

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7153685号
(P7153685)

(45)発行日 令和4年10月14日(2022.10.14)

(24)登録日 令和4年10月5日(2022.10.5)

(51)国際特許分類 F I
G 0 2 B 26/00 (2006.01) G 0 2 B 26/00
B 8 1 B 3/00 (2006.01) B 8 1 B 3/00

請求項の数 11 (全28頁)

(21)出願番号	特願2020-70299(P2020-70299)	(73)特許権者	000236436 浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(22)出願日	令和2年4月9日(2020.4.9)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(62)分割の表示	特願2019-7834(P2019-7834)の分割	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
原出願日	平成30年7月6日(2018.7.6)	(74)代理人	100140442 弁理士 柴山 健一
(65)公開番号	特開2020-129116(P2020-129116 A)	(74)代理人	100177910 弁理士 木津 正晴
(43)公開日	令和2年8月27日(2020.8.27)	(72)発明者	鈴木 智史 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
審査請求日	令和3年6月8日(2021.6.8)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	特願2017-133089(P2017-133089)		
(32)優先日	平成29年7月6日(2017.7.6)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 光学デバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

主面を有するベースと、
可動部と、
前記ベースと前記可動部との間に接続され、前記可動部が前記主面と交差する所定方向に沿って移動可能となるように前記可動部を支持する複数の弾性支持部と、
前記可動部上に配置された光学機能部と、を備え、
前記ベース及び前記可動部は、第1半導体層、絶縁層及び第2半導体層を前記所定方向における一方の側からこの順に有する半導体基板によって構成されており、
前記ベースは、前記第1半導体層、前記絶縁層及び前記第2半導体層によって構成されており、
前記可動部は、前記第2半導体層によって構成された配置部を有し、
前記光学機能部は、前記配置部における前記一方の側の表面上に配置されており、
前記ベースを構成する前記第1半導体層は、前記ベースを構成する前記第2半導体層よりも厚く、
前記ベースにおける前記一方の側の表面は、前記光学機能部よりも前記一方の側に位置しており、
前記複数の弾性支持部の各々は、
レバーと、
前記レバーと前記ベースとの間に接続された第1振り支持部と、

10

20

前記レバーと前記可動部との間に接続された第 2 振り支持部と、を有する、光学デバイス。

【請求項 2】

前記可動部は、前記光学機能部の周辺に配置された梁部を更に有し、
前記梁部における前記一方の側の端面は、前記光学機能部よりも前記一方の側に位置している、請求項 1 に記載の光学デバイス。

【請求項 3】

前記梁部は、前記所定方向から見た場合に前記配置部の外縁に沿って延在するように、前記配置部における前記一方の側の前記表面上に配置されている、請求項 2 に記載の光学デバイス。

10

【請求項 4】

前記梁部を構成する前記第 1 半導体層は、前記ベースを構成する前記第 1 半導体層よりも薄い、請求項 2 又は 3 に記載の光学デバイス。

【請求項 5】

前記可動部は、前記所定方向から見た場合に前記配置部を囲む枠部と、前記配置部と前記枠部とを互いに連結する連結部と、を更に有する、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の光学デバイス。

【請求項 6】

前記枠部及び前記連結部は、前記第 2 半導体層によって構成されている、請求項 5 に記載の光学デバイス。

20

【請求項 7】

前記可動部は、前記光学機能部の周辺に配置された梁部と、前記所定方向から見た場合に前記配置部を囲む枠部と、前記配置部と前記枠部とを互いに連結する連結部と、を更に有し、

前記梁部は、前記所定方向から見た場合に前記枠部に沿って延在するように、前記枠部における前記一方の側の表面上に配置されている、請求項 1 に記載の光学デバイス。

【請求項 8】

前記ベースに設けられた電極パッドを更に備え、
前記電極パッドは、前記第 2 半導体層に至るように前記第 1 半導体層における前記一方の側の表面に形成された開口内において、前記第 2 半導体層における前記一方の側の表面上に配置されている、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の光学デバイス。

30

【請求項 9】

前記電極パッドは、前記開口の底面及び側面にわたって延在している、請求項 8 に記載の光学デバイス。

【請求項 10】

前記電極パッド及び前記光学機能部の各々は、金属層によって構成されており、
前記電極パッドを構成する金属層は、前記光学機能部を構成する金属層よりも厚い、請求項 8 又は 9 に記載の光学デバイス。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の光学デバイスと、
前記光学デバイスに対して前記所定方向における他方の側に配置された光学機能部材と、
前記光学機能部材に対して前記他方の側に配置された固定ミラーと、を備え、
前記光学機能部は、前記可動部と共に可動ミラーを構成するミラー面である、ミラーユニット。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、光学デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

50

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術によって SOI (Silicon On Insulator) 基板に干渉光学系が形成された光学デバイスが知られている (例えば、特許文献 1 参照)。このような光学デバイスは、高精度な光学配置が実現された FTIR (フーリエ変換型赤外分光分析器) を提供し得るため、注目されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特表 2012 - 524295 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

上述したような光学デバイスでは、干渉光学系を構成する可動ミラーが、SOI 基板の主面に沿って移動する。これに対し、可動ミラーのミラー面の大型化を図るために、可動ミラーが SOI 基板の主面に垂直な方向に沿って移動する構成を採用することが考えられる。しかし、単にそのような構成を採用しただけでは、ミラー面を十分に保護することができず、デバイスとしての信頼性が低下するおそれがある。

【0005】

本開示の一側面は、信頼性の高い光学デバイス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】

【0006】

20

本開示の一側面に係る光学デバイスは、主面を有するベースと、主面と交差する所定方向に沿って移動可能となるようにベースにおいて支持された可動部と、可動部に配置された光学機能部と、を備え、ベース及び可動部は、第 1 半導体層、絶縁層及び第 2 半導体層を所定方向における一方の側からこの順に有する半導体基板によって構成されており、ベースは、第 1 半導体層、絶縁層及び第 2 半導体層によって構成されており、可動部は、第 2 半導体層によって構成された配置部を有し、光学機能部は、配置部における一方の側の表面上に配置されており、ベースを構成する第 1 半導体層は、ベースを構成する第 2 半導体層よりも厚く、ベースにおける一方の側の表面は、光学機能部よりも一方の側に位置している。

【0007】

30

この光学デバイスでは、ベースにおける一方の側の表面が、光学機能部よりも一方の側に位置している。これにより、ベースによって光学機能部を保護することができ、例えば、運搬時等における直接的な接触によって光学機能部が損傷するのを抑制することができる。更に、この光学デバイスでは、ベースを構成する第 1 半導体層が、ベースを構成する第 2 半導体層よりも厚い。これにより、光学機能部に対するベースの突出量を確保することができ、ベースによって光学機能部を効果的に保護することができる。よって、この光学デバイスによれば、信頼性を高めることができる。

【0008】

可動部は、光学機能部の周辺に配置された梁部を更に有し、梁部は、第 2 半導体層上に配置された第 1 半導体層及び絶縁層によって構成されており、梁部における一方の側の端面は、光学機能部よりも一方の側に位置していてもよい。この場合、梁部によっても光学機能部を保護することができる。更に、梁部によって可動部の移動中の変形を抑制することもできる。

40

【0009】

梁部は、所定方向から見た場合に配置部の外縁に沿って延在するように、配置部における一方の側の表面上に配置されていてもよい。この場合、梁部を光学機能部の近くに配置することができ、光学機能部をより効果的に保護することができる。更に、梁部が配置部上に配置されるため、配置部の変形をより好適に抑制することができる。

【0010】

可動部は、所定方向から見た場合に配置部を囲む枠部と、配置部と枠部とを互いに連結

50

する連結部と、を更に有し、枠部及び連結部は、第2半導体層によって構成されており、梁部は、所定方向から見た場合に枠部に沿って延在するように、枠部における一方の側の表面上に配置されていてもよい。この場合、梁部によって光学機能部をより一層効果的に保護することができる。更に、梁部によって枠部の変形を抑制することができ、ひいては枠部の変形に起因する配置部の変形を抑制することができる。

【0011】

梁部を構成する第1半導体層は、ベースを構成する第1半導体層よりも薄くてもよい。この場合、可動部の移動中に梁部がベースから突出するのを抑制することができ、所定方向における可動部の移動量を増加させることが可能となる。

【0012】

本開示の一側面に係る光学デバイスは、ベースに設けられた電極パッドを更に備え、電極パッドは、第1半導体層における一方の側の表面から第2半導体層に至るようにベースに形成された開口内において、第2半導体層における一方の側の表面上に配置されており、ベースには、第1半導体層における一方の側の表面から第2半導体層に至り、所定方向から見た場合に開口を囲むように延在する溝部が形成されていてもよい。この場合、溝部によって電極パッドの電氣的絶縁性を確実化することができ、信頼性を一層高めることができる。

【0013】

電極パッドは、開口の底面及び側面にわたって延在していてもよい。この場合、電極パッドを大面積化することができる。

【0014】

電極パッド及び光学機能部の各々は、金属層によって構成されており、電極パッドを構成する金属層は、光学機能部を構成する金属層よりも厚くてもよい。この場合、光学機能部の変形を抑制することができると共に、電極パッドへの電氣的接続を確実化することが可能となる。

【0015】

本開示の一側面に係るミラーユニットは、上記光学デバイスと、光学デバイスに対して所定方向における他方の側に配置された光学機能部材と、光学機能部材に対して他方の側に配置された固定ミラーと、を備え、光学機能部は、可動部と共に可動ミラーを構成するミラー面であり、光学デバイスには、可動ミラー及び固定ミラーと共に干渉光学系を構成するビームスプリッタユニットと固定ミラーとの間の光路の第1部分を構成する第1光通過部が設けられており、光学機能部材には、ビームスプリッタユニットと固定ミラーとの間の光路の第2部分を構成する第2光通過部が設けられており、第2光通過部は、ビームスプリッタユニットと可動ミラーとの間の光路と、ビームスプリッタユニットと固定ミラーとの間の光路と、の間に生じる光路差を補正する。

【0016】

このミラーユニットでは、上述した理由により、信頼性を高めることができる。また、光学機能部材の第2光通過部によって、ビームスプリッタユニットと可動ミラーとの間の光路と、ビームスプリッタユニットと固定ミラーとの間の光路との間に生じる光路長差を補正することができる。更に、このミラーユニットでは、ミラー面が光学機能部材の近くに配置されている。このような構成は、光学機能部材の第2光通過部によって光路長差を補正する場合に特に有効である。

【発明の効果】

【0017】

本開示の一側面によれば、信頼性の高い光学デバイスを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、一実施形態の光モジュールの断面図である。

【図2】図2は、図1に示されるミラーユニットの平面図である。

【図3】図3は、図2に示されるIII-III線に沿ってのミラーユニットの断面図である。

10

20

30

40

50

【図 4】図 4 は、図 2 に示される IV - IV 線に沿ってのミラーユニットの断面図である。

【図 5】図 5 は、図 2 に示される V - V 線に沿ってのミラーデバイスの模式的な断面図である。

【図 6】図 6 は、図 2 に示されるミラーデバイスの部分拡大図である。

【図 7】図 7 は、図 2 に示される光学機能部材の平面図である。

【図 8】図 8 は、図 1 に示される VIII - VIII 線に沿っての光モジュールの断面図である。

【図 9】図 9 は、図 1 に示される IX - IX 線に沿っての光モジュールの断面図である。

【図 10】図 10 は、図 1 に示されるミラーユニット及びビームスプリッタユニットの模式的な断面図である。

【図 11】図 11 は、図 2 に示される XI - XI 線に沿ってのミラーデバイスの模式的な断面図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する部分を省略する。

[光モジュールの構成]

【0020】

図 1 に示されるように、光モジュール 1 は、ミラーユニット 2 と、ビームスプリッタユニット 3 と、光入射部 4 と、第 1 光検出器 6 と、第 2 光源 7 と、第 2 光検出器 8 と、支持体 9 と、第 1 支持構造 11 と、第 2 支持構造 12 と、を備えている。ミラーユニット 2 は、Z 軸方向（所定方向、第 1 方向）における支持体 9 の一方の側に配置されており、例えば接着剤によって、支持体 9 に取り付けられている。支持体 9 は、例えば銅タングステンによって形成されており、例えば矩形板状を呈している。ミラーユニット 2 は、Z 軸方向に沿って移動する可動ミラー 22 と、位置が固定された固定ミラー 16 と、を含んでいる（詳細については後述する）。なお、Z 軸方向は、例えば鉛直方向であり、Z 軸方向における一方の側は、例えば上側である。

20

【0021】

ビームスプリッタユニット 3 は、Z 軸方向におけるミラーユニット 2 の一方の側に配置されており、第 1 支持構造 11 によって支持されている。第 1 支持構造 11 は、例えば接着剤によって、支持体 9 に取り付けられている。光入射部 4 は、X 軸方向（第 1 方向に垂直な第 3 方向）におけるビームスプリッタユニット 3 の一方の側に配置されており、第 2 支持構造 12 によって支持されている。第 1 光検出器 6、第 2 光源 7 及び第 2 光検出器 8 は、Z 軸方向におけるビームスプリッタユニット 3 の一方の側に配置されており、第 2 支持構造 12 によって支持されている。第 2 支持構造 12 は、例えばボルトによって、支持体 9 に取り付けられている。

30

【0022】

光モジュール 1 では、ビームスプリッタユニット 3、可動ミラー 22 及び固定ミラー 16 によって、測定光 L0 及びレーザ光 L10 のそれぞれについて干渉光学系が構成される。測定光 L0 及びレーザ光 L10 のそれぞれについて構成される干渉光学系は、例えばマイケルソン干渉光学系である。

