

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7112986号
(P7112986)

(45)発行日 令和4年8月4日(2022.8.4)

(24)登録日 令和4年7月27日(2022.7.27)

(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
G 0 1 J	3/45 (2006.01)	G 0 1 J	3/45
G 0 2 B	26/06 (2006.01)	G 0 2 B	26/06

請求項の数 6 (全33頁)

(21)出願番号	特願2019-81262(P2019-81262)	(73)特許権者	000236436 浜松ホトニクス株式会社
(22)出願日	平成31年4月22日(2019.4.22)		静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の
(62)分割の表示	特願2019-19793(P2019-19793)の 分割		1
原出願日	平成30年7月6日(2018.7.6)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(65)公開番号	特開2019-135559(P2019-135559 A)	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(43)公開日	令和1年8月15日(2019.8.15)	(74)代理人	100140442 弁理士 柴山 健一
審査請求日	令和3年6月8日(2021.6.8)	(72)発明者	鈴木 智史
(31)優先権主張番号	特願2017-133089(P2017-133089)		静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の
(32)優先日	平成29年7月6日(2017.7.6)	(72)発明者	1 浜松ホトニクス株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		港谷 恭輔
			静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ミラーユニット

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 表面、及び前記第 1 表面とは反対側の第 2 表面を有するベース、並びに、前記第 1 表面と交差する第 1 方向に沿って移動可能となるように前記ベースにおいて支持された可動ミラーを含むミラーデバイスと、

前記第 2 表面と対向する第 3 表面、前記第 3 表面とは反対側の第 4 表面、及び少なくとも前記可動ミラーと対向する領域において前記ミラーデバイスから離れた第 5 表面を有する部材と、を備え、

前記ベースの前記第 2 表面と前記部材の前記第 3 表面とは、互いに接合されており、

前記部材の前記第 5 表面は、前記第 1 方向から見た場合に前記部材の外縁の一部まで延在している、ミラーユニット。

10

【請求項 2】

第 1 表面、及び前記第 1 表面とは反対側の第 2 表面を有するベース、並びに、前記第 1 表面と交差する第 1 方向に沿って移動可能となるように前記ベースにおいて支持された可動ミラーを含むミラーデバイスと、

前記第 2 表面と対向する第 3 表面、前記第 3 表面とは反対側の第 4 表面、及び少なくとも前記可動ミラーと対向する領域において前記ミラーデバイスから離れた第 5 表面を有する部材と、を備え、

前記ベースの前記第 2 表面と前記部材の前記第 3 表面とは、互いに接合されており、

前記部材の前記第 5 表面は、前記第 1 方向から見た場合に前記ベースの外縁の一部を超

20

えて延在している、ミラーユニット。

【請求項 3】

前記ベースの前記第 2 表面と前記部材の前記第 3 表面とは、ダイレクトボンディングによって互いに接合されている、請求項 1 又は 2 に記載のミラーユニット。

【請求項 4】

前記ミラーデバイスは、半導体基板によって構成されており、
半導体基板は、第 1 半導体層である支持層、第 2 半導体層であるデバイス層、及び、前記支持層と前記デバイス層との間に配置された絶縁層である中間層を含み、
前記ベースの前記第 2 表面は、前記デバイス層における前記中間層とは反対側の表面であり、

前記可動ミラーのミラー面は、前記デバイス層における前記中間層側の表面に設けられている、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のミラーユニット。

【請求項 5】

前記ベースは、前記第 1 方向から見た場合における前記ベースの外縁の少なくとも一部を含む領域において前記部材から離れた第 6 表面を更に有する、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のミラーユニット。

【請求項 6】

前記第 1 方向から見た場合に、前記部材の外縁は、前記ベースの外縁の外側に位置している、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のミラーユニット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、ミラーユニット及び光モジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

SOI (Silicon On Insulator) 基板によって構成された MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスとして、ベースと、ベースの厚さ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ミラーと、を含むミラーデバイスが知られている (例えば、特許文献 1 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許出願公開 2008 / 0284078 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述したようなミラーデバイスは、高精度な 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。

【0005】

本開示は、高精度な干渉光学系をコンパクトに構成するのに好適なミラーユニット、及びそのようなミラーユニットを備える光モジュール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】

本開示の一側面のミラーユニットは、第 1 表面、及び第 1 表面とは反対側の第 2 表面を有するベース、並びに、第 1 表面と交差する第 1 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ミラーを含むミラーデバイスと、第 2 表面と対向する第 3 表面、及び第 3 表面とは反対側の第 4 表面を有する光学機能部材と、光学機能部材に対してミラーデバイスとは反対側に配置された固定ミラーと、を備え、ミラーデバイスには、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

10

20

30

40

50

、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、ベースの第2表面と光学機能部材の第3表面とは、互いに接合されている。

