きに関連して受ける制約を緩めることができる光モジュールを提供でき、またこの光モジュールを含む光学装置を提供できる。本実施形態は、光モジュールを作製する方法を提供できる。

20

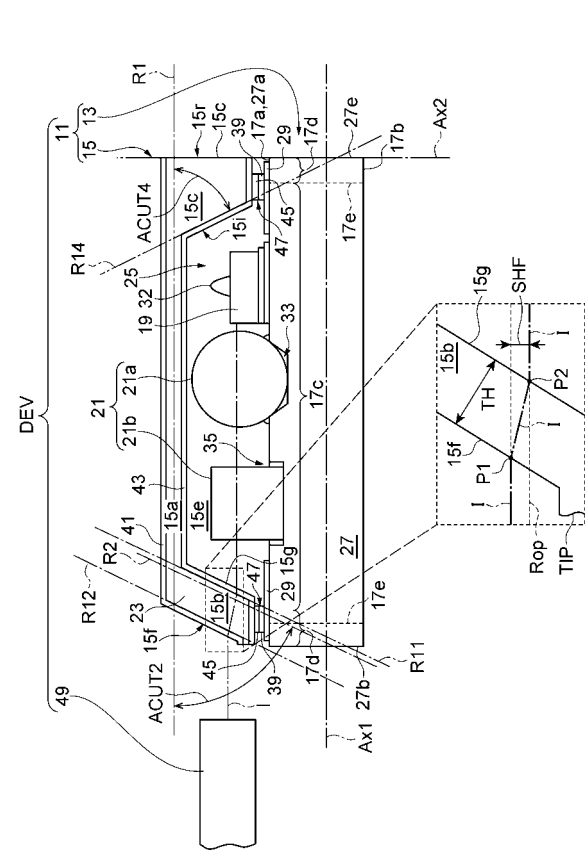
【符号の説明】

【0100】

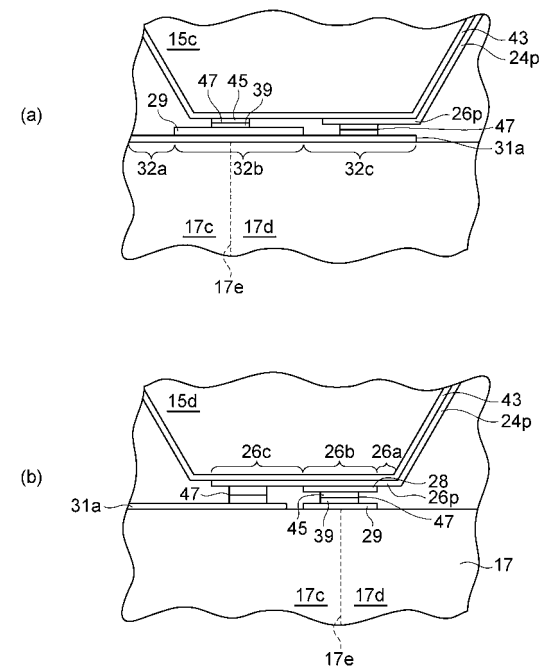
11…光モジュール、13…ベンチ部品、15…キャップ、15a…天井、15b…前壁、15c…後壁、15d…第1側壁、15e…第2側壁、16…第1ウイング、17…ベンチ、17c…第1エリア、17d…第2エリア、18…第2ウイング、19…半導体光素子、21…光学部品、21a…レンズ、21b…光アイソレータ、23…キャップベース、24p…第1パッド電極、24q…第2パッド電極、25…キャビティ、26p…第1導電体、26q…第2導電体、31a…電極、31b…電極、71c…第1領域、71d…第2領域、71e…第3領域、71f…第4領域、71g…第5領域、77…第1マスク、77a…第1開口パターン、77b…第2開口パターン、79…第1内側開口、83…第2内側開口、91…第2マスク、91a…第3開口パターン、93…外側開口、Ax1…第1軸、R1…第1基準面、R2…第2基準面。