40

【0023】

測定光 L0 については、次のように、測定光の干渉光 L1 が検出される。すなわち、第 1 光源（図示省略）から測定対象（図示省略）を介して入射した測定光 L0 又は測定対象から発せられた測定光 L0（例えば、測定対象自体の発光等）が、光入射部 4 からビームスプリッタユニット 3 に入射すると、当該測定光 L0 は、ビームスプリッタユニット 3 において一部及び残部に分割される。そして、測定光 L0 の一部は、Z 軸方向に沿って往復移動する可動ミラー 22 で反射されてビームスプリッタユニット 3 に戻る。一方、測定光 L0 の残部は、固定ミラー 16 で反射されてビームスプリッタユニット 3 に戻る。ビームスプリッタユニット 3 に戻った測定光 L0 の一部及び残部は、干渉光 L1 としてビームスプリッタユニット 3 から出射され、当該測定光の干渉光 L1 が第 1 光検出器 6 によって検

50

出される。

【 0 0 2 4 】

レーザ光 L 1 0 については、次のように、レーザ光の干渉光 L 1 1 が検出される。すなわち、第 2 光源 7 から出射されたレーザ光 L 1 0 がビームスプリッタユニット 3 に入射すると、当該レーザ光 L 1 0 は、ビームスプリッタユニット 3 において一部及び残部に分割される。そして、レーザ光 L 1 0 の一部は、Z 軸方向に沿って往復移動する可動ミラー 2 2 で反射されてビームスプリッタユニット 3 に戻る。一方、レーザ光 L 1 0 の残部は、固定ミラー 1 6 で反射されてビームスプリッタユニット 3 に戻る。ビームスプリッタユニット 3 に戻ったレーザ光 L 1 0 の一部及び残部は、干渉光 L 1 1 としてビームスプリッタユニット 3 から出射され、当該レーザ光の干渉光 L 1 1 が第 2 光検出器 8 によって検出される。

10

【 0 0 2 5 】

光モジュール 1 によれば、レーザ光の干渉光 L 1 1 の検出結果に基づいて、Z 軸方向における可動ミラー 2 2 の位置の計測が可能となり、その位置の計測結果、及び測定光の干渉光 L 1 の検出結果に基づいて、測定対象についての分光分析が可能となる。

[ミラーユニットの構成]

【 0 0 2 6 】

図 2、図 3 及び図 4 に示されるように、ミラーユニット 2 は、ミラーデバイス（光学デバイス）2 0 と、光学機能部材 1 3 と、固定ミラー 1 6 と、応力緩和基板 1 7 と、を有している。ミラーデバイス 2 0 は、ベース 2 1 と、可動ミラー 2 2 と、駆動部 2 3 と、を含んでいる。

20

【 0 0 2 7 】

ベース 2 1 は、第 1 表面 2 1 a（Z 軸方向における一方の側の表面）、及び第 1 表面 2 1 a とは反対側の第 2 表面 2 1 b を有している。第 1 表面 2 1 a 及び第 2 表面 2 1 b の各々は、ベース 2 1 の主面である。ベース 2 1 は、例えば矩形板状を呈しており、例えば 1 0 mm x 1 5 mm x 0 . 3 5 mm（厚さ）程度のサイズを有している。可動ミラー 2 2 は、ミラー面（光学機能部）2 2 a と、ミラー面 2 2 a が配置された可動部 2 2 b と、を有している。可動ミラー 2 2（可動部 2 2 b）は、第 1 表面 2 1 a に垂直な Z 軸方向（第 1 表面に垂直な所定方向）に沿って移動可能となるようにベース 2 1 において支持されている。駆動部 2 3 は、Z 軸方向に沿って可動ミラー 2 2 を移動させる。

30

【 0 0 2 8 】

ミラーデバイス 2 0 には、一对の光通過開口 2 4, 2 5 が設けられている。一对の光通過開口 2 4, 2 5 は、X 軸方向における可動ミラー 2 2 の両側に配置されている。光通過開口（第 1 光通過部）2 4 は、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路の第 1 部分を構成している。なお、本実施形態では、光通過開口 2 5 は、光通過開口として機能していない。

【 0 0 2 9 】

ここで、ミラーデバイス 2 0 の構成について、図 2、図 5 及び図 6 を参照して詳細に説明する。なお、図 5 は、図 3 に示されるミラーデバイス 2 0 の模式的な断面図であり、図 5 には、例えば、Z 軸方向における寸法が実際よりも拡大された状態でミラーデバイス 2 0 が模式的に示されている。

40

【 0 0 3 0 】

ベース 2 1、可動ミラー 2 2 の可動部 2 2 b、及び駆動部 2 3 は、SOI（Silicon On Insulator）基板（半導体基板）1 0 0 によって構成されている。つまり、ミラーデバイス 2 0 は、SOI 基板 1 0 0 によって構成されている。ミラーデバイス 2 0 は、例えば、矩形板状に形成されている。SOI 基板 1 0 0 は、支持層 1 0 1、デバイス層 1 0 2 及び中間層 1 0 3 を有している。支持層 1 0 1 は、第 1 シリコン層（第 1 半導体層）である。デバイス層 1 0 2 は、第 2 シリコン層（第 2 半導体層）である。中間層 1 0 3 は、支持層 1 0 1 とデバイス層 1 0 2 との間に配置された絶縁層である。SOI 基板 1 0 0 は、支持層 1 0 1、中間層 1 0 3 及びデバイス層 1 0 2 を、Z 軸方向における一方の側からこの順

50

に有している。

【0031】

ベース21は、支持層101、デバイス層102及び中間層103の一部によって構成されている。ベース21の第1表面21aは、支持層101における中間層103とは反対側の表面である。ベース21の第2表面21bは、デバイス層102における中間層103とは反対側の表面である。ベース21を構成する支持層101は、ベース21を構成するデバイス層102よりも厚い。ベース21を構成する支持層101の厚さは、例えば、ベース21を構成するデバイス層102の厚さの4倍程度である。ミラーユニット2では、後述するように、ベース21の第2表面21bと光学機能部材13の第3表面13aとが互いに接合されている(図3及び図4参照)。

10

【0032】

可動ミラー22は、軸線R1と軸線R2との交点を中心位置(重心位置)として配置されている。軸線R1は、X軸方向に延在する直線である。軸線R2は、Y軸方向(第1方向及び第3方向に垂直な第2方向)に延在する直線である。Z軸方向から見た場合に、ミラーデバイス20のうち、後述するベース21の第6表面21dと重なる部分以外の部分は、軸線R1及び軸線R2の各々に関して線対称な形状を呈している。

【0033】

可動ミラー22(可動部22b)は、配置部221、枠部222、一对の連結部223、及び梁部224を有している。配置部221、枠部222及び一对の連結部223は、デバイス層102の一部によって構成されている。配置部221は、Z軸方向から見た場合に円形状を呈している。配置部221は、中央部221a及び外縁部221bを有している。中央部221aにおけるZ軸方向の一方の側の表面221as上には、例えば、金属膜(金属層)が形成されることで、ミラー面22aが設けられている。ミラー面22aは、Z軸方向に垂直に延在し、円形状を呈している。中央部221aの表面221asは、デバイス層102における中間層103側の表面である。ミラー面22aは、ベース21の第1表面21aよりもZ軸方向における他方の側に位置している。換言すれば、第1表面21aは、ミラー面22aよりもZ軸方向における一方の側に位置している。外縁部221bは、Z軸方向から見た場合に中央部221aを囲んでいる。

20

【0034】

枠部222は、Z軸方向から見た場合に、配置部221から所定の間隔を空けて配置部221を囲むように、環状に延在している。枠部222は、例えば、Z軸方向から見た場合に円環状を呈している。一对の連結部223の各々は、配置部221と枠部222とを互いに連結している。一对の連結部223は、Y軸方向における配置部221の両側に配置されている。

30

【0035】

梁部224は、デバイス層102上に配置された支持層101及び中間層103によって構成されている。梁部224は、ミラー面22aの周辺に配置されている。梁部224は、内側梁部224a、外側梁部224b及び一对の連結梁部224cを有している。内側梁部224aは、外縁部221bにおけるZ軸方向の一方の側の表面上に配置されている。内側梁部224aは、Z軸方向から見た場合にミラー面22aを囲んでいる。例えば、内側梁部224aの外縁は、Z軸方向から見た場合に、配置部221の外縁から所定の間隔を空けて、配置部221の外縁に沿って延在している。内側梁部224aの内縁は、Z軸方向から見た場合に、ミラー面22aの外縁から所定の間隔を空けて、ミラー面22aの外縁に沿って延在している。内側梁部224aにおけるZ軸方向の一方の側の端面224asは、ミラー面22aよりもZ軸方向における一方の側に位置している。

40

【0036】

外側梁部224bは、枠部222におけるZ軸方向の一方の側の表面上に配置されている。外側梁部224bは、Z軸方向から見た場合に内側梁部224aを囲んでおり、ひいてはミラー面22aを囲んでいる。例えば、外側梁部224bの外縁は、Z軸方向から見た場合に、枠部222の外縁から所定の間隔を空けて、枠部222の外縁に沿って延在し

50

ている。外側梁部 2 2 4 b の内縁は、Z 軸方向から見た場合に、枠部 2 2 2 の内縁から所定の間隔を空けて、枠部 2 2 2 の内縁に沿って延在している。外側梁部 2 2 4 b における Z 軸方向の一方の側の端面 2 2 4 b s は、ミラー面 2 2 a よりも Z 軸方向における一方の側に位置している。

【 0 0 3 7 】

一对の連結梁部 2 2 4 c は、一对の連結部 2 2 3 における Z 軸方向の一方の側の表面上にそれぞれ配置されている。各連結梁部 2 2 4 c は、内側梁部 2 2 4 a と外側梁部 2 2 4 b とを互いに連結している。連結梁部 2 2 4 c における Z 軸方向における一方の側の端面 2 2 4 c s は、ミラー面 2 2 a よりも Z 軸方向における一方の側に位置している。

【 0 0 3 8 】

Z 軸方向における内側梁部 2 2 4 a、外側梁部 2 2 4 b 及び各連結梁部 2 2 4 c の厚さは、互いに等しい。つまり、内側梁部 2 2 4 a、外側梁部 2 2 4 b 及び各連結梁部 2 2 4 c を構成する支持層 1 0 1 の厚さは、互いに等しい。内側梁部 2 2 4 a の端面 2 2 4 a s、外側梁部 2 2 4 b の端面 2 2 4 b s、及び各連結梁部 2 2 4 c の端面 2 2 4 c s は、Z 軸方向に垂直な同一の平面上に位置している。内側梁部 2 2 4 a、外側梁部 2 2 4 b 及び各連結梁部 2 2 4 c を構成する支持層 1 0 1 は、ベース 2 1 を構成する支持層 1 0 1 よりも薄い。これにより、端面 2 2 4 a s、2 2 4 b s、2 2 4 c s は、ベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a よりも Z 軸方向における一方の側に位置している。換言すれば、第 1 表面 2 1 a は、端面 2 2 4 a s、2 2 4 b s、2 2 4 c s よりも Z 軸方向の他方の側に位置している。

【 0 0 3 9 】

Z 軸方向から見た場合に、外側梁部 2 2 4 b の幅は、内側梁部 2 2 4 a の幅よりも広い。Z 軸方向から見た場合における内側梁部 2 2 4 a の幅とは、内側梁部 2 2 4 a の延在方向に垂直な方向における内側梁部 2 2 4 a の長さであり、本実施形態では、内側梁部 2 2 4 a の半径方向における内側梁部 2 2 4 a の長さである。この点は、Z 軸方向から見た場合における外側梁部 2 2 4 b の幅についても同様である。各連結梁部 2 2 4 c の幅は、内側梁部 2 2 4 a 及び外側梁部 2 2 4 b のそれぞれの幅よりも大きい。各連結梁部 2 2 4 c の幅とは、内側梁部 2 2 4 a の延在方向に沿っての各連結梁部 2 2 4 c の長さである。

【 0 0 4 0 】

駆動部 2 3 は、第 1 弾性支持部 2 6、第 2 弾性支持部 2 7 及びアクチュエータ部 2 8 を有している。第 1 弾性支持部 2 6、第 2 弾性支持部 2 7 及びアクチュエータ部 2 8 は、デバイス層 1 0 2 の一部によって構成されている。

【 0 0 4 1 】

第 1 弾性支持部 2 6 及び第 2 弾性支持部 2 7 の各々は、ベース 2 1 と可動ミラー 2 2 との間に接続されている。第 1 弾性支持部 2 6 及び第 2 弾性支持部 2 7 は、可動ミラー 2 2 (可動部 2 2 b) が Z 軸方向に沿って移動可能となるように可動ミラー 2 2 を支持している。

【 0 0 4 2 】

第 1 弾性支持部 2 6 は、一对のレバー 2 6 1、第 1 リンク部材 2 6 2、第 2 リンク部材 2 6 3、一对の梁部材 2 6 4、中間部材 2 6 5、一对の第 1 トーションバー (第 1 振り支持部) 2 6 6、一对の第 2 トーションバー (第 2 振り支持部) 2 6 7、一对の非線形性緩和バネ 2 6 8、及び複数の電極支持部 2 6 9 を有している。