【0007】

このミラーユニットでは、ミラーデバイスと固定ミラーとの間に光学機能部材が配置されており、当該光学機能部材にミラーデバイスのベースが接合されている。そのため、ベースの変形が抑制された状態でベースが安定して保持される。したがって、ミラーデバイスにおいて可動ミラーを精度良く動作させることができる。更に、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光通過部がミラーデバイスに設けられており、当該光路の第2部分を構成する第2光通過部が光学機能部材に設けられて

10

【0008】

本開示の一側面のミラーユニットでは、ベースの第2表面と光学機能部材の第3表面とは、ダイレクトボンディングによって互いに接合されていてもよい。これにより、ミラーデバイスのベースと光学機能部材との強固な接合を実現することができる。

【0009】

本開示の一側面のミラーユニットでは、固定ミラーは、光学機能部材の第4表面に形成されていてもよい。これにより、ミラーデバイスの可動ミラーに対する固定ミラーの位置精度及び角度精度を向上させることができる。

20

【0010】

本開示の一側面のミラーユニットでは、光学機能部材は、少なくとも可動ミラーと対向する領域においてミラーデバイスから離れた第5表面を更に有してもよい。これにより、例えば、可動ミラーを第1方向に沿って往復移動（振動）させる場合の基準位置を光学機能部材の第3表面に合わせたとしても、可動ミラーが光学機能部材に接触するのを防止しつつ可動ミラーを第1方向に沿って往復移動させることができる。なお、可動ミラーを第1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の第3表面に合わせ得ることは、後述するように、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場合に特に有効である。

30

【0011】

本開示の一側面のミラーユニットでは、ミラーデバイスは、半導体基板によって構成されており、半導体基板は、第1半導体層である支持層、第2半導体層であるデバイス層、及び、支持層とデバイス層との間に配置された絶縁層である中間層を含み、ベースの第2表面は、デバイス層における中間層とは反対側の表面であり、可動ミラーのミラー面は、デバイス層における中間層側の表面に設けられていてもよい。半導体基板においてはデバイス層が支持層よりも薄いため、例えば「ベースの第2表面（光学機能部材との接合面）が支持層における中間層とは反対側の表面であり、可動ミラーのミラー面がデバイス層における中間層とは反対側の表面に設けられた構成」に比べ、可動ミラーのミラー面を光学機能部材に近付けることができる。したがって、例えば、可動ミラーを第1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の第3表面に容易に合わせることができる。

40

【0012】

本開示の一側面のミラーユニットでは、光学機能部材の第5表面は、第1方向から見た場合に光学機能部材の外縁まで延在していてもよい。これにより、可動ミラーと光学機能部材の第5表面との間の領域に気体が存在する場合でも、当該領域から気体が逃げ易くなるため、当該領域に存在する気体によって可動ミラーの動作が阻害されるのを抑制することができる。

【0013】

本開示の一側面のミラーユニットでは、第1光通過部は、孔であり、第2光通過部は、

50

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光透過部であり、光透過部におけるミラーデバイス側の表面は、光学機能部材の第3表面と同一平面上に位置していてもよい。これにより、例えば、可動ミラーを第1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の第3表面に合わせた場合に、ビームスプリッタユニットと可動ミラー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と固定ミラーとの間の光路の光路長と、の差が小さくなるように、両光路間の光路差を補正することができる。

【0014】

本開示の一側面のミラーユニットでは、ベースは、第1方向から見た場合におけるベース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から離れた第6表面を更に有してもよい。これにより、ベースの第2表面と光学機能部材の第3表面とを互いに接合する際に、ベースにおいて第6表面が設けられた領域を把持することでミラーデバイスのハンドリングを実施することができる。

10

【0015】

本開示の一側面のミラーユニットでは、第1方向から見た場合に、光学機能部材の外縁は、ベースの外縁の外側に位置していてもよい。これにより、ミラーデバイスのベースと光学機能部材との強固な接合を実現することができる。更に、ベースの外縁を保護することができる。

【0016】

本開示の一側面のミラーユニットは、固定ミラーを介して光学機能部材の第4表面に取り付けられた応力緩和基板を更に備えてもよい。応力緩和基板を介してミラーユニットを設置対象に設置することで、例えば、設置対象が変形したとしても、その影響が干渉光学系に及ぶのを抑制することができる。

20

【0017】

本開示の一側面の光モジュールは、上述したミラーユニットと、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、を備える。

【0018】

この光モジュールでは、上述したミラーユニットによって、高精度な干渉光学系をコンパクトに構成することが可能となる。

30

【発明の効果】

【0019】

本開示によれば、高精度な干渉光学系をコンパクトに構成するのに好適なミラーユニット、及びそのようなミラーユニットを備える光モジュールを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【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。

【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。

40

【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、変形例のビームスプリッタユニットの断面図である。

【図12】図12は、変形例のミラーユニットの模式的な断面図である。

50

【図 1 3】図 1 3 は、変形例のミラーユニットの断面図である。

【図 1 4】図 1 4 は、変形例のミラーユニットの断面図である。

【図 1 5】図 1 5 は、変形例のミラーユニットの平面図である。

【図 1 6】図 1 6 は、変形例のミラーユニットの製造工程を説明するための断面図である。

【図 1 7】図 1 7 は、変形例のミラーユニットの製造工程を説明するための断面図である。

【図 1 8】図 1 8 は、変形例のミラーデバイスの平面図である。

【図 1 9】図 1 9 は、変形例の光学機能部材の平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

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。

10

[光モジュールの構成]