30

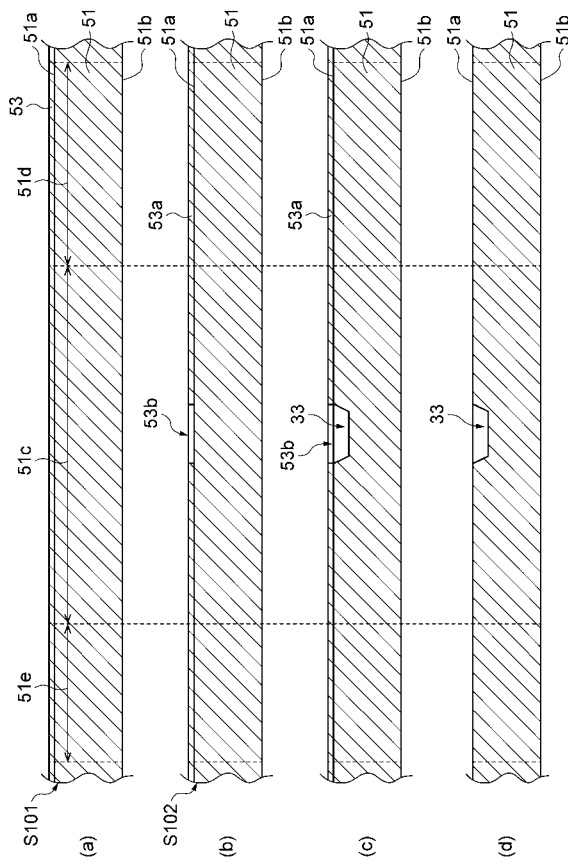
【図 2】



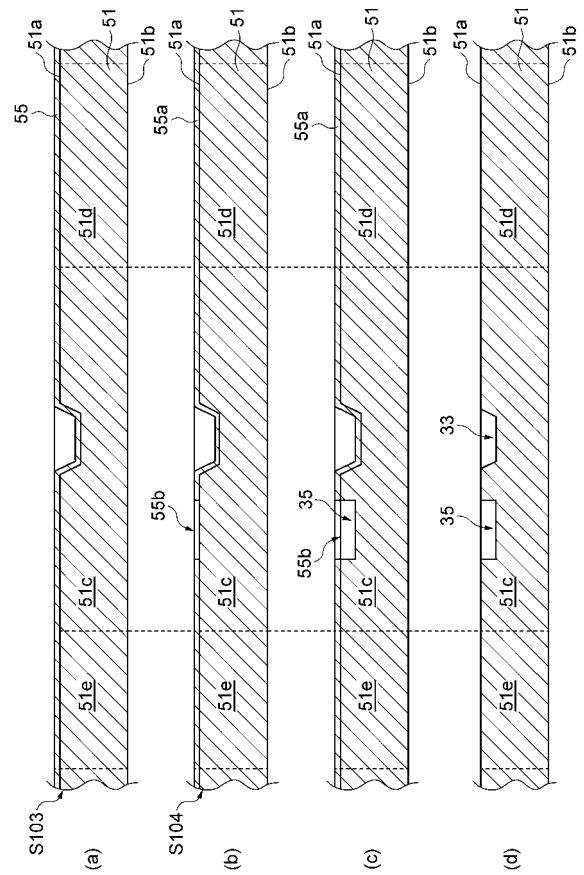
【図 4】



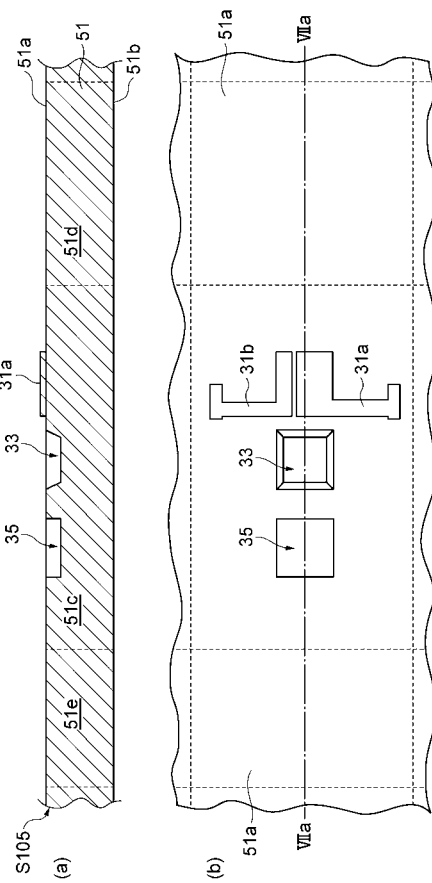
【図 5】



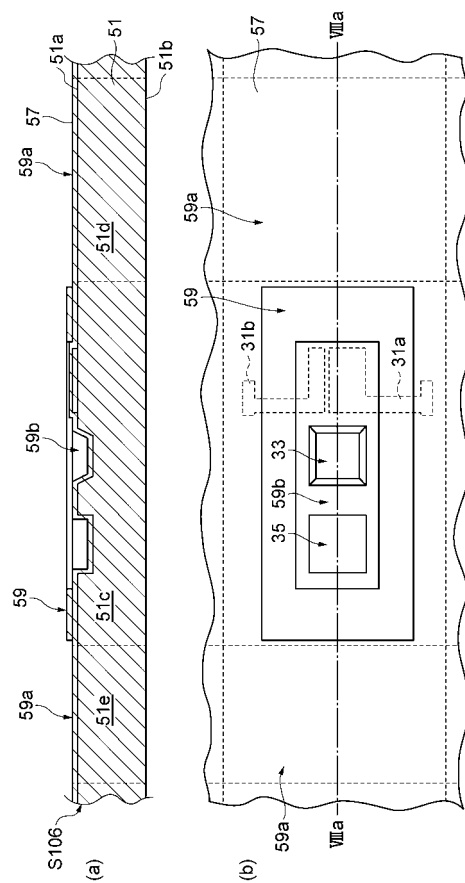
【図 6】