【 0 0 4 3 】

一对のレバー 2 6 1 は、Y 軸方向における光通過開口 2 4 の両側に配置され、Y 軸方向において互いに向かい合っている。各レバー 2 6 1 は、Z 軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈している。各レバー 2 6 1 は、第 1 部分 2 6 1 a と、第 1 部分 2 6 1 a に対して可動ミラー 2 2 とは反対側に配置された第 2 部分 2 6 1 b と、第 1 部分 2 6 1 a 及び第 2 部分 2 6 1 b に接続された第 3 部分 2 6 1 c と、を有している。第 1 部分 2 6 1 a 及び第 2 部分 2 6 1 b は、X 軸方向に沿って延在している。X 軸方向における第 1 部分 2 6 1 a の長さは、X 軸方向における第 2 部分 2 6 1 b の長さよりも短い。一对のレバー 2 6 1 の第 3 部分 2 6 1 c は、可動ミラー 2 2 から遠ざかるほど互いに離れるように傾斜し

10

20

30

40

50

て延在している。

【 0 0 4 4 】

第 1 リンク部材 2 6 2 は、一对のレバー 2 6 1 における可動ミラー 2 2 とは反対側の第 1 端部 2 6 1 d 間に掛け渡されている。第 1 リンク部材 2 6 2 は、Z 軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y 軸方向に沿って延在している。第 2 リンク部材 2 6 3 は、一对のレバー 2 6 1 における可動ミラー 2 2 側の第 2 端部 2 6 1 e 間に掛け渡されている。第 2 リンク部材 2 6 3 は、Z 軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y 軸方向に沿って延在している。X 軸方向における第 2 リンク部材 2 6 3 の幅は、X 軸方向における第 1 リンク部材 2 6 2 の幅よりも狭い。Y 軸方向における第 2 リンク部材 2 6 3 の長さは、Y 軸方向における第 1 リンク部材 2 6 2 の長さよりも短い。

10

【 0 0 4 5 】

一对の梁部材 2 6 4 は、一对のレバー 2 6 1 の第 2 部分 2 6 1 b と、第 1 リンク部材 2 6 2 との間にそれぞれ掛け渡されている。各梁部材 2 6 4 は、Z 軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈している。一对の梁部材 2 6 4 は、可動ミラー 2 2 から遠ざかるほど互いに近づくように傾斜して延在している。一对のレバー 2 6 1、第 1 リンク部材 2 6 2、第 2 リンク部材 2 6 3 及び一对の梁部材 2 6 4 は、光通過開口 2 4 を画定している。光通過開口 2 4 は、Z 軸方向から見た場合に多角形状を呈している。光通過開口 2 4 は、例えば空洞（孔）である。或いは、光通過開口 2 4 内には、測定光 L 0 及びレーザ光 L 1 0 に対して光透過性を有する材料が配置されてもよい。

【 0 0 4 6 】

中間部材 2 6 5 は、Z 軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y 軸方向に沿って延在している。中間部材 2 6 5 は、可動ミラー 2 2 と第 2 リンク部材 2 6 3 との間（換言すれば、可動ミラー 2 2 と光通過開口 2 4 との間）に配置されている。中間部材 2 6 5 は、後述するように、非線形性緩和バネ 2 6 8 を介して可動ミラー 2 2 に接続されている。

20

【 0 0 4 7 】

一对の第 1 トーションバー 2 6 6 は、それぞれ、一方のレバー 2 6 1 の第 1 端部 2 6 1 d とベース 2 1 との間、及び、他方のレバー 2 6 1 の第 1 端部 2 6 1 d とベース 2 1 との間に掛け渡されている。つまり、一对の第 1 トーションバー 2 6 6 は、一对のレバー 2 6 1 とベース 2 1 との間にそれぞれ接続されている。各第 1 トーションバー 2 6 6 は、Y 軸方向に沿って延在している。一对の第 1 トーションバー 2 6 6 は、Y 軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。本実施形態では、各第 1 トーションバー 2 6 6 の中心線と第 1 リンク部材 2 6 2 の中心線とは、同一の直線上に位置している。各レバー 2 6 1 の第 1 端部 2 6 1 d には、Y 軸方向における外側に突出した突出部 2 6 1 f が設けられており、各第 1 トーションバー 2 6 6 は、突出部 2 6 1 f に接続されている。

30

【 0 0 4 8 】

一对の第 2 トーションバー 2 6 7 は、それぞれ、一方のレバー 2 6 1 の第 2 端部 2 6 1 e と中間部材 2 6 5 の一端との間、及び、他方のレバー 2 6 1 の第 2 端部 2 6 1 e と中間部材 2 6 5 の他端との間に掛け渡されている。つまり、一对の第 2 トーションバー 2 6 7 は、一对のレバー 2 6 1 と可動ミラー 2 2 との間にそれぞれ接続されている。各第 2 トーションバー 2 6 7 は、Y 軸方向に沿って延在している。一对の第 2 トーションバー 2 6 7 は、Y 軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。

40

【 0 0 4 9 】

一对の非線形性緩和バネ 2 6 8 は、可動ミラー 2 2 と中間部材 2 6 5 との間に接続されている。つまり、一对の非線形性緩和バネ 2 6 8 は、可動ミラー 2 2 と第 2 トーションバー 2 6 7 との間に接続されている。各非線形性緩和バネ 2 6 8 は、Z 軸方向から見た場合に蛇行して延在する蛇行部 2 6 8 a を有している。蛇行部 2 6 8 a は、Y 軸方向に延在し、X 軸方向に並ぶ複数の直線状部分 2 6 8 b と、複数の直線状部分 2 6 8 b の両端を交互に連結する複数の折り返し部分 2 6 8 c と、を含んでいる。蛇行部 2 6 8 a の一端は中間部材 2 6 5 に接続され、蛇行部 2 6 8 a の他端は枠部 2 2 2 に接続されている。蛇行部 2

50

68aにおける枠部222側の部分は、枠部222の外縁に沿った形状を呈している。

【0050】

非線形性緩和バネ268は、可動ミラー22がZ軸方向に移動した状態において、Y軸方向周りにおける非線形性緩和バネ268の変形量がY軸方向周りにおける第1トーションバー266及び第2トーションバー267の各々の変形量よりも小さくなり、且つ、X軸方向における非線形性緩和バネ268の変形量がX軸方向における第1トーションバー266及び第2トーションバー267の各々の変形量よりも大きくなるように、構成されている。これにより、第1トーションバー266及び第2トーションバー267の捩れ変形に非線形性が生じるのを抑制することができ、当該非線形性に起因する可動ミラー22の制御特性の低下を抑制することができる。なお、Y軸方向周りにおける第1トーションバー266、第2トーションバー267及び非線形性緩和バネ268の変形量とは、例えば、捩れ量（捩れ角度）の絶対値を意味する。X軸方向における第1トーションバー266、第2トーションバー267及び非線形性緩和バネ268の変形量とは、例えば、撓み量の絶対値を意味する。Y軸方向周りにおける或る部材の変形量とは、当該部材の中心を通り且つY軸に平行な軸線を中心とする円の周方向における当該部材の変形量を意味する。これらの点は、後述する第1トーションバー276、第2トーションバー277及び非線形性緩和バネ278についても同様である。

10

【0051】

複数の電極支持部269は、一对の第1電極支持部269a、一对の第2電極支持部269b、及び一对の第3電極支持部269cを含んでいる。各電極支持部269a、269b、269cは、Z軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y軸方向に沿って延在している。各電極支持部269a、269b、269cは、レバー261の第2部分261bから、光通過開口24とは反対側に向かって伸びている。一对の第1電極支持部269aは、Y軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。一对の第2電極支持部269bは、Y軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。一对の第3電極支持部269cは、Y軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。X軸方向において、第1電極支持部269a、第2電極支持部269b及び第3電極支持部269cは、可動ミラー22側からこの順に並んで配置されている。

20

【0052】

第2弾性支持部27は、一对のレバー271、第1リンク部材272、第2リンク部材273、一对の梁部材274、中間部材275、一对の第1トーションバー（第1捩り支持部）276、一对の第2トーションバー（第2捩り支持部）277、一对の非線形性緩和バネ278、及び複数の電極支持部279を有している。

30

【0053】

一对のレバー271は、Y軸方向における光通過開口25の両側に配置され、Y軸方向において互いに向かい合っている。各レバー271は、Z軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈している。各レバー271は、第1部分271aと、第1部分271aに対して可動ミラー22とは反対側に配置された第2部分271bと、第1部分271a及び第2部分271bに接続された第3部分271cと、を有している。第1部分271a及び第2部分271bは、X軸方向に沿って延在している。X軸方向における第1部分271aの長さは、X軸方向における第2部分271bの長さよりも短い。一对のレバー271の第3部分271cは、可動ミラー22から遠ざかるほど互いに離れるように傾斜して延在している。

40

【0054】

第1リンク部材272は、一对のレバー271における可動ミラー22とは反対側の第1端部271d間に掛け渡されている。第1リンク部材272は、Z軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y軸方向に沿って延在している。第2リンク部材273は、一对のレバー271における可動ミラー22側の第2端部271e間に掛け渡されている。第2リンク部材273は、Z軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y軸方向に沿って延在している。X軸方向における第2リンク部材273の幅は、X軸方向に

50

おける第1リンク部材272の幅よりも狭い。Y軸方向における第2リンク部材273の長さは、Y軸方向における第1リンク部材272の長さよりも短い。

【0055】

一对の梁部材274は、一对のレバー271の第2部分271bと、第1リンク部材272との間にそれぞれ掛け渡されている。各梁部材274は、Z軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈している。一对の梁部材274は、可動ミラー22から遠ざかるほど互いに近づくように傾斜して延在している。一对のレバー271、第1リンク部材272、第2リンク部材273及び一对の梁部材274は、光通過開口25を画定している。光通過開口25は、Z軸方向から見た場合に多角形状を呈している。光通過開口25は、例えば空洞(孔)である。或いは、光通過開口25内には、測定光L0及びレーザ光L10に対して光透過性を有する材料が配置されてもよい。

10

【0056】

中間部材275は、Z軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y軸方向に沿って延在している。中間部材275は、可動ミラー22と第2リンク部材273との間(換言すれば、可動ミラー22と光通過開口25との間)に配置されている。中間部材275は、後述するように、非線形性緩和バネ278を介して可動ミラー22に接続されている。

【0057】

一对の第1トーションバー276は、それぞれ、一方のレバー271の第1端部271dとベース21との間、及び、他方のレバー271の第1端部271dとベース21との間に掛け渡されている。つまり、一对の第1トーションバー276は、一对のレバー271とベース21との間にそれぞれ接続されている。各第1トーションバー276は、Y軸方向に沿って延在している。一对の第1トーションバー276は、Y軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。本実施形態では、各第1トーションバー276の中心線と第1リンク部材272の中心線とは、同一の直線上に位置している。各レバー271の第1端部271dには、Y軸方向における外側に突出した突出部271fが設けられており、各第1トーションバー276は、突出部271fに接続されている。

20

【0058】

一对の第2トーションバー277は、それぞれ、一方のレバー271の第2端部271eと中間部材275の一端との間、及び、他方のレバー271の第2端部271eと中間部材275の他端との間に掛け渡されている。つまり、一对の第2トーションバー277は、一对のレバー271と可動ミラー22との間にそれぞれ接続されている。各第2トーションバー277は、Y軸方向に沿って延在している。一对の第2トーションバー277は、Y軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。

30

【0059】

一对の非線形性緩和バネ278は、可動ミラー22と中間部材275との間に接続されている。つまり、一对の非線形性緩和バネ278は、可動ミラー22と第2トーションバー277との間に接続されている。各非線形性緩和バネ278は、Z軸方向から見た場合に蛇行して延在する蛇行部278aを有している。蛇行部278aは、Y軸方向に延在し、X軸方向に並ぶ複数の直線状部分278bと、複数の直線状部分278bの両端を交互に連結する複数の折り返し部分278cと、を含んでいる。蛇行部278aの一端は中間部材275に接続され、蛇行部278aの他端は枠部222に接続されている。蛇行部278aにおける枠部222側の部分は、枠部222の外縁に沿った形状を呈している。

40

【0060】

非線形性緩和バネ278は、可動ミラー22がZ軸方向に移動した状態において、Y軸方向周りにおける非線形性緩和バネ278の変形量がY軸方向周りにおける第1トーションバー276及び第2トーションバー277の各々の変形量よりも小さくなり、且つ、X軸方向における非線形性緩和バネ278の変形量がX軸方向における第1トーションバー276及び第2トーションバー277の各々の変形量よりも大きくなるように、構成されている。これにより、第1トーションバー276及び第2トーションバー277の捩れ変

50

形に非線形性が生じるのを抑制することができ、当該非線形性に起因する可動ミラー 22 の制御特性の低下を抑制することができる。

【0061】

複数の電極支持部 279 は、一对の第 1 電極支持部 279 a、一对の第 2 電極支持部 279 b、及び一对の第 3 電極支持部 279 c を含んでいる。各電極支持部 279 a、279 b、279 c は、Z 軸方向に垂直な平面に沿って延在する板状を呈し、Y 軸方向に沿って延在している。各電極支持部 279 a、279 b、279 c は、レバー 271 の第 2 部分 271 b から、光通過開口 25 とは反対側に向かって延びている。一对の第 1 電極支持部 279 a は、Y 軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。一对の第 2 電極支持部 279 b は、Y 軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。一对の第 3 電極支持部 279 c は、Y 軸方向に平行な同一の中心線上に配置されている。X 軸方向において、第 1 電極支持部 279 a、第 2 電極支持部 279 b 及び第 3 電極支持部 279 c は、可動ミラー 22 側からこの順に並んで配置されている。