【0022】

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 1 1 と、第 2 支持構造 1 2 と、を備えている。ミラーユニット 2 は、Z 軸方向（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 2 2 と、位置が固定された固定ミラー 1 6 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

【0023】

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 1 1 によって支持されている。第 1 支持構造 1 1 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 方向と交差する第 2 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。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 1 2 によって支持されている。第 2 支持構造 1 2 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

【0024】

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 2 2 及び固定ミラー 1 6 によって、測定光 L 0 及びレーザ光 L 1 0 のそれぞれについて干渉光学系が構成される。測定光 L 0 及びレーザ光 L 1 0 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。

【0025】

測定光 L 0 については、次のように、測定光の干渉光 L 1 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 L 0 又は測定対象から発せられた測定光 L 0（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 L 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、測定光 L 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、測定光 L 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 に戻った測定光 L 0 の一部及び残部は、干渉光 L 1 としてビームスプリッタユニット 3 から出射され、当該測定光の干渉光 L 1 が第 1 光検出器 6 によって検出される。

40

【0026】

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

50

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。

【 0 0 2 7 】

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。

10

[ミラーユニットの構成]

【 0 0 2 8 】

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 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。

【 0 0 2 9 】

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 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 は、第 1 表面 2 1 a に垂直な Z 軸方向 (第 1 表面と交差する第 1 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。

20

【 0 0 3 0 】

ミラーデバイス 2 0 には、一对の光通過部 2 4 , 2 5 が設けられている。一对の光通過部 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。光通過部 (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、光通過部 2 5 は、光通過部として機能していない。

30

【 0 0 3 1 】

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。

【 0 0 3 2 】

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に有している。

40

【 0 0 3 3 】

ベース 2 1 は、支持層 1 0 1、デバイス層 1 0 2 及び中間層 1 0 3 の一部によって構成されている。ベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a は、支持層 1 0 1 における中間層 1 0 3 とは反対側の表面である。ベース 2 1 の第 2 表面 2 1 b は、デバイス層 1 0 2 における中間層 1

50

03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)。

【0034】

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。

10

【0035】

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

【0036】

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。

【0037】

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、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。

30

40

【0038】

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ている。外側梁部224bの内縁は、Z軸方向から見た場合に、枠部222の内縁から所定の間隔を空けて、枠部222の内縁に沿って延在している。外側梁部224bにおけるZ軸方向の一方の側の端面224bs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。

【0039】

50

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 4 0 】

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。

10

【 0 0 4 1 】

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広い。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。

20

【 0 0 4 2 】

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 3 】

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。

30

【 0 0 4 4 】

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 5 】

一对のレバー 2 6 1 は、Y 軸方向における光通過部 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て延在している。

40

【 0 0 4 6 】

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

50

、一对のレバー 261 における可動ミラー 22 側の第 2 端部 261 e 間に掛け渡されている。第 2 リンク部材 263 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 263 の幅は、X 軸方向における第 1 リンク部材 262 の幅よりも狭い。Y 軸方向における第 2 リンク部材 263 の長さは、Y 軸方向における第 1 リンク部材 262 の長さよりも短い。

【0047】

一对の梁部材 264 は、一对のレバー 261 の第 2 部分 261 b と、第 1 リンク部材 262 との間にそれぞれ掛け渡されている。各梁部材 264 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 264 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 261、第 1 リンク部材 262、第 2 リンク部材 263 及び一对の梁部材 264 は、光通過部 24 を画定している。光通過部 24 は、Z 軸方向から見た場合に多角形状を呈している。光通過部 24 は、例えば空洞（孔）である。或いは、光通過部 24 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

【0048】

中間部材 265 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 265 は、可動ミラー 22 と第 2 リンク部材 263 との間（換言すれば、可動ミラー 22 と光通過部 24 との間）に配置されている。中間部材 265 は、後述するように、非線形性緩和バネ 268 を介して可動ミラー 22 に接続されている。

【0049】

一对の第 1 トーションバー 266 は、それぞれ、一方のレバー 261 の第 1 端部 261 d とベース 21 との間、及び、他方のレバー 261 の第 1 端部 261 d 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 266 は、一对のレバー 261 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 266 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 266 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 266 の中心線と第 1 リンク部材 262 の中心線とは、同一の直線上に位置している。各レバー 261 の第 1 端部 261 d には、Y 軸方向における外側に突出した突出部 261 f が設けられており、各第 1 トーションバー 266 は、突出部 261 f に接続されている。

20

【0050】

一对の第 2 トーションバー 267 は、それぞれ、一方のレバー 261 の第 2 端部 261 e と中間部材 265 の一端との間、及び、他方のレバー 261 の第 2 端部 261 e と中間部材 265 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 267 は、一对のレバー 261 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 267 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 267 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