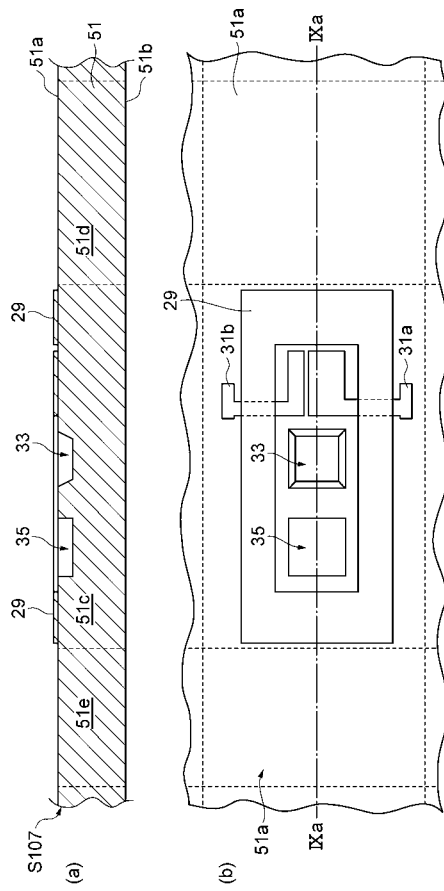
【図 7】



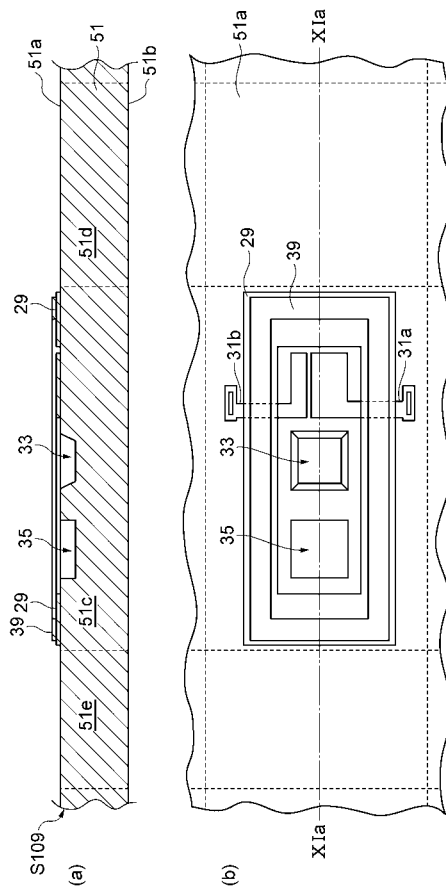
【図 8】



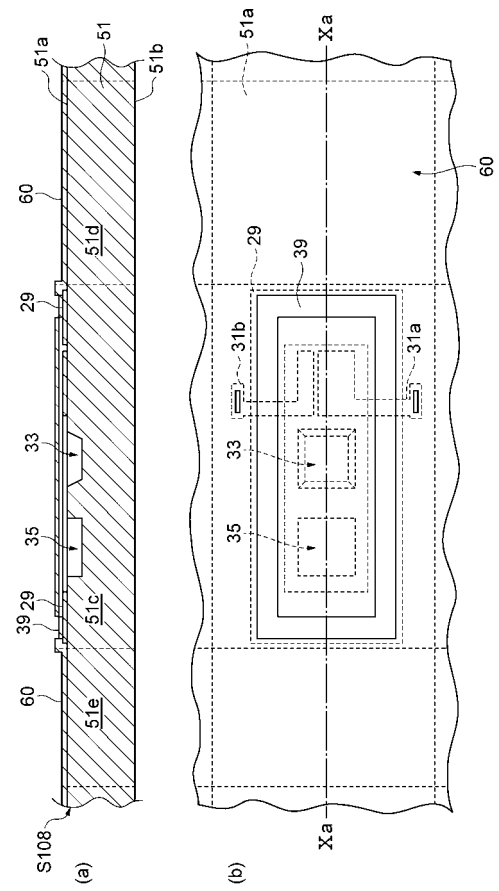
【図 9】



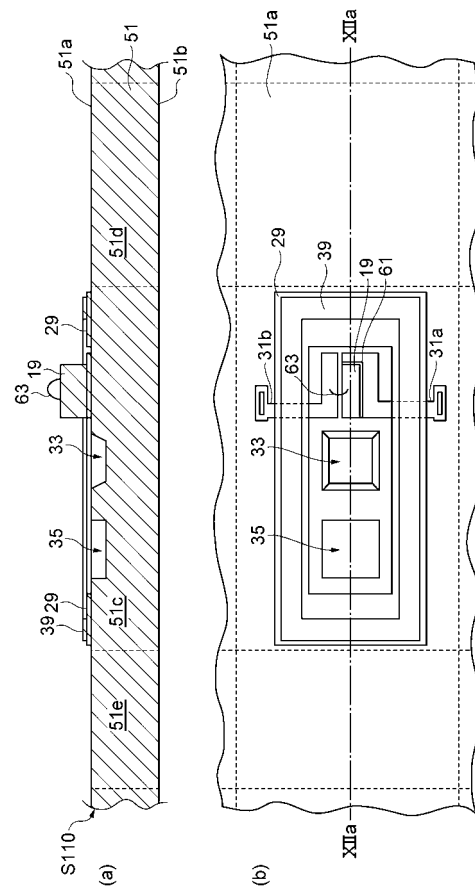
【図 11】