10

【0062】

アクチュエータ部 28 は、Z 軸方向に沿って可動ミラー 22 を移動させる。アクチュエータ部 28 は、固定 歯電極 281、可動 歯電極 282、固定 歯電極 283 及び可動 歯電極 284 を有している。固定 歯電極 281、283 の位置は、固定されている。可動 歯電極 282、284 は、可動ミラー 22 の移動に伴って移動する。

【0063】

固定 歯電極 281 は、ベース 21 のデバイス層 102 における電極支持部 269 と向かい合う表面の一部に設けられている。固定 歯電極 281 は、Y 軸方向に垂直な平面に沿って延在する複数の固定 歯 281 a を有している。これらの固定 歯 281 a は、Y 軸方向に所定の間隔を空けて並んで配置されている。

20

【0064】

可動 歯電極 282 は、各第 1 電極支持部 269 a における可動ミラー 22 側の表面、各第 2 電極支持部 269 b における X 軸方向の両側の表面、及び、各第 3 電極支持部 269 c における可動ミラー 22 側の表面に設けられている。可動 歯電極 282 は、Y 軸方向に垂直な平面に沿って延在する複数の可動 歯 282 a を有している。これらの可動 歯 282 a は、Y 軸方向に所定の間隔を空けて並んで配置されている。

【0065】

固定 歯電極 281 及び可動 歯電極 282 においては、複数の固定 歯 281 a と複数の可動 歯 282 a とが互い違いに配置されている。つまり、固定 歯電極 281 の各固定 歯 281 a が可動 歯電極 282 の可動 歯 282 a 間に位置している。隣り合う固定 歯 281 a と可動 歯 282 a とは、Y 軸方向において互いに向かい合っている。隣り合う固定 歯 281 a と可動 歯 282 a との間の距離は、例えば数 μm 程度である。

30

【0066】

固定 歯電極 283 は、ベース 21 のデバイス層 102 における電極支持部 279 と向かい合う表面の一部に設けられている。固定 歯電極 283 は、Y 軸方向に垂直な平面に沿って延在する複数の固定 歯 283 a を有している。これらの固定 歯 283 a は、Y 軸方向に所定の間隔を空けて並んで配置されている。

40

【0067】

可動 歯電極 284 は、各第 1 電極支持部 279 a における可動ミラー 22 側の表面、各第 2 電極支持部 279 b における X 軸方向の両側の表面、及び、各第 3 電極支持部 279 c における可動ミラー 22 側の表面に設けられている。可動 歯電極 284 は、Y 軸方向に垂直な平面に沿って延在する複数の可動 歯 284 a を有している。これらの可動 歯 284 a は、Y 軸方向に所定の間隔を空けて並んで配置されている。

【0068】

固定 歯電極 283 及び可動 歯電極 284 においては、複数の固定 歯 283 a と複数の可動 歯 284 a とが互い違いに配置されている。つまり、固定 歯電極 283 の各固定 歯 283 a が可動 歯電極 284 の可動 歯 284 a 間に位置している。隣り合う

50

固定 歯 2 8 3 a と可動 歯 2 8 4 a とは、Y 軸方向において互いに向かい合っている。隣り合う固定 歯 2 8 3 a と可動 歯 2 8 4 a との間の距離は、例えば数 μm 程度である。

【0069】

ベース 2 1 には、複数の電極パッド 2 1 1 が設けられている。各電極パッド 2 1 1 は、デバイス層 1 0 2 に至るようにベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a に形成された開口 2 1 3 内において、デバイス層 1 0 2 の表面上に配置されている。複数の電極パッド 2 1 1 のうちの幾つかは、デバイス層 1 0 2 を介して、固定 歯電極 2 8 1 又は固定 歯電極 2 8 3 と電氣的に接続されている。複数の電極パッド 2 1 1 のうちの他の幾つかは、第 1 弾性支持部 2 6 又は第 2 弾性支持部 2 7 を介して、可動 歯電極 2 8 2 又は可動 歯電極 2 8 4 と電氣的に接続されている。また、ベース 2 1 には、グランド電極として用いられる一対の電極パッド 2 1 2 が設けられている。一対の電極パッド 2 1 2 は、Y 軸方向における可動ミラー 2 2 の両側に位置するように、第 1 表面 2 1 a 上に配置されている。

10

【0070】

図 1 1 を参照しつつ、電極パッド 2 1 1 の周辺の構成について更に説明する。以下、一の電極パッド 2 1 1 を参照して説明するが、他の電極パッド 2 1 1 についても同様に構成されている。図 1 1 に示されるように、各電極パッド 2 1 1 は、デバイス層 1 0 2 に至るように支持層 1 0 1 における Z 軸方向の一方の側の表面 1 0 1 a に形成された開口 2 1 3 内において、デバイス層 1 0 2 における Z 軸方向の一方の側の表面 1 0 2 a 上に配置されている。

【0071】

20

開口 2 1 3 は、表面 1 0 2 a によって構成された底面 2 1 4 と、支持層 1 0 1 及び中間層 1 0 3 によって構成された側面 2 1 5 と、を有している。底面 2 1 4 は、例えば矩形状を呈している。側面 2 1 5 は、底面 2 1 4 に連続して底面 2 1 4 と略垂直に延在する第 1 面 2 1 5 a と、第 1 面 2 1 5 a に連続して底面 2 1 4 と略平行に延在する段差面 2 1 5 b と、段差面 2 1 5 b に連続して底面 2 1 4 と略垂直に延在する第 2 面 2 1 5 c と、を有している。段差面 2 1 5 b は、Z 軸方向から見た場合に、開口 2 1 3 の縁に沿って環状に延在している。

【0072】

電極パッド 2 1 1 は、底面 2 1 4 の全面にわたって配置されている。また、電極パッド 2 1 1 は、底面 2 1 4 及び側面 2 1 5 にわたって延在している。より具体的には、電極パッド 2 1 1 は、側面 2 1 5 の第 1 面 2 1 5 a に至り、段差面 2 1 5 b には至らないように形成されている。電極パッド 2 1 1 は、例えば、金属膜（金属層）によって構成されている。この金属膜は、例えば、ハードマスクを用いたスパッタリングにより形成される。電極パッド 2 1 1 を構成する金属膜は、ミラー面 2 2 a を構成する金属膜よりも厚い。

30

【0073】

ベース 2 1 は、デバイス層 1 0 2 に至るように支持層 1 0 1 の表面 1 0 1 a に形成された溝部 2 1 6 を有している。溝部 2 1 6 は、Z 軸方向から見た場合に開口 2 1 3 を囲むように、環状に延在している。溝部 2 1 6 は、例えば、Z 軸方向から見た場合に矩形環状を呈している。溝部 2 1 6 が設けられていることにより、電極パッド 2 1 1 同士を確実に電氣的に絶縁することができる。すなわち、本実施形態のように、電極パッド 2 1 1 を構成する金属膜が側面 2 1 5 に至るように形成され、電極パッド 2 1 1 が支持層 1 0 1 に接触している場合、電極パッド 2 1 1 同士が支持層 1 0 1 を介して電氣的に接続されてしまうおそれがある。これに対し、ミラーデバイス 2 0 では、溝部 2 1 6 が設けられていることにより、そのような場合でも、電極パッド 2 1 1 同士を確実に電氣的に絶縁することができる。

40

【0074】

以上のように構成されたミラーデバイス 2 0 では、後述するリードピン 1 1 3 及びワイヤ（図示省略）を介して、Z 軸方向に沿って可動ミラー 2 2 を移動させるための電気信号が駆動部 2 3 に入力される。これにより、例えば、Z 軸方向における一方の側に可動ミラー 2 2 が移動するように、互いに向かい合う固定 歯電極 2 8 1 と可動 歯電極 2 8 2 と

50

の間、及び、互いに向かい合う固定 歯電極 2 8 3 と可動 歯電極 2 8 4 との間に静電気力が生じる。このとき、第 1 弾性支持部 2 6 及び第 2 弾性支持部 2 7 において第 1 トーションバー 2 6 6 , 2 7 6、第 2 トーションバー 2 6 7 , 2 7 7 が挟れて、第 1 弾性支持部 2 6 及び第 2 弾性支持部 2 7 に弾性力が生じる。ミラーデバイス 2 0 では、駆動部 2 3 に周期的な電気信号を付与することで、Z 軸方向に沿って可動ミラー 2 2 をその共振周波数レベルで往復動させることができる。このように、駆動部 2 3 は、静電アクチュエータとして機能する。

[ミラーユニットの他の構成]

【 0 0 7 5 】

図 2、図 3、図 4 及び図 7 に示されるように、光学機能部材 1 3 は、ベース 2 1 の第 2 表面 2 1 b と対向する第 3 表面 1 3 a (Z 軸方向における一方の側の表面)、及び第 3 表面 1 3 a とは反対側の第 4 表面 1 3 b を有している。光学機能部材 1 3 は、ミラーデバイス 2 0 に対して Z 軸方向における他方の側に配置されている。Z 軸方向から見た場合に、光学機能部材 1 3 の外縁 1 3 c は、ベース 2 1 の外縁 2 1 c の外側に位置している。つまり、Z 軸方向から見た場合に、光学機能部材 1 3 の外縁 1 3 c は、ベース 2 1 の外縁 2 1 c を包囲している。光学機能部材 1 3 は、測定光 L 0 及びレーザ光 L 1 0 に対して透過性を有する材料によって一体的に形成されている。光学機能部材 1 3 は、例えばガラスによって矩形板状に形成されており、例えば 1 5 mm x 2 0 mm x 4 mm (厚さ) 程度のサイズを有している。なお、光学機能部材 1 3 の材料は、例えば、光モジュール 1 の感度波長が近赤外領域である場合にはガラス、光モジュール 1 の感度波長が中赤外領域である場合にはシリコンというように、光モジュール 1 の感度波長によって選択される。

【 0 0 7 6 】

光学機能部材 1 3 には、一対の光透過部 1 4 , 1 5 が設けられている。光透過部 1 4 は、光学機能部材 1 3 のうち、Z 軸方向においてミラーデバイス 2 0 の光通過開口 2 4 と対向する部分である。光透過部 1 5 は、光学機能部材 1 3 のうち、Z 軸方向においてミラーデバイス 2 0 の光通過開口 2 5 と対向する部分である。光透過部 1 4 におけるミラーデバイス 2 0 側の表面 1 4 a、及び光透過部 1 5 におけるミラーデバイス 2 0 側の表面 1 5 a は、第 3 表面 1 3 a と同一平面上に位置している。光透過部 (第 2 光透過部) 1 4 は、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路の第 2 部分 (一部分) を構成している。光透過部 1 4 は、ビームスプリッタユニット 3 と可動ミラー 2 2 との間の光路と、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路と、の間に生じる光路差を補正する部分である。なお、本実施形態では、光透過部 1 5 は、光透過部として機能していない。

【 0 0 7 7 】

光学機能部材 1 3 は、ミラーデバイス 2 0 の可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 と対向する第 5 表面 1 3 d を有している。第 5 表面 1 3 d は、第 3 表面 1 3 a よりも第 4 表面 1 3 b 側に位置している。第 5 表面 1 3 d は、Z 軸方向から見た場合に光学機能部材 1 3 の外縁 1 3 c まで延在している。本実施形態では、第 5 表面 1 3 d は、各光透過部 1 4 , 1 5 におけるミラーデバイス 2 0 側の端部を包囲しつつ、光学機能部材 1 3 の外縁 1 3 c のうち、Y 軸方向に延在する一対の対辺のそれぞれまで、延在している。

【 0 0 7 8 】

光学機能部材 1 3 の第 3 表面 1 3 a は、ダイレクトボンディング (例えば、プラズマ活性化接合 (Plasma Activation Bonding)、表面活性化接合 (S A B : Surface-activated Room-temperature Bonding)、原子拡散接合 (A D B : Atomic Diffusion Bonding)、陽極接合 (Anodic Bonding)、フュージョンボンディング (Fusion Bonding)、親水化接合 (Hydrophilic Bonding) 等) によってベース 2 1 の第 2 表面 2 1 b と接合されている。本実施形態では、第 3 表面 1 3 a は、Y 軸方向における第 5 表面 1 3 d の両側において、ベース 2 1 に設けられた複数の電極パッド 2 1 1 , 2 1 2 と対向するように延在している。ここで、第 5 表面 1 3 d は、第 3 表面 1 3 a よりも第 4 表面 1 3 b 側に位置しているため、第 5 表面 1 3 d は、可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 と対向す

10

20

30

40

50

る領域においてミラーデバイス20から離れることになる。また、光透過部14の表面14a、及び光透過部15の表面15aは、それぞれ、ミラーデバイス20の光通過開口24, 25と対向している。これにより、ミラーユニット2では、可動ミラー22がZ軸方向に沿って往復移動した際に、可動ミラー22及び駆動部23が光学機能部材13に接触することが防止されている。