【0051】

一对の非線形性緩和バネ 268 は、可動ミラー 22 と中間部材 265 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 268 は、可動ミラー 22 と第 2 トーションバー 267 との間に接続されている。各非線形性緩和バネ 268 は、Z 軸方向から見た場合に蛇行して延在する蛇行部 268 a を有している。蛇行部 268 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 268 b と、複数の直線状部分 268 b の両端を交互に連結する複数の折り返し部分 268 c と、を含んでいる。蛇行部 268 a の一端は中間部材 265 に接続され、蛇行部 268 a の他端は枠部 222 に接続されている。蛇行部 268 a 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

【0052】

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

50

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

【0053】

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、光通過部24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

【0054】

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。

【0055】

一对のレバー271は、Y軸方向における光通過部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。

30

【0056】

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。

40

【0057】

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

50

ど互いに近付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、光通過部 25 を画定している。光通過部 25 は、Z 軸方向から見た場合に多角形状を呈している。光通過部 25 は、例えば空洞（孔）である。或いは、光通過部 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。

【0058】

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 と光通過部 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。

10

【0059】

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

【0060】

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。

【0061】

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。

30

【0062】

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。

40

【0063】

複数の電極支持部 279 は、一对の第1電極支持部 279a、一对の第2電極支持部 279b、及び一对の第3電極支持部 279c を含んでいる。各電極支持部 279a、279b、279c 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 279a、279b、279c は、レバー 271 の第2部

50

分 2 7 1 b から、光通過部 2 5 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 2 7 9 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 2 7 9 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 2 7 9 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 2 7 9 a、第 2 電極支持部 2 7 9 b 及び第 3 電極支持部 2 7 9 c は、可動ミラー 2 2 側からこの順に並んで配置されている。

【 0 0 6 4 】

アクチュエータ部 2 8 は、Z 軸方向に沿って可動ミラー 2 2 を移動させる。アクチュエータ部 2 8 は、固定 歯電極 2 8 1、可動 歯電極 2 8 2、固定 歯電極 2 8 3 及び可動 歯電極 2 8 4 を有している。固定 歯電極 2 8 1、2 8 3 の位置は、固定されている。 10
可動 歯電極 2 8 2、2 8 4 は、可動ミラー 2 2 の移動に伴って移動する。

【 0 0 6 5 】

固定 歯電極 2 8 1 は、ベース 2 1 のデバイス層 1 0 2 における電極支持部 2 6 9 と向かい合う表面の一部に設けられている。固定 歯電極 2 8 1 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 2 8 1 a を有している。これらの固定 歯 2 8 1 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。

【 0 0 6 6 】

可動 歯電極 2 8 2 は、各第 1 電極支持部 2 6 9 a における可動ミラー 2 2 側の表面、各第 2 電極支持部 2 6 9 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 2 6 9 c における可動ミラー 2 2 側の表面に設けられている。可動 歯電極 2 8 2 は、Y 軸方 20
向に垂直な平面に沿って延在する複数の可動 歯 2 8 2 a を有している。これらの可動 歯 2 8 2 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。

【 0 0 6 7 】

固定 歯電極 2 8 1 及び可動 歯電極 2 8 2 においては、複数の固定 歯 2 8 1 a と複数の可動 歯 2 8 2 a とが互い違いに配置されている。つまり、固定 歯電極 2 8 1 の各固定 歯 2 8 1 a が可動 歯電極 2 8 2 の可動 歯 2 8 2 a 間に位置している。隣り合う固定 歯 2 8 1 a と可動 歯 2 8 2 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 1 a と可動 歯 2 8 2 a との間の距離は、例えば数 μm 程度である。

【 0 0 6 8 】

固定 歯電極 2 8 3 は、ベース 2 1 のデバイス層 1 0 2 における電極支持部 2 7 9 と向 30
かい合う表面の一部に設けられている。固定 歯電極 2 8 3 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 2 8 3 a を有している。これらの固定 歯 2 8 3 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。

【 0 0 6 9 】

可動 歯電極 2 8 4 は、各第 1 電極支持部 2 7 9 a における可動ミラー 2 2 側の表面、各第 2 電極支持部 2 7 9 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 2 7 9 c における可動ミラー 2 2 側の表面に設けられている。可動 歯電極 2 8 4 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 2 8 4 a を有している。これらの可動 歯 2 8 4 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。

【 0 0 7 0 】

固定 歯電極 2 8 3 及び可動 歯電極 2 8 4 においては、複数の固定 歯 2 8 3 a と複数の可動 歯 2 8 4 a とが互い違いに配置されている。つまり、固定 歯電極 2 8 3 の各固定 歯 2 8 3 a が可動 歯電極 2 8 4 の可動 歯 2 8 4 a 間に位置している。隣り合う固定 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。 40

【 0 0 7 1 】

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 50

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。

【 0 0 7 2 】

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。

【 0 0 7 3 】

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。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 4 】

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 の光透過部 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 の光透過部 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 5 】