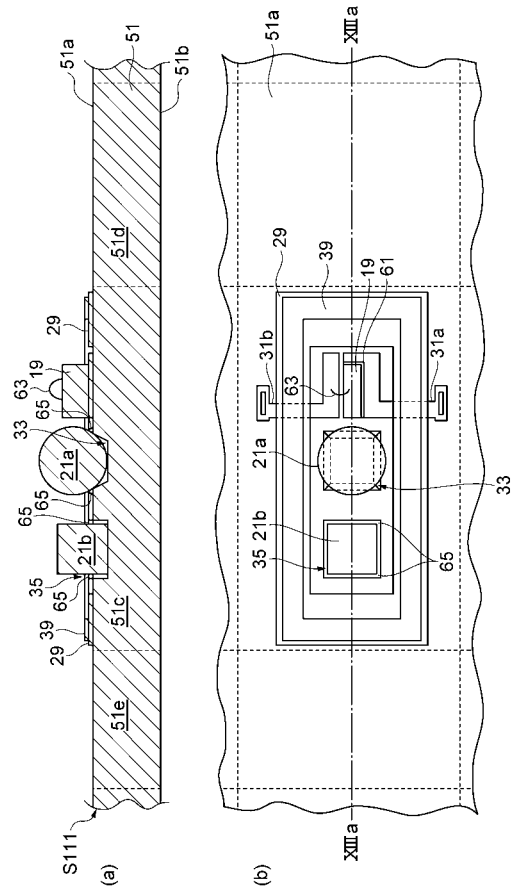
【図 10】



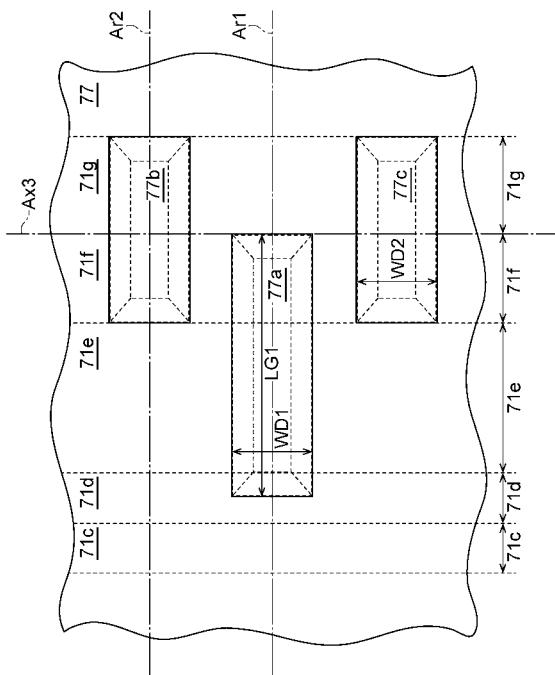
【図 12】



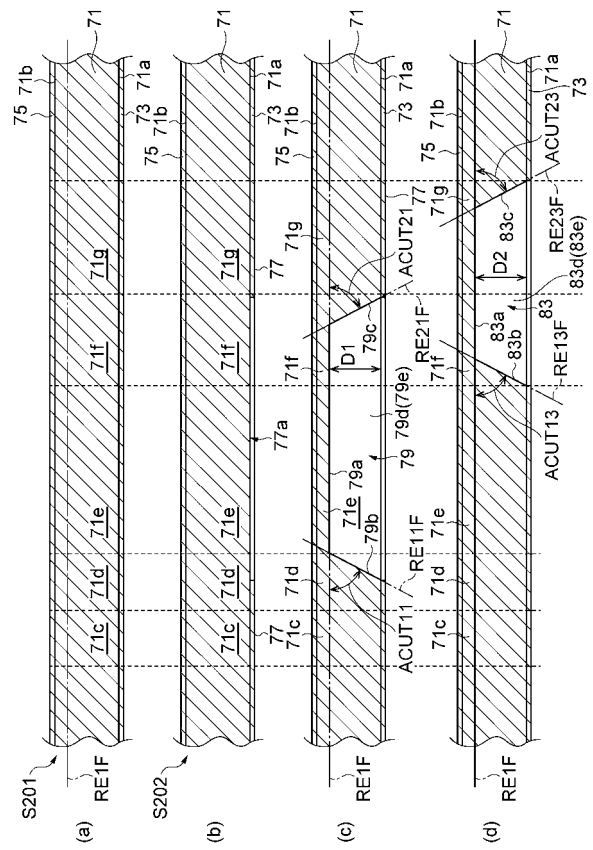
【 図 1 3 】



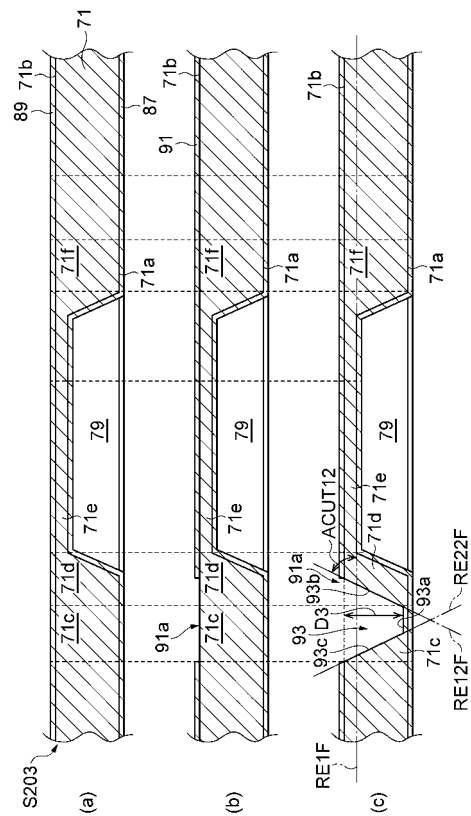
【 図 1 5 】