【0079】

なお、ミラーデバイス20のベース21には、光学機能部材13の第3表面13aとベース21の第2表面21bとが互いに接合された状態で光学機能部材13から離れた第6表面21dが設けられている。第6表面21dは、Z軸方向から見た場合におけるベース21の外縁の少なくとも一部を含む領域において光学機能部材13から離れている。本実施形態では、第6表面21dは、ベース21の外縁のうちY軸方向に延在する一辺に沿ってデバイス層102及び中間層103がエッチングによって除去されることで、形成されている。また、光学機能部材13の第3表面13aには、複数の基準孔13eが形成されている。本実施形態では、複数の基準孔13eは、ベース21が有する複数の角部にそれぞれ対応するように、第3表面13aに形成されている。光学機能部材13の第3表面13aとベース21の第2表面21bとが互いに接合される際には、ベース21のうち第6表面21dに対応する部分が把持されることでミラーデバイス20のハンドリングが実施され、第3表面13aに形成された複数の基準孔13eを基準として、X軸方向及びY軸方向におけるミラーデバイス20の位置、及びZ軸方向に垂直平行な平面内でのミラーデバイス20の角度が調整される。

【0080】

図3及び図4に示されるように、固定ミラー16は、光学機能部材13に対してZ軸方向における他方の側（ミラーデバイス20とは反対側）に配置されており、ミラーデバイス20のベース21に対する位置が固定されている。固定ミラー16は、例えば蒸着によって、光学機能部材13の第4表面13bに形成されている。固定ミラー16は、Z軸方向に垂直なミラー面16aを有している。本実施形態では、可動ミラー22のミラー面22a及び固定ミラー16のミラー面16aが、Z軸方向における一方の側（ビームスプリッタユニット3側）に向いている。なお、固定ミラー16は、光学機能部材13の各光透過部14, 15を透過する光を反射するように、光学機能部材13の第4表面13bに連続的に形成されているが、光透過部14を透過する光を反射する固定ミラーと、光透過部15を透過する光を反射する固定ミラーとが別々に設けられていてもよい。

【0081】

応力緩和基板17は、固定ミラー16を介して光学機能部材13の第4表面13bに取り付けられている。応力緩和基板17は、例えば接着剤によって、固定ミラー16に取り付けられている。Z軸方向から見た場合に、応力緩和基板17の外縁は、光学機能部材13の外縁13cの外側に位置している。つまり、Z軸方向から見た場合に、応力緩和基板17の外縁は、光学機能部材13の外縁13cを包囲している。応力緩和基板17の熱膨張係数は、光学機能部材13の熱膨張係数よりもミラーデバイス20のベース21の熱膨張係数（より具体的には、支持層101の熱膨張係数）に近い。また、応力緩和基板17の厚さは、光学機能部材13の厚さよりもミラーデバイス20のベース21の厚さに近い。応力緩和基板17は、例えばシリコンによって矩形板状に形成されており、例えば16mm×21mm×0.65mm（厚さ）程度のサイズを有している。

【0082】

以上のように構成されたミラーユニット2は、図1に示されるように、応力緩和基板17における光学機能部材13とは反対側の表面が例えば接着剤によって支持体9の表面9a（Z軸方向における一方の側の表面）に固定されることで、支持体9に取り付けられている。ミラーユニット2が支持体9に取り付けられる際には、図8に示されるように、支持体9に形成された基準孔9bを基準として、X軸方向及びY軸方向におけるミラーデバイス20の位置、及びZ軸方向に垂直平行な平面内でのミラーデバイス20の角度が調整される。なお、図8では、第2支持構造12の図示が省略されている。

[第 1 支持構造及びビームスプリッタユニットの構成]

【 0 0 8 3 】

図 1 及び図 8 に示されるように、第 1 支持構造 1 1 は、枠体 1 1 1 と、光透過部材 1 1 2 と、複数のリードピン 1 1 3 と、を有している。枠体 1 1 1 は、Z 軸方向から見た場合にミラーユニット 2 を包囲するように形成されており、例えば銀口ウ等の接着剤によって、支持体 9 の表面 9 a に取り付けられている。枠体 1 1 1 は、例えばセラミックによって形成されており、例えば矩形枠状を呈している。枠体 1 1 1 における支持体 9 とは反対側の端面 1 1 1 a は、ミラーデバイス 2 0 のベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a よりも支持体 9 とは反対側に位置している。

【 0 0 8 4 】

光透過部材 1 1 2 は、枠体 1 1 1 の開口を塞ぐように形成されており、例えば接着剤によって、枠体 1 1 1 の端面 1 1 1 a に取り付けられている。光透過部材 1 1 2 は、測定光 L 0 及びレーザ光 L 1 0 に対して透過性を有する材料によって形成されており、例えば矩形板状を呈している。ここで、枠体 1 1 1 の端面 1 1 1 a は、ミラーデバイス 2 0 のベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a よりも支持体 9 とは反対側に位置しているため、光透過部材 1 1 2 は、ミラーデバイス 2 0 から離れることになる。これにより、光モジュール 1 では、可動ミラー 2 2 が Z 軸方向に沿って往復移動した際に、可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 が光透過部材 1 1 2 に接触することが防止されている。なお、光モジュール 1 では、支持体 9、枠体 1 1 1 及び光透過部材 1 1 2 によって、ミラーユニット 2 を収容するパッケージが構成されている。

【 0 0 8 5 】

各リードピン 1 1 3 は、一端部 1 1 3 a が枠体 1 1 1 の内側に位置し且つ他端部（図示省略）が枠体 1 1 1 の外側に位置するように、枠体 1 1 1 に設けられている。リードピン 1 1 3 の一端部 1 1 3 a は、ミラーデバイス 2 0 において当該リードピン 1 1 3 に対応する電極パッド 2 1 1、2 1 2 とワイヤ（図示省略）によって電氣的に接続されている。光モジュール 1 では、Z 軸方向に沿って可動ミラー 2 2 を移動させるための電気信号が、複数のリードピン 1 1 3 を介して駆動部 2 3 に入力される。本実施形態では、Y 軸方向における光学機能部材 1 3 の両側において X 軸方向に延在する段差面 1 1 1 b が枠体 1 1 1 に形成されており、各リードピン 1 1 3 の一端部 1 1 3 a は、段差面 1 1 1 b に配置されている。各リードピン 1 1 3 は、Y 軸方向における支持体 9 の両側において Z 軸方向に延在しており、各リードピン 1 1 3 の他端部は、支持体 9 よりも Z 軸方向における他方の側に位置している。

【 0 0 8 6 】

図 1 0 に示されるように、ビームスプリッタユニット 3 は、例えば屈折率整合剤を兼ねた光学接着剤によって、光透過部材 1 1 2 におけるミラーデバイス 2 0 とは反対側の表面 1 1 2 a に取り付けられている。ビームスプリッタユニット 3 は、第 1 ミラー面 3 1、第 2 ミラー面 3 2 及び複数の光学面 3 3 a、3 3 b、3 3 c、3 3 d を有している。ビームスプリッタユニット 3 は、複数の光学ブロック 3 4、3 5 が接合されることで構成されている。各光学ブロック 3 4、3 5 は、光学機能部材 1 3 と屈折率が同一又は類似の材料によって形成されている。なお、図 1 0 は、図 1 に示されるミラーユニット 2 及びビームスプリッタユニット 3 の模式的な断面図であり、図 1 0 には、例えば、Z 軸方向における寸法が実際よりも拡大された状態でミラーデバイス 2 0 が模式的に示されている。

【 0 0 8 7 】

第 1 ミラー面 3 1 は、Z 軸方向に対して傾斜したミラー面（例えば、ハーフミラー面）であり、光学ブロック 3 4 と光学ブロック 3 5 との間に形成されている。本実施形態では、第 1 ミラー面 3 1 は、Y 軸方向に平行な面であり、且つ Z 軸方向と 4 5 ° の角度を成す面であって、ミラーデバイス 2 0 に近づくほど光入射部 4 から離れるように傾斜した面である。第 1 ミラー面 3 1 は、測定光 L 0 の一部を反射し且つ測定光 L 0 の残部を透過させる機能、及びレーザ光 L 1 0 の一部を反射し且つレーザ光 L 1 0 の残部を透過させる機能を有している。第 1 ミラー面 3 1 は、例えば誘電体多層膜によって形成されている。第 1

10

20

30

40

50

ミラー面 3 1 は、Z 軸方向から見た場合に、ミラーデバイス 2 0 の光通過開口 2 4、光学機能部材 1 3 の光透過部 1 4、及び固定ミラー 1 6 のミラー面 1 6 a と重なっており、且つ X 軸方向から見た場合に光入射部 4 と重なっている（図 1 参照）。つまり、第 1 ミラー面 3 1 は、Z 軸方向において固定ミラー 1 6 と対向しており、且つ X 軸方向において光入射部 4 と対向している。

【 0 0 8 8 】

第 2 ミラー面 3 2 は、第 1 ミラー面 3 1 に平行なミラー面（例えば、全反射ミラー面）であり、第 1 ミラー面 3 1 に対して光入射部 4 とは反対側に位置するように光学ブロック 3 5 に形成されている。第 2 ミラー面 3 2 は、測定光 L 0 を反射する機能、及びレーザ光 L 1 0 を反射する機能を有している。第 2 ミラー面 3 2 は、例えば金属膜によって形成されている。第 2 ミラー面 3 2 は、Z 軸方向から見た場合にミラーデバイス 2 0 の可動ミラー 2 2 のミラー面 2 2 a と重なっており、且つ X 軸方向から見た場合に第 1 ミラー面 3 1 と重なっている。つまり、第 2 ミラー面 3 2 は、Z 軸方向において可動ミラー 2 2 と対向しており、且つ X 軸方向において第 1 ミラー面 3 1 と対向している。

10

【 0 0 8 9 】

光学面 3 3 a は、Z 軸方向に垂直な面であり、第 1 ミラー面 3 1 に対してミラーデバイス 2 0 とは反対側に位置するように光学ブロック 3 5 に形成されている。光学面 3 3 b は、Z 軸方向に垂直な面であり、第 2 ミラー面 3 2 に対してミラーデバイス 2 0 側に位置するように光学ブロック 3 5 に形成されている。光学面 3 3 c は、Z 軸方向に垂直な面であり、第 1 ミラー面 3 1 に対してミラーデバイス 2 0 側に位置するように光学ブロック 3 4 に形成されている。光学面 3 3 b 及び光学面 3 3 c は、同一平面上に位置している。光学面 3 3 d は、X 軸方向に垂直な面であり、第 1 ミラー面 3 1 に対して光入射部 4 側に位置するように光学ブロック 3 4 に形成されている。各光学面 3 3 a、3 3 b、3 3 c、3 3 d は、測定光 L 0 を透過させる機能、及びレーザ光 L 1 0 を透過させる機能を有している。

20

【 0 0 9 0 】

以上のように構成されたビームスプリッタユニット 3 は、同一平面上に位置する光学面 3 3 b 及び光学面 3 3 c が例えば光学接着剤によって光透過部材 1 1 2 の表面 1 1 2 a に固定されることで、光透過部材 1 1 2 に取り付けられている。ビームスプリッタユニット 3 が光透過部材 1 1 2 に取り付けられる際には、図 9 に示されるように、支持体 9 に形成された基準孔 9 b を基準として、X 軸方向及び Y 軸方向におけるビームスプリッタユニット 3 の位置、及び Z 軸方向に垂直平行な平面内でのビームスプリッタユニット 3 の角度が調整される。なお、図 9 では、第 2 支持構造 1 2 の図示が省略されている。

30

【 0 0 9 1 】

ここで、ミラーユニット 2 及びビームスプリッタユニット 3 における測定光 L 0 の光路及びレーザ光 L 1 0 の光路について、図 1 0 を参照して詳細に説明する。

【 0 0 9 2 】

図 1 0 に示されるように、光学面 3 3 d を介してビームスプリッタユニット 3 に X 軸方向に沿って測定光 L 0 が入射すると、測定光 L 0 の一部は、第 1 ミラー面 3 1 を透過して第 2 ミラー面 3 2 で反射され、光学面 3 3 b 及び光透過部材 1 1 2 を介して可動ミラー 2 2 のミラー面 2 2 a に至る。当該測定光 L 0 の一部は、可動ミラー 2 2 のミラー面 2 2 a で反射され、同一の光路 P 1 上を逆方向に進行して第 1 ミラー面 3 1 で反射される。測定光 L 0 の残部は、第 1 ミラー面 3 1 で反射され、光学面 3 3 c、光透過部材 1 1 2、ミラーデバイス 2 0 の光通過開口 2 4、及び光学機能部材 1 3 の光透過部 1 4 を介して、固定ミラー 1 6 のミラー面 1 6 a に至る。当該測定光 L 0 の残部は、固定ミラー 1 6 のミラー面 1 6 a で反射され、同一の光路 P 2 上を逆方向に進行して第 1 ミラー面 3 1 を透過する。第 1 ミラー面 3 1 で反射された測定光 L 0 の一部と、第 1 ミラー面 3 1 を透過した測定光 L 0 の残部とは、干渉光 L 1 となり、当該測定光の干渉光 L 1 は、光学面 3 3 a を介してビームスプリッタユニット 3 から Z 軸方向に沿って出射される。

40

【 0 0 9 3 】

一方、光学面 3 3 a を介してビームスプリッタユニット 3 に Z 軸方向に沿ってレーザ光

50

L10が入射すると、レーザ光L10の一部は、第1ミラー面31及び第2ミラー面32で反射され、光学面33b及び光透過部材112を介して可動ミラー22のミラー面22aに至る。当該レーザ光L10の一部は、可動ミラー22のミラー面22aで反射され、同一の光路P3上を逆方向に進行して第1ミラー面31で反射される。レーザ光L10の残部は、第1ミラー面31を透過し、光学面33c、光透過部材112、ミラーデバイス20の光通過開口24、及び光学機能部材13の光透過部14を介して、固定ミラー16のミラー面16aに至る。当該レーザ光L10の残部は、固定ミラー16のミラー面16aで反射され、同一の光路P4上を逆方向に進行して第1ミラー面31を透過する。第1ミラー面31で反射されたレーザ光L10の一部と、第1ミラー面31を透過したレーザ光L10の残部とは、干渉光L11となり、当該レーザ光の干渉光L11は、光学面33aを介してビームスプリッタユニット3からZ軸方向に沿って出射される。