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（第 1 方向及び第 2 方向と交差する方向）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 6 】

光学機能部材 13 の第 3 表面 13 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（SAB: Surface-activated Room-temperature Bonding）、原子拡散接合（ADB: 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 21 の第 2 表面 21 b と接合されている。本実施形態では、第 3 表面 13 a は、Y 軸方向における第 5 表面 13 d の両側において、ベース 21 に設けられた複数の電極パッド 211, 212 と対向するように延在している。ここで、第 5 表面 13 d は、第 3 表面 13 a よりも第 4 表面 13 b 側に位置しているため、第 5 表面 13 d は、可動ミラー 22 及び駆動部 23 と対向す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 14 a、及び光透過部 15 の表面 15 a は、それぞれ、ミラーデバイス 20 の光透過部 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。

【0077】

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 13 a とベース 21 の第 2 表面 21 b 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 21 d が設けられている。第 6 表面 21 d 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 21 d 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 13 a には、複数の基準孔 13 e が形成されている。本実施形態では、複数の基準孔 13 e 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 13 a に形成されている。光学機能部材 13 の第 3 表面 13 a とベース 21 の第 2 表面 21 b とが互いに接合される際には、ベース 21 のうち第 6 表面 21 d 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 13 a に形成された複数の基準孔 13 e 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 軸方向に垂直な平面内でのミラーデバイス 20 の角度が調整される。

【0078】

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 13 b 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 16 a を有している。本実施形態では、可動ミラー 22 のミラー面 22 a 及び固定ミラー 16 のミラー面 16 a 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 13 b 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。

【0079】

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 13 b 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 13 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、応力緩和基板 17 の外縁は、光学機能部材 13 の外縁 13 c 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 16

10

20

30

40

50

mm × 21 mm × 0.65 mm (厚さ) 程度のサイズを有している。

【0080】

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]

【0081】

図1及び図8に示されるように、第1支持構造11は、枠体111と、光透過部材112と、複数のリードピン113と、を有している。枠体111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9aに取り付けられている。枠体111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111における支持体9とは反対側の端面111aは、ミラーデバイス20のベース21の第1表面21aよりも支持体9とは反対側に位置している。

【0082】

光透過部材112は、枠体111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111の端面111aに取り付けられている。光透過部材112は、測定光L0及びレーザ光L10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111の端面111aは、ミラーデバイス20のベース21の第1表面21a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112は、ミラーデバイス20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が光透過部材112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111及び光透過部材112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。

【0083】

各リードピン113は、一端部113aが枠体111の内側に位置し且つ他端部(図示省略)が枠体111の外側に位置するように、枠体111に設けられている。リードピン113の一端部113aは、ミラーデバイス20において当該リードピン113に対応する電極パッド211、212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22を移動させるための電気信号が、複数のリードピン113を介して駆動部23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13の両側においてX軸方向に延在する段差面111bが枠体111に形成されており、各リードピン113の一端部113aは、段差面111bに配置されている。各リードピン113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113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。

【0084】

図10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112におけるミラーデバイス20とは反対側の表面112a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31、第2ミラー面32及び複数の光学面33a、33b、33c、33d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34、35が接合されることで構成されている。各光学ブロック34、35は、光学機能部材13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10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10には、例えば、Z軸方向における寸

10

20

30

40

50

法が実際よりも拡大された状態でミラーデバイス 20 が模式的に示されている。

【0085】

第1ミラー面31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34と光学ブロック35との間に形成されている。本実施形態では、第1ミラー面31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って、ミラーデバイス20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31は、測定光L0の一部を反射し且つ測定光L0の残部を透過させる機能、及びレーザ光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ている。第1ミラー面31は、例えば誘電体多層膜によって形成されている。第1ミラー面31は、Z軸方向から見た場合に、ミラーデバイス20の光通過部24、光学機能部材13の光透過部14、及び固定ミラー16のミラー面16a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31は、Z軸方向において固定ミラー16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。

10

【0086】

第2ミラー面32は、第1ミラー面31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31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35に形成されている。第2ミラー面32は、測定光L0を反射する機能、及びレーザ光L10を反射する機能を有している。第2ミラー面32は、例えば金属膜によって形成されている。第2ミラー面32は、Z軸方向から見た場合にミラーデバイス20の可動ミラー22のミラー面22a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31と重なっている。つまり、第2ミラー面32は、Z軸方向において可動ミラー22と対向しており、且つX軸方向において第1ミラー面31と対向している。

20

【0087】

光学面33aは、Z軸方向に垂直な面であり、第1ミラー面31に対してミラーデバイス20とは反対側に位置するように光学ブロック35に形成されている。光学面33bは、Z軸方向に垂直な面であり、第2ミラー面32に対してミラーデバイス20側に位置するように光学ブロック35に形成されている。光学面33cは、Z軸方向に垂直な面であり、第1ミラー面31に対してミラーデバイス20側に位置するように光学ブロック34に形成されている。光学面33b及び光学面33cは、同一平面上に位置している。光学面33dは、X軸方向に垂直な面であり、第1ミラー面31に対して光入射部4側に位置するように光学ブロック34に形成されている。各光学面33a、33b、33c、33dは、測定光L0を透過させる機能、及びレーザ光L10を透過させる機能を有している。