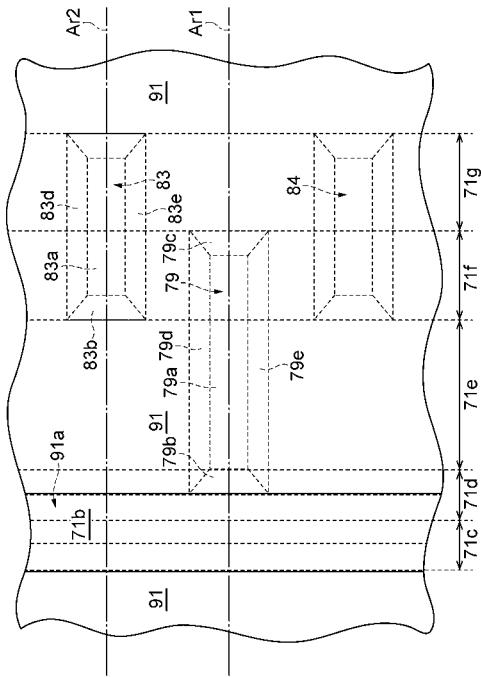
【 図 1 4 】



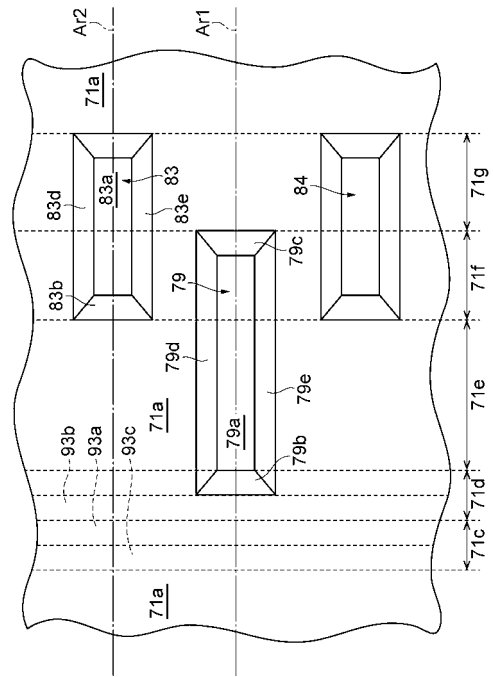
【 図 1 6 】



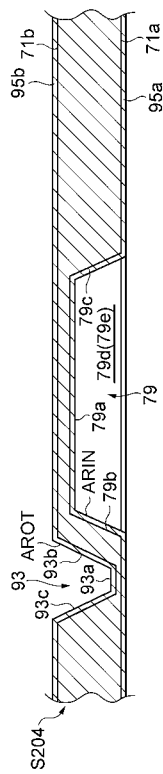
【図 17】



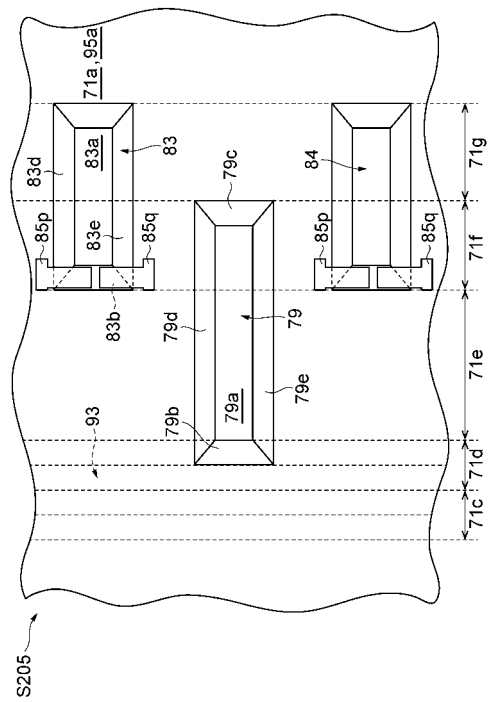
【 図 1 8 】