10

【0094】

以上のように、ミラーデバイス20の光通過開口24は、ビームスプリッタユニット3と固定ミラー16との間の光路のうち、測定光L0の光路P2の第1部分P2a、及びレーザ光L10の光路P4の第1部分P4aを構成している。また、光学機能部材13の光透過部14は、ビームスプリッタユニット3と固定ミラー16との間の光路のうち、測定光L0の光路P2の第2部分P2b、及びレーザ光L10の光路P4の第2部分P4bを構成している。

【0095】

測定光L0の光路P2の第2部分P2bが光透過部14によって構成されることで、測定光L0の光路P1の光路長（当該光路が通る各媒質の屈折率を考慮した光路長）と測定光L0の光路P2の光路長との差が小さくなるように、両光路P1、P2間の光路差が補正される。同様に、レーザ光L10の光路P4の第2部分P4bが光透過部14によって構成されることで、レーザ光L10の光路P3の光路長とレーザ光L10の光路P4の光路長との差が小さくなるように、両光路P3、P4間の光路差が補正される。本実施形態では、光透過部14の屈折率が、ビームスプリッタユニット3を構成する各光学ブロックの屈折率と等しく、X軸方向に沿った第1ミラー面31と第2ミラー面32との距離が、Z軸方向に沿った光透過部14の厚さ（すなわち、Z軸方向に沿った光透過部14の表面14aと光学機能部材13の第4表面13bとの距離）に等しい。

20

[第2支持構造及び光入射部等の構成]

30

【0096】

図1に示されるように、第2支持構造12は、連結ユニット120を有している。連結ユニット120は、本体部121と、枠体122と、固定プレート123と、を含んでいる。本体部121は、一对の側壁部124、125と、天壁部126と、を含んでいる。一对の側壁部124、125は、X軸方向において互いに対向している。X軸方向における一方の側の側壁部124には、開口124aが形成されている。天壁部126は、Z軸方向において支持体9と対向している。天壁部126には、開口126aが形成されている。本体部121は、例えば金属によって一体的に形成されている。本体部121には、複数の位置決めピン121aが設けられている。本体部121は、支持体9に形成された基準孔9b及び孔9cのそれぞれに位置決めピン121aが嵌められることで、支持体9に対して位置決めされ、その状態で、例えばボルトによって、支持体9に取り付けられている。

40

【0097】

枠体122は、側壁部124におけるビームスプリッタユニット3とは反対側の表面に配置されている。枠体122の開口は、側壁部124の開口124aを介して、ビームスプリッタユニット3と対向している。枠体122には、光入射部4が配置されている。固定プレート123は、枠体122に配置された光入射部4を本体部121に固定するための部材である（詳細については後述する）。

【0098】

第2支持構造12は、保持ユニット130を更に有している。保持ユニット130は、

50

本体部 1 3 1 と、枠体 1 3 2 と、固定プレート 1 3 3 と、を含んでいる。本体部 1 3 1 は、天壁部 1 2 6 における支持体 9 とは反対側の表面に取り付けられている。本体部 1 3 1 は、複数の位置決めピン 1 3 1 a によって、連結ユニット 1 2 0 の本体部 1 2 1 に対して位置決めされ、その状態で、例えばボルトによって、天壁部 1 2 6 に取り付けられている。本体部 1 3 1 における支持体 9 とは反対側の表面には、凹部 1 3 4 が形成されている。凹部 1 3 4 の底面には、第 1 光通過孔 1 3 5、第 2 光通過孔 1 3 6 及び第 3 光通過孔 1 3 7 が形成されている。第 1 光通過孔 1 3 5 は、Z 軸方向においてビームスプリッタユニット 3 の第 1 ミラー面 3 1 と対向する位置に形成されている。第 2 光通過孔 1 3 6 は、X 軸方向における第 1 光通過孔 1 3 5 の他方の側（すなわち、光入射部 4 とは反対側）に形成されている。第 3 光通過孔 1 3 7 は、X 軸方向における第 2 光通過孔 1 3 6 の他方の側に形成されている。

10

【 0 0 9 9 】

枠体 1 3 2 は、凹部 1 3 4 の底面に配置されている。枠体 1 3 2 の開口は、第 3 光通過孔 1 3 7 と対向している。枠体 1 3 2 には、第 2 光源 7 が配置されている。第 1 光検出器 6 は、第 1 光通過孔 1 3 5 と対向した状態で、凹部 1 3 4 の底面に配置されている。第 2 光検出器 8 は、第 2 光通過孔 1 3 6 と対向した状態で、凹部 1 3 4 の底面に配置されている。固定プレート 1 3 3 は、凹部 1 3 4 の底面に配置された第 1 光検出器 6 及び第 2 光検出器 8、並びに、枠体 1 3 2 に配置された第 2 光源 7 を、本体部 1 3 1 に固定するための部材である（詳細については後述する）。

【 0 1 0 0 】

光入射部 4 は、ホルダ 4 1 と、コリメータレンズ 4 2 と、を有している。ホルダ 4 1 は、コリメータレンズ 4 2 を保持しており、測定光 L 0 を導光する光ファイバ（図示省略）の接続が可能となるように構成されている。コリメータレンズ 4 2 は、光ファイバから出射された測定光 L 0 をコリメートする。ホルダ 4 1 に光ファイバが接続された際に、光ファイバの光軸は、コリメータレンズ 4 2 の光軸に一致する。

20

【 0 1 0 1 】

ホルダ 4 1 には、フランジ部 4 1 a が設けられている。フランジ部 4 1 a は、枠体 1 2 2 と固定プレート 1 2 3 との間に配置されている。この状態で、固定プレート 1 2 3 が例えばボルトによって側壁部 1 2 4 に取り付けられることで、枠体 1 2 2 に配置された光入射部 4 が本体部 1 2 1 に固定されている。このように、光入射部 4 は、X 軸方向におけるビームスプリッタユニット 3 の一方の側に配置されており、第 2 支持構造 1 2 によって支持されている。光入射部 4 は、第 1 光源から測定対象を介して入射した測定光 L 0 又は測定対象から発せられた測定光 L 0（本実施形態では、光ファイバによって導光された測定光 L 0）をビームスプリッタユニット 3 に入射させる。

30

【 0 1 0 2 】

枠体 1 2 2 には、フィルタ 5 4 が取り付けられている。フィルタ 5 4 は、レーザ光 L 1 0 をカットする機能を有している。フィルタ 5 4 は、光入射部 4 の光軸に対して傾斜した状態で、側壁部 1 2 4 の開口 1 2 4 a 内に配置されている。フィルタ 5 4 は、X 軸方向から見た場合に枠体 1 2 2 の開口を塞いでいる。このように、フィルタ 5 4 は、光入射部 4 とビームスプリッタユニット 3 との間に配置されており、光入射部 4 の光軸に対して傾斜した状態で第 2 支持構造 1 2 によって支持されている。本実施形態では、フィルタ 5 4 の光学面は、Z 軸方向に平行な面であり、且つ Y 軸方向と $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の角度を成す面である。なお、光入射部 4 の光軸は、X 軸方向に平行である。

40

【 0 1 0 3 】

これにより、レーザ光 L 1 0 と同一の波長帯の光が測定光 L 0 に含まれていたとしても、当該光がビームスプリッタユニット 3 に入射することが防止されるため、レーザ光の干渉光 L 1 1 の検出結果に基づいて Z 軸方向における可動ミラー 2 2 の位置を精度良く取得することができる。更に、フィルタ 5 4 が、光入射部 4 の光軸に対して傾斜しているため、レーザ光 L 1 0 と同一の波長帯の光を干渉光学系外に反射させて、当該光が迷光となるのを確実に防止することができる。本実施形態では、X 軸方向に沿ってビームスプリッタ

50

ユニット3から出射されたレーザ光L10と同一の波長帯の光は、フィルタ54で反射されて、第2支持構造12の本体部121における一対の側壁部124, 125間から干渉光学系外に出される。これにより、当該光が迷光となるのを確実に防止することができる。

【0104】

第1光検出器6は、ホルダ61と、光検出素子62と、集光レンズ63と、を有している。ホルダ61は、光検出素子62及び集光レンズ63を保持している。光検出素子62は、測定光の干渉光L1を検出する。光検出素子62は、例えばInGaAsフォトダイオードである。集光レンズ63は、光検出素子62に入射する測定光の干渉光L1を光検出素子62に集光する。ホルダ61において、光検出素子62の光軸と集光レンズ63の光軸とは、互いに一致している。

10

【0105】

ホルダ61には、フランジ部61aが設けられている。フランジ部61aは、本体部131の凹部134の底面と固定プレート133との間に配置されている。この状態で、固定プレート133が例えばボルトによって本体部131に取り付けられることで、凹部134の底面に配置された第1光検出器6が本体部131に固定されている。このように、第1光検出器6は、Z軸方向におけるビームスプリッタユニット3の一方の側に配置されており、第2支持構造12によって支持されている。第1光検出器6は、Z軸方向においてビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31と対向している。第1光検出器6は、ビームスプリッタユニット3から出射された測定光の干渉光L1を検出する。

【0106】

第2光検出器8は、ホルダ81と、光検出素子82と、集光レンズ83と、を有している。ホルダ81は、光検出素子82及び集光レンズ83を保持している。光検出素子82は、レーザ光の干渉光L11を検出する。光検出素子82は、例えばSiフォトダイオードである。集光レンズ83は、光検出素子82に入射するレーザ光の干渉光L11を光検出素子82に集光する。ホルダ81において、光検出素子82の光軸と集光レンズ83の光軸とは、互いに一致している。

20

【0107】

ホルダ81には、フランジ部81aが設けられている。フランジ部81aは、本体部131の凹部134の底面と固定プレート133との間に配置されている。この状態で、固定プレート133が例えばボルトによって本体部131に取り付けられることで、凹部134の底面に配置された第2光検出器8が本体部131に固定されている。このように、第2光検出器8は、Z軸方向におけるビームスプリッタユニット3の一方の側に配置されており、第2支持構造12によって支持されている。第2光検出器8は、ビームスプリッタユニット3から出射されたレーザ光の干渉光L11を検出する。

30

【0108】

第2光源7は、ホルダ71と、発光素子72と、コリメータレンズ73と、を有している。ホルダ71は、発光素子72及びコリメータレンズ73を保持している。発光素子72は、レーザ光L10を出射する。発光素子72は、例えばVCSEL等の半導体レーザである。コリメータレンズ73は、発光素子72から出射されたレーザ光L10をコリメートする。ホルダ71において、発光素子72の光軸とコリメータレンズ73の光軸とは、互いに一致している。

40

【0109】

ホルダ71には、フランジ部71aが設けられている。フランジ部71aは、枠体132と固定プレート133との間に配置されている。この状態で、固定プレート133が例えばボルトによって本体部131に取り付けられることで、枠体132に配置された第2光源7が本体部131に固定されている。このように、第2光源7は、Z軸方向におけるビームスプリッタユニット3の一方の側に配置されており、第2支持構造12によって支持されている。第2光源7は、ビームスプリッタユニット3に入射させるレーザ光L10を出射する。

【0110】

50

以上のように、保持ユニット130は、第1光検出器(第1光デバイス)6、第2光検出器(第2光デバイス)8及び第2光源(第3光デバイス)7が同一の側を向くように、且つ、第1光検出器6、第2光検出器8、第2光源7の順序で並ぶように、第1光検出器6、第2光検出器8及び第2光源7を保持している。本実施形態では、保持ユニット130は、Z軸方向におけるビームスプリッタユニット3の一方の側において、第1光検出器6、第2光検出器8及び第2光源7がZ軸方向における他方の側(すなわち、ビームスプリッタユニット3側)を向くように、第1光検出器6、第2光検出器8及び第2光源7を保持している。また、保持ユニット130は、X軸方向における一方の側(すなわち、光入射部4側)から第1光検出器6、第2光検出器8、第2光源7の順序で並ぶように、第1光検出器6、第2光検出器8及び第2光源7を保持している。

10

【0111】

保持ユニット130の本体部131には、第1ミラー51、第2ミラー52及び第3ミラー53が取り付けられている。第1ミラー51は、第1光通過孔135に対して第1光検出器6とは反対側に位置するように、保持ユニット130によって保持されている。第2ミラー52は、第2光通過孔136に対して第2光検出器8とは反対側に位置するように、保持ユニット130によって保持されている。第3ミラー53は、第3光通過孔137に対して第2光源7とは反対側に位置するように、保持ユニット130によって保持されている。

【0112】

第1ミラー51は、測定光L0を透過させ且つレーザ光L10を反射する機能を有し、且つ第1光検出器6の光軸に対して傾斜したダイクロイックミラーである。第1ミラー51は、ビームスプリッタユニット3と第1光検出器6との間に配置されている。つまり、第1ミラー51は、ビームスプリッタユニット3及び第1光検出器6と対向するように配置されている。本実施形態では、第1ミラー51の光学面は、Y軸方向に平行な面であり、且つZ軸方向と45°の角度を成す面である。なお、第1光検出器6の光軸は、Z軸方向に平行である。