30

【0088】

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33b及び光学面33cが例えば光学接着剤によって光透過部材112の表面112aに固定されることで、光透過部材112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112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9b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12の図示が省略されている。

40

【0089】

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L0の光路及びレーザ光L10の光路について、図10を参照して詳細に説明する。

【0090】

図10に示されるように、光学面33d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L0が入射すると、測定光L0の一部は、第1ミラー面31を透過して第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。当該測定光L0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P1上を逆方向に進行して第1ミラー面31で反射される。測定

50

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 の光透過部 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。

【 0 0 9 1 】

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 L 1 0 が入射すると、レーザ光 L 1 0 の一部は、第 1 ミラー面 3 1 及び第 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。当該レーザ光 L 1 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 3 上を逆方向に進行して第 1 ミラー面 3 1 で反射される。レーザ光 L 1 0 の残部は、第 1 ミラー面 3 1 を透過し、光学面 3 3 c、光透過部材 1 1 2、ミラーデバイス 2 0 の光透過部 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。当該レーザ光 L 1 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 4 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 で反射されたレーザ光 L 1 0 の一部と、第 1 ミラー面 3 1 を透過したレーザ光 L 1 0 の残部とは、干渉光 L 1 1 となり、当該レーザ光の干渉光 L 1 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。

【 0 0 9 2 】

以上のように、ミラーデバイス 2 0 の光透過部 2 4 は、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路のうち、測定光 L 0 の光路 P 2 の第 1 部分 P 2 a、及びレーザ光 L 1 0 の光路 P 4 の第 1 部分 P 4 a を構成している。また、光学機能部材 1 3 の光透過部 1 4 は、ビームスプリッタユニット 3 と固定ミラー 1 6 との間の光路のうち、測定光 L 0 の光路 P 2 の第 2 部分 P 2 b、及びレーザ光 L 1 0 の光路 P 4 の第 2 部分 P 4 b を構成している。

【 0 0 9 3 】

測定光 L 0 の光路 P 2 の第 2 部分 P 2 b が光透過部 1 4 によって構成されることで、測定光 L 0 の光路 P 1 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 L 0 の光路 P 2 の光路長との差が小さくなるように、両光路 P 1、P 2 間の光路差が補正される。同様に、レーザ光 L 1 0 の光路 P 4 の第 2 部分 P 4 b が光透過部 1 4 によって構成されることで、レーザ光 L 1 0 の光路 P 3 の光路長とレーザ光 L 1 0 の光路 P 4 の光路長との差が小さくなるように、両光路 P 3、P 4 間の光路差が補正される。本実施形態では、光透過部 1 4 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 3 1 と第 2 ミラー面 3 2 との距離が、Z 軸方向に沿った光透過部 1 4 の厚さ（すなわち、Z 軸方向に沿った光透過部 1 4 の表面 1 4 a と光学機能部材 1 3 の第 4 表面 1 3 b との距離）に等しい。

[第 2 支持構造及び光入射部等の構成]

【 0 0 9 4 】

図 1 に示されるように、第 2 支持構造 1 2 は、連結ユニット 1 2 0 を有している。連結ユニット 1 2 0 は、本体部 1 2 1 と、枠体 1 2 2 と、固定プレート 1 2 3 と、を含んでいる。本体部 1 2 1 は、一对の側壁部 1 2 4、1 2 5 と、天壁部 1 2 6 と、を含んでいる。一对の側壁部 1 2 4、1 2 5 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 1 2 4 には、開口 1 2 4 a が形成されている。天壁部 1 2 6 は、Z 軸方向において支持体 9 と対向している。天壁部 1 2 6 には、開口 1 2 6 a が形成されている。本体部 1 2 1 は、例えば金属によって一体的に形成されている。本体部 1 2 1 には、複数の位置決めピン 1 2 1 a が設けられている。本体部 1 2 1 は、支持体 9 に形成された基準孔 9 b 及び孔 9 c のそれぞれに位置決めピン 1 2 1 a 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。

【 0 0 9 5 】

枠体 1 2 2 は、側壁部 1 2 4 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 1 2 2 の開口は、側壁部 1 2 4 の開口 1 2 4 a 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 1 2 2 には、光入射部 4 が配置されている。固定プレート 1 2 3 は、枠体 1 2 2 に配置された光入射部 4 を本体部 1 2 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 0 9 6 】

第 2 支持構造 1 2 は、保持ユニット 1 3 0 を更に有している。保持ユニット 1 3 0 は、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。