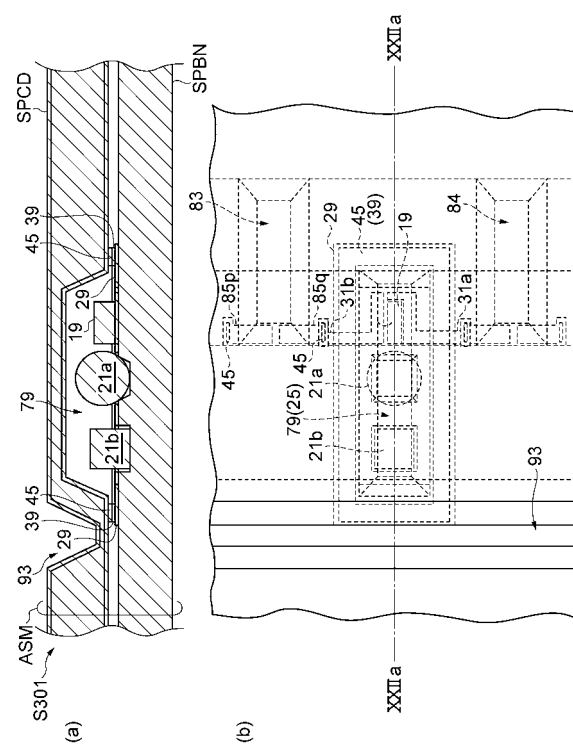
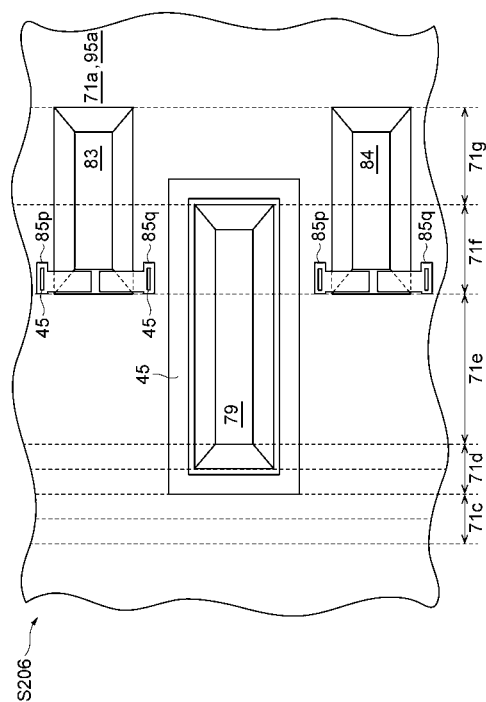
【図 19】



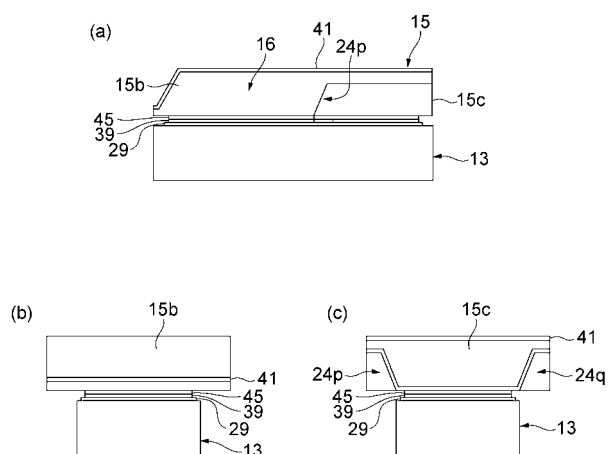
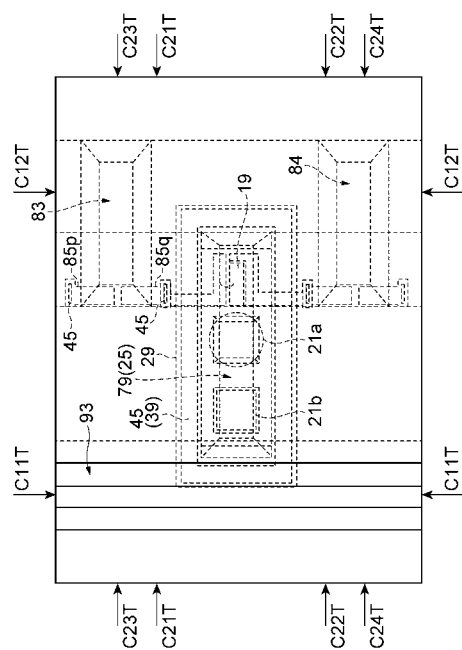
【図 20】



【図 2 2】



【図 24】



フロントページの続き

(72)発明者 古谷 章

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

Fターム(参考) 5F173 MB03 MC01 MC05 MC24 MD03 MD14 MD84 ME02 ME14 ME15
ME22 ME33 ME48 ME64 ME77 ME85 ME90 MF03 MF25 MF39
MF40
5F849 AA01 JA03 JA05 JA12 XB02