20

【0113】

第2ミラー52は、レーザ光L10の一部を反射し且つレーザ光L10の残部を透過させる機能を有し、且つ第1ミラー51に平行なミラー(例えば、ハーフミラー)である。第2ミラー52は、X軸方向から見た場合に第1ミラー51と重なるように、且つZ軸方向から見た場合に第2光検出器8と重なるように、配置されている。つまり、第2ミラー52は、第1ミラー51及び第2光検出器8と対向するように配置されている。本実施形態では、第2ミラー52の光学面は、Y軸方向に平行な面であり、且つZ軸方向と45°の角度を成す面である。

30

【0114】

第3ミラー53は、レーザ光L10を反射する機能を有し、且つ第2ミラー52に平行なミラー(例えば、全反射ミラー)である。第3ミラー53は、X軸方向から見た場合に第2ミラー52と重なるように、且つZ軸方向から見た場合に第2光源7と重なるように、配置されている。つまり、第3ミラー53は、第2ミラー52及び第2光源7と対向するように配置されている。本実施形態では、第3ミラー53の光学面は、Y軸方向に平行な面であり、且つZ軸方向と45°の角度を成す面である。

40

【0115】

保持ユニット130の本体部131には、アパーチャ55が取り付けられている。アパーチャ55は、第1ミラー51と第1光検出器6との間に位置するように、保持ユニット130によって保持されている。アパーチャ55は、Z軸方向から見た場合に円形状を呈する開口が形成された部材であり、第1光通過孔135内に配置されている。

【0116】

ビームスプリッタユニット3からZ軸方向に沿って出射された測定光の干渉光L1は、第1ミラー51を透過して、アパーチャ55を介して第1光検出器6に入射し、第1光検出器6によって検出される。一方、第2光源7から出射されたレーザ光L10は、第3ミ

50

ラー 5 3 で反射されて第 2 ミラー 5 2 を透過し、第 1 ミラー 5 1 で反射されて Z 軸方向に沿ってビームスプリッタユニット 3 に入射する。ビームスプリッタユニット 3 から Z 軸方向に沿って出射されたレーザ光の干渉光 L 1 1 は、第 1 ミラー 5 1 及び第 2 ミラー 5 2 で反射されて第 2 光検出器 8 に入射し、第 2 光検出器 8 によって検出される。

〔作用及び効果〕

【0117】

以上説明したミラーデバイス 2 0 では、ベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a (Z 軸方向における一方の側の表面) が、ミラー面 2 2 a よりも一方の側に位置している。これにより、ベース 2 1 によってミラー面 2 2 a を保護することができ、例えば、運搬時等における直接的な接触によってミラー面 2 2 a が損傷するのを抑制することができる。更に、ミラーデバイス 2 0 では、ベース 2 1 を構成する支持層 1 0 1 が、ベース 2 1 を構成するデバイス層 1 0 2 よりも厚い。これにより、ミラー面 2 2 a に対するベース 2 1 の突出量を確保することができ、ベース 2 1 によってミラー面 2 2 a を効果的に保護することができる。よって、ミラーデバイス 2 0 によれば、信頼性を高めることができる。なお、「ベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a が、ミラー面 2 2 a よりも一方の側に位置している」とは、「第 1 表面 2 1 a の少なくとも一部が、ミラー面 2 2 a よりも一方の側に位置している」ことを意味する。ミラーデバイス 2 0 では、第 1 表面 2 1 a の全体が、ミラー面 2 2 a よりも Z 軸方向の一方の側に位置している。換言すれば、ミラー面 2 2 a の全体が、第 1 表面 2 1 a よりも Z 軸方向の他方の側に位置している。「ベースにおける Z 軸方向の一方の側の表面」は、換言すれば、「ベースにおける Z 軸方向の一方の側の端面」又は「ベースの表面のうち、Z 軸方向において最も一方の側に位置する表面」である。

【0118】

梁部 2 2 4 における Z 軸方向の一方の側の端面 (端面 2 2 4 a s , 2 2 4 b s , 2 2 4 c s) が、ミラー面 2 2 a よりも一方の側に位置している。これにより、梁部 2 2 4 によってもミラー面 2 2 a を保護することができる。更に、梁部 2 2 4 によって可動部 2 2 b の移動中の変形を抑制することもできる。

【0119】

梁部 2 2 4 が、Z 軸方向から見た場合に配置部 2 2 1 の外縁に沿って延在するように、配置部 2 2 1 における一方の側の表面上に配置された内側梁部 2 2 4 a を有している。これにより、内側梁部 2 2 4 a がミラー面 2 2 a の近くに配置されるため、ミラー面 2 2 a をより効果的に保護することができる。更に、内側梁部 2 2 4 a が配置部 2 2 1 上に配置されるため、配置部 2 2 1 の変形をより好適に抑制することができる。

【0120】

梁部 2 2 4 が、Z 軸方向から見た場合に枠部 2 2 2 に沿って延在するように、枠部 2 2 2 における一方の側の表面上に配置された外側梁部 2 2 4 b を有している。これにより、梁部 2 2 4 によってミラー面 2 2 a をより一層効果的に保護することができる。更に、外側梁部 2 2 4 b によって枠部 2 2 2 の変形を抑制することができ、ひいては枠部 2 2 2 の変形に起因する配置部 2 2 1 の変形を抑制することができる。

【0121】

梁部 2 2 4 を構成する支持層 1 0 1 が、ベース 2 1 を構成する支持層 1 0 1 よりも薄い。これにより、可動部 2 2 b の移動中に梁部 2 2 4 がベース 2 1 から突出するのを抑制することができ、Z 軸方向における可動部 2 2 b の移動量を増加させることが可能となる。

【0122】

ベース 2 1 には、支持層 1 0 1 の表面 1 0 1 a (Z 軸方向における一方の側の表面) からデバイス層 1 0 2 に至り、Z 軸方向から見た場合に開口 2 1 3 を囲むように延在する溝部 2 1 6 が形成されている。これにより、溝部 2 1 6 によって電極パッド 2 1 1 の電氣的絶縁性を確実化することができ、信頼性を一層高めることができる。

【0123】

電極パッド 2 1 1 が、開口 2 1 3 の底面 2 1 4 及び側面 2 1 5 にわたって延在している。これにより、電極パッド 2 1 1 を大面積化することができる。電極パッド 2 1 1 を構成

10

20

30

40

50

する金属層が、ミラー面 2 2 a を構成する金属層よりも厚い。この場合、ミラー面 2 2 a の変形を抑制することができると共に、電極パッド 2 1 1 への電氣的接続を確実化することが可能となる。すなわち、ミラー面 2 2 a の反りを抑制するために、ミラー面 2 2 a を構成する金属層は薄いことが好ましい。電極パッド 2 1 1 を構成する金属層が厚いことで、ワイヤーボンディング工程におけるボンディング性能を高めることができる。仮に、電極パッド 2 1 1 が薄過ぎると、ワイヤを設けることができなかつたり、十分な密着力が得られないことが懸念されるが、ミラーデバイス 2 0 では、そのような事態を抑制することができる。

【 0 1 2 4 】

ミラーユニット 2 では、光学機能部材 1 3 の光透過部 1 4 によって、ビームスプリッタユニット 3 と可動ミラー 2 2 との間の光路と、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路との間に生じる光路長差を補正することができる。「光路長差を補正する」とは、ビームスプリッタユニット 3 と可動ミラー 3 3 との間の光路の光路長（当該光路が通る各媒質の屈折率を考慮した光路長）と、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路の光路長と、の差を小さくすることを意味する。更に、ミラーユニット 2 では、例えば、「ミラー面 2 2 a が、デバイス層 1 0 2 における中間層 1 0 3 とは反対側の表面上に配置され、ベース 2 1 が、支持層 1 0 1 における中間層 1 0 3 とは反対側の表面において光学機能部材 1 3 の第 3 表面 1 3 a に接合された構成」に比べて、ミラー面 2 2 a が光学機能部材 1 3 の近くに配置されている。このような構成は、光透過部 1 4 によって光路長差を補正する場合に特に有効である。すなわち、例えば、可動ミラー 2 2 を Z 軸方向に沿って往復移動させる場合の基準位置を光学機能部材 1 3 の第 3 表面 1 3 a に容易に（少ない動作量で）合わせることができる。そのため、Z 軸方向に沿った可動ミラー 2 2 の往復移動量を抑えつつ、十分な光干渉信号を取得することができる。

[変形例]

【 0 1 2 5 】

上記実施形態において、各構成の材料及び形状には、上述した材料及び形状に限らず、様々な材料及び形状を採用することができる。例えば、配置部 2 2 1 及びミラー面 2 2 a の各々は、Z 軸方向から見た場合に、矩形状、八角形状等の任意の形状を呈していてもよい。枠部 2 2 2 は、Z 軸方向から見た場合に、矩形環状、八角形環状等の任意の環形状を呈していてもよい。光通過開口 2 4 及び光通過開口 2 5 の各々は、Z 軸方向から見た場合に円形状、八角形状等の任意の形状を有していてもよい。ミラーデバイス 2 0 は、光通過開口 2 4 又は光通過開口 2 5 に代えて、ベース 2 1 に形成された孔又は切欠きを第 1 光通過部として有していてもよい。ミラーデバイス 2 0 を構成する半導体基板は、必ずしも S O I 基板でなくてもよく、第 1 半導体層、絶縁層及び第 2 半導体層を Z 軸方向における一方の側からこの順に有する基板であればよい。

【 0 1 2 6 】

内側梁部 2 2 4 a、外側梁部 2 2 4 b 及び連結梁部 2 2 4 c の各々は、任意の形状に形成されてよい。例えば、梁部は、X 軸方向又は Y 軸方向に対して斜めに延在していたり、ジグザグ状に延在していたりしてもよい。各梁部の配置、数、長さ、幅及び厚さは任意に設定されてよい。例えば、内側梁部 2 2 4 a、外側梁部 2 2 4 b 及び連結梁部 2 2 4 c の厚さは、互いに異なってもよい。これらの梁部の少なくとも 1 つが省略されてもよい。梁部 2 2 4 は、Z 軸方向から見た場合にミラー面 2 2 a を囲んでいなくてもよい。梁部 2 2 4 を構成する支持層 1 0 1 の厚さは、ベース 2 1 を構成する支持層 1 0 1 の厚さと同一であってもよい。第 1 トーションバー 2 6 6、2 7 6 及び第 2 トーションバー 2 6 7、2 7 7 の形状は限定されず、棒状等の任意の形状であってもよい。電極パッド 2 1 1 は、開口 2 1 3 の底面 2 1 4 上のみ配置され、側面 2 1 5 に至っていなくてもよい。この場合、溝部 2 1 6 は省略されてもよい。ベース 2 1 の第 2 表面 2 1 b と光学機能部材 1 3 の第 3 表面 1 3 a とは、ダイレクトボンディング以外の手段（例えば、UV 硬化樹脂等の接着剤等）によって互いに接合されていてもよい。固定ミラー 1 6 は、光学機能部材 1 3 に対してミラーデバイス 2 0 とは反対側に配置されていれば、光学機能部材 1 3 の第 4 表面 1

3 b から離れていてもよい。

【0127】

本開示の光学デバイスは、ミラーデバイスに限られず、ミラー面 2 2 a 以外の他の光学機能部が可動部 2 2 b 上に配置された光学デバイスであってもよい。他の光学機能部としては、例えば、レンズ等が挙げられる。ミラーデバイス 2 0 の駆動部 2 3 は、可動ミラー 2 2 を弾性的に支持する 3 つ以上の弾性支持部を有していてもよい。アクチュエータ部 2 8 は、静電アクチュエータに限定されず、例えば、圧電式アクチュエータ、電磁式アクチュエータ等であってもよい。上記実施形態では、可動部 2 2 b の移動方向（所定方向）がベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a に垂直な方向であったが、移動方向は、第 1 表面 2 1 a と交差する方向であればよい。ミラーデバイス 2 0 は、FTIR を構成するものに限定されず、他の光学系を構成するものであってもよい。上述した一の実施形態又は変形例における各構成は、他の実施形態又は変形例における各構成に任意に適用することができる。

10

【符号の説明】

【0128】

3 ... ビームスプリッタユニット、1 3 ... 光学機能部材、1 4 ... 光透過部（第 2 光透過部）、1 6 ... 固定ミラー、2 0 ... ミラーデバイス（光学デバイス）、2 1 ... ベース、2 1 a ... 第 1 表面（主面）、2 1 b ... 第 2 表面（主面）、2 2 a ... ミラー面（光学機能部）、2 2 b ... 可動部、2 2 1 ... 配置部、2 2 2 ... 枠部、2 2 3 ... 連結部、2 2 4 ... 梁部、2 4 ... 光透過開口（第 1 光透過部）、1 0 0 ... SOI 基板（半導体基板）、1 0 1 ... 支持層（第 1 半導体層）、1 0 1 a ... 表面、1 0 2 ... デバイス層（第 2 半導体層）、1 0 2 a ... 表面、1 0 3 ... 中間層（絶縁層）、2 1 1 ... 電極パッド、2 1 3 ... 開口、2 1 4 ... 底面、2 1 5 ... 側面、2 1 6 ... 溝部。