【 0 0 9 7 】

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 0 9 8 】

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。

【 0 0 9 9 】

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。

【 0 1 0 0 】

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

10

20

30

40

50

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。

【0101】

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。

【0102】

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。

【0103】

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。

【0104】

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。

【0105】

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。

【0106】

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。

【0107】

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

10

20

30

40

50

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。

【0108】

なお、第1光検出器6が或る側を向くとは、光検出素子62の受光面がその或る側に向いていること（すなわち、その或る側から入射した光を検出するように第1光検出器6が配置されていること）を意味する。その場合、光検出素子62のリードピンは、例えば、或る側とは反対側に延在することになる。同様に、第2光検出器8が或る側を向くとは、光検出素子82の受光面がその或る側に向いていること（すなわち、その或る側から入射した光を検出するように第2光検出器8が配置されていること）を意味する。その場合、光検出素子82のリードピンは、例えば、或る側とは反対側に延在することになる。また、第2光源7が或る側を向くとは、発光素子72の光出射面がその或る側に向いていること（すなわち、その或る側に光を出射するように第2光源7が配置されていること）を意味する。その場合、発光素子72のリードピンは、例えば、或る側とは反対側に延在することになる。また、保持ユニット130は、第2支持構造12の一部であるから、保持ユニット130が或る構成を保持しているとは、その或る構成が第2支持構造12によって支持されていることを意味する。

【0109】

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。

【0110】

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。

【0111】

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。

【0112】

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

10

20

30

40

50

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。

【0113】

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。

【0114】

ここで、ビームスプリッタユニット3と第1光検出器6との間の光路等について説明する。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ミラー53で反射されて第2ミラー52を透過し、第1ミラー51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L11は、第1ミラー51及び第2ミラー52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。

【0115】

光モジュール1では、ビームスプリッタユニット3と第1光検出器6との間の光路の長さは、ビームスプリッタユニット3と第2光検出器8との間の光路の長さよりも短く、且つビームスプリッタユニット3と第2光源7との間の光路の長さよりも短い。なお、光路の長さとは、その光路に沿っての物理的な距離を意味する。

【0116】

具体的には、光路とビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31との交点から第1光検出器6の光入射面までの距離は、光路とビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31との交点から第2光検出器8の光入射面までの距離よりも短く、且つ光路とビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31との交点から第2光源7の光出射面までの距離よりも短い。光路とビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31との交点から第1光検出器6の集光レンズ63の光入射面までの距離は、光路とビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31との交点から第2光検出器8の集光レンズ83の光入射面までの距離よりも短く、且つ光路とビームスプリッタユニット3の第1ミラー面31との交点から第2光源7のコリメータレンズ73の光出射面までの距離よりも短い。ビームスプリッタユニット3の光学面33aから第1光検出器6の光入射面までの距離は、ビームスプリッタユニット3の光学面33aから第2光検出器8の光入射面までの距離よりも短く、且つビームスプリッタユニット3の光学面33aから第2光源7の光出射面までの距離よりも短い。ビームスプリッタユニット3の光学面33aから第1光検出器6の集光レンズ63の光入射面までの距離は、ビームスプリッタユニット3の光学面33aから第2光検出器8の集光レンズ83の光入射面までの距離よりも短く、且つビームスプリッタユニット3の光学面33aから第2光源7のコリメータレンズ73の光出射面までの距離よりも短い。

【0117】

本実施形態では、光入射部4は、枠体122に対するホルダ41の角度調整が可能となるように構成されている。それに対し、第1光検出器6は、ホルダ61が本体部131の凹部134の底面に配置された際に、本体部131によって位置決めされる。そのため、第1光検出器6が位置決めされた状態で、測定光L0をビームスプリッタユニット3に入射させながら、第1光検出器6における検出強度が最大となるようにホルダ41の角度調整を実施することができる。そして、角度調整が実施された状態で、光入射部4を枠体122に固定することができる。

【0118】

同様に、第2光源7は、枠体132に対するホルダ71の角度調整が可能となるように

10

20

30

40

50

構成されている。それに対し、第2光検出器8は、ホルダ81が本体部131の凹部134の底面に配置された際に、本体部131によって位置決めされる。そのため、第2光検出器8が位置決めされた状態で、レーザ光L10を出射させながら、第2光検出器8における検出強度が最大となるようにホルダ71の角度調整を実施することができる。そして、角度調整が実施された状態で、第2光源7を枠体132に固定することができる。

【0119】

なお、光入射部4だけでなく、第1光検出器6も、本体部131の凹部134の底面に配置された枠体に対するホルダ61の角度調整が可能となるように構成されていてもよい。同様に、第2光源7だけでなく、第2光検出器8も、本体部131の凹部134の底面に配置された枠体に対するホルダ81の角度調整が可能となるように構成されていてもよい。

10

[作用及び効果]

【0120】

ミラーユニット2では、ミラーデバイス20と固定ミラー16との間に光学機能部材13が配置されており、当該光学機能部材13にミラーデバイス20のベース21が接合されている。そのため、ベース21の変形が抑制された状態でベース21が安定して保持される。したがって、ミラーデバイス20において可動ミラー22を精度良く動作させることができる。更に、ビームスプリッタユニット3と固定ミラー16との間の光路の第1部分を構成する光通過部24がミラーデバイス20に設けられており、当該光路の第2部分を構成する光透過部14が光学機能部材13に設けられている。これにより、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によって構成される干渉光学系を空間的に効率良く配置することができる。以上により、このミラーユニット2によれば、高精度な干渉光学系をコンパクトに構成することが可能となる。