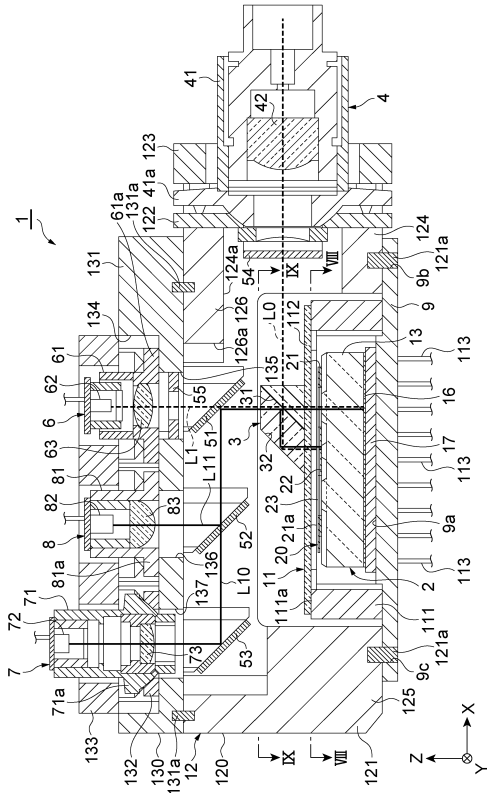
20

30

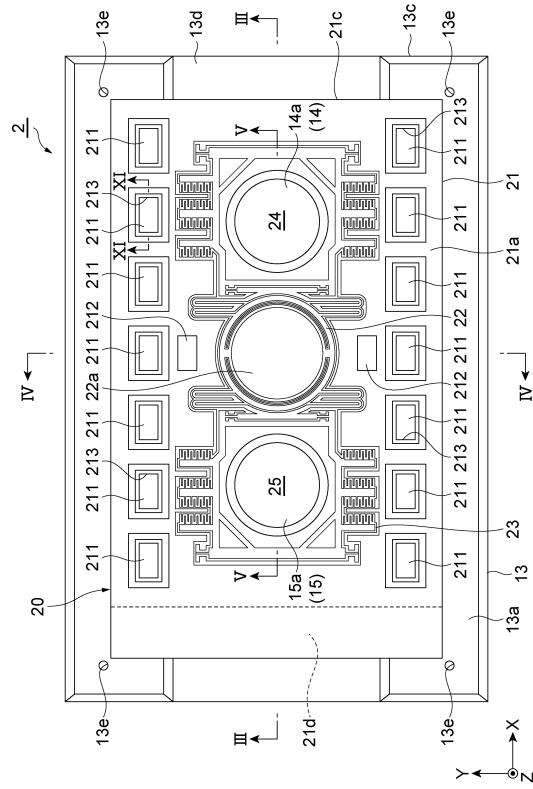
40

50

【図面】
【図 1】



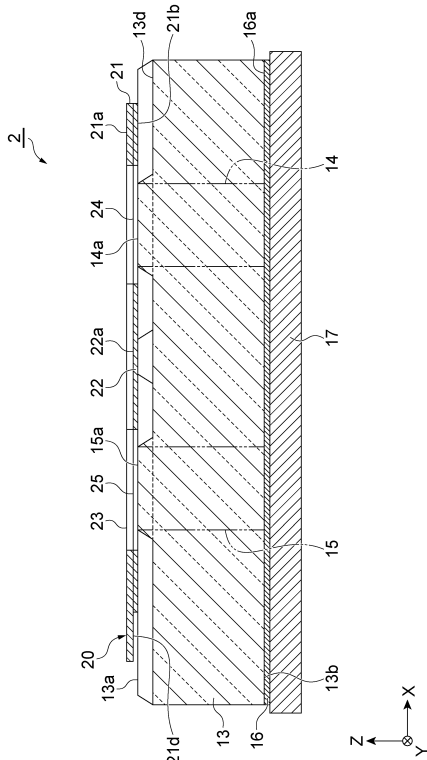
【図 2】



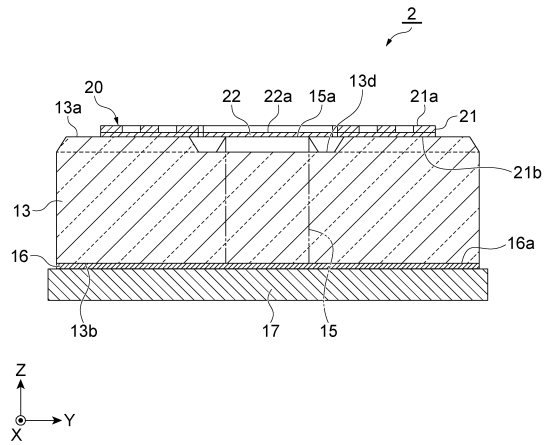
10

20

【図 3】



【図 4】

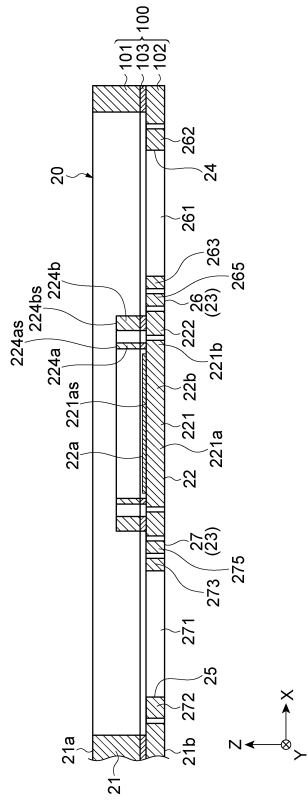


30

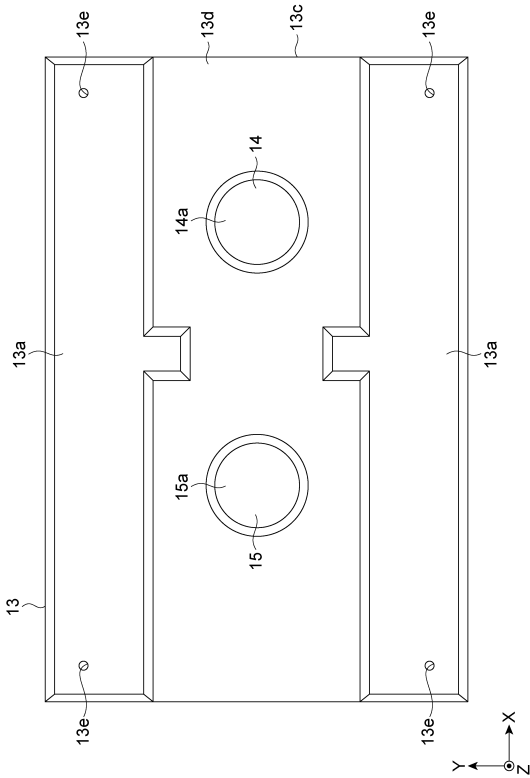
40

50

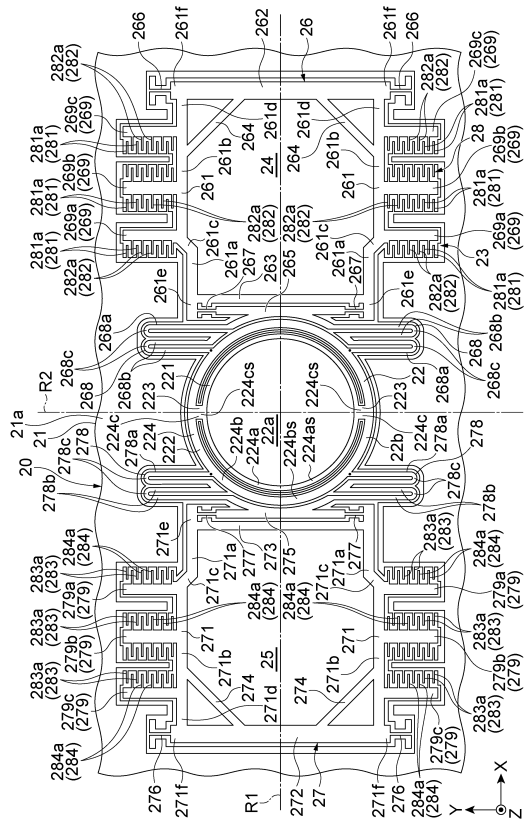
【図 5】



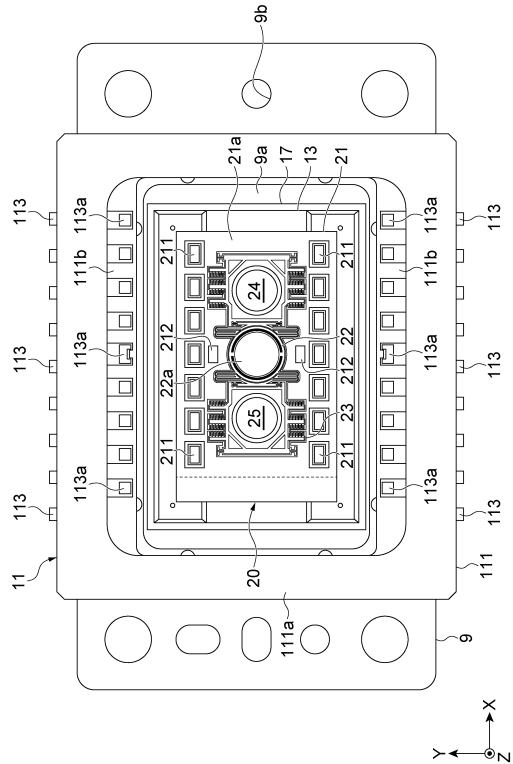
【図 7】



【図 6】



【図 8】



10

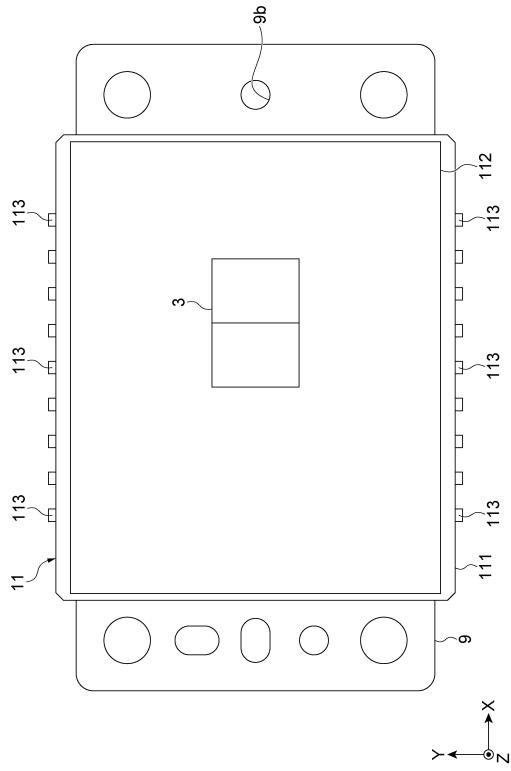
20

30

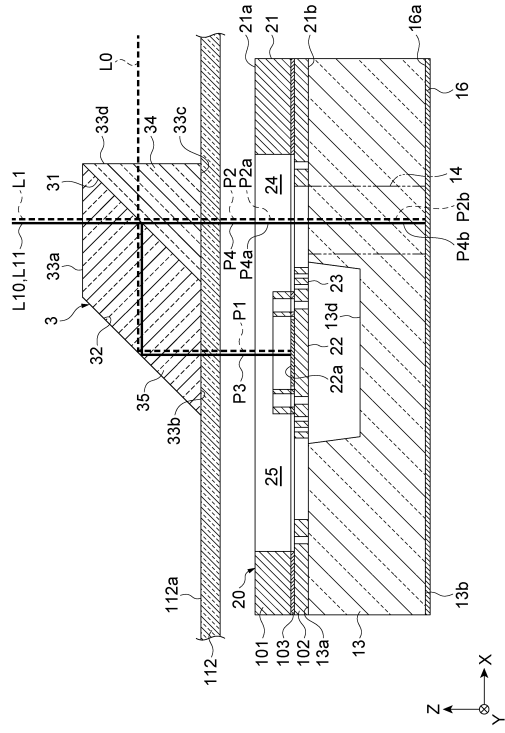
40

50

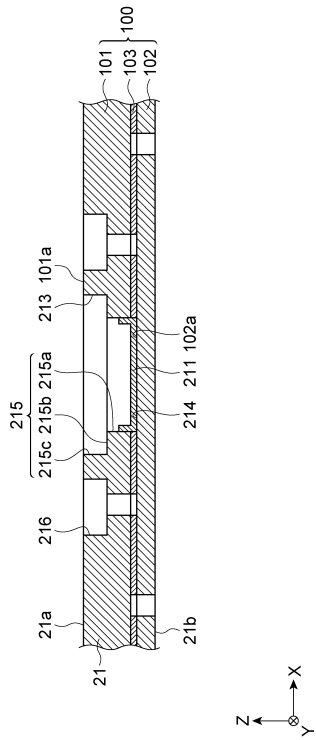
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 港谷 恭輔
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 杉本 達哉
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 蔵本 豊
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 柴山 勝己
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 細川 暢郎
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- 審査官 右田 昌士
- (56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 3 4 3 4 8 1 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 9 8 5 1 9 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 0 9 3 1 0 5 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 5 5 9 6 5 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 1 2 0 4 2 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 1 3 5 8 5 0 (U S , A 1)
中国特許出願公開第 1 0 3 2 8 8 0 3 4 (C N , A)
国際公開第 2 0 1 1 / 0 3 7 0 1 5 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 2 / 1 3 7 4 7 0 (W O , A 1)
特表 2 0 1 3 - 5 2 2 6 0 0 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 2 2 5 1 5 3 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 2 B 2 6 / 0 0 - 2 6 / 0 8
B 8 1 B 3 / 0 0