20

【0121】

また、ミラーユニット2では、ベース21の第2表面21bと光学機能部材13の第3表面13aとがダイレクトボンディングによって互いに接合されている。これにより、ミラーデバイス20のベース21と光学機能部材13との強固な接合を実現することができる。

【0122】

また、ミラーユニット2では、光学機能部材13の第3表面13a(ミラーデバイス20との接合面)が、ミラーデバイス20のベース21に設けられた複数の電極パッド211, 212と対向するように延在している。これにより、各電極パッド211, 212に対するワイヤの接合を確実に実施することができる。

30

【0123】

また、ミラーユニット2では、固定ミラー16が光学機能部材13の第4表面13bに形成されている。これにより、ミラーデバイス20の可動ミラー22に対する固定ミラー16の位置精度及び角度精度を向上させることができる。更に、固定ミラー16が光学機能部材13の第4表面13bから離れている場合に比べ、光の損失を低減することができる。

【0124】

また、ミラーユニット2では、光学機能部材13が、少なくとも可動ミラー22と対向する領域においてミラーデバイス20から離れた第5表面13dを更に有している。これにより、例えば、可動ミラー22をZ軸方向に沿って往復移動(振動)させる場合の基準位置を光学機能部材13の第3表面13aに合わせたととしても、可動ミラー22が光学機能部材13に接触するのを防止しつつ可動ミラー22をZ軸方向に沿って往復移動させることができる。なお、可動ミラー22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13の第3表面13aに合わせ得ることは、後述するように、ビームスプリッタユニット3と可動ミラー22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16との間の光路と、の間に生じる光路差を補正する場合に特に有効である。

40

【0125】

50

また、ミラーユニット2では、ミラーデバイス20がSOI基板100によって構成されており、ベース21の第2表面21b（光学機能部材13との接合面）がデバイス層102における中間層103とは反対側の表面であり、可動ミラー22のミラー面22aがデバイス層102における中間層103側の表面に設けられている。SOI基板100においてはデバイス層102が支持層101よりも薄いため、例えば「ベース21の第2表面21b（光学機能部材13との接合面）が支持層101における中間層103とは反対側の表面であり、可動ミラー22のミラー面22aがデバイス層102における中間層103とは反対側の表面に設けられた構成」に比べ、可動ミラー22のミラー面22aを光学機能部材13に近付けることができる。したがって、例えば、可動ミラー22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13の第3表面13aに容易に（少ない動作量で）合わせることができる。よって、Z軸方向に沿った可動ミラー22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。

10

【0126】

また、ミラーユニット2では、光学機能部材13の第5表面13dが、Z軸方向から見た場合に光学機能部材13の外縁13cまで延在している。これにより、可動ミラー22と光学機能部材13の第5表面13dとの間の領域に気体が存在する場合でも、当該領域から気体が逃げ易くなるため、当該領域に存在する気体によって可動ミラー22の動作が阻害されるのを抑制することができる。よって、Z軸方向に沿って可動ミラー22を往復移動させるのに必要な電圧を抑えることができる。

【0127】

20

また、ミラーユニット2では、孔である光通過部24がミラーデバイス20に設けられており、ビームスプリッタユニット3と可動ミラー22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16との間の光路と、の間に生じる光路差を補正する光透過部14が光学機能部材13に設けられており、光透過部14の表面14aが光学機能部材13の第3表面13aと同一平面上に位置している。これにより、例えば、可動ミラー22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13の第3表面13aに合わせた場合に、ビームスプリッタユニット3と可動ミラー22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16との間の光路の光路長と、の差が小さくなるように、両光路間の光路差を補正することができる。

30

【0128】

特に、各光学ブロック34, 35及び光学機能部材13が同一の材料によって形成されている場合には、光が通過する材料が同一であるため、材料が持つ波長毎に異なる屈折率に差がでる性質（分散）の発生を抑制することができる。すなわち、対象となる全ての波長領域について、両光路間の光路差を補正する事ができる。なお、各光学ブロック34, 35及び光学機能部材13が類似の材料によって形成されている場合には、特定の波長について、両光路間の光路差を補正することができる。

【0129】

また、ミラーユニット2では、ベース21が、Z軸方向から見た場合におけるベース21の外縁21cの少なくとも一部を含む領域において光学機能部材13から離れた第6表面21dを更に有している。これにより、ベース21の第2表面21bと光学機能部材13の第3表面13aとを互いに接合する際に、ベース21において第6表面21dが設けられた領域を把持することでミラーデバイス20のハンドリングを実施することができる。ベース21において第6表面21dが設けられた領域を把持することで、ベース21の第2表面21b（光学機能部材13との接合面）の清浄度を確保することができ、その結果、ベース21と光学機能部材13との強固な接合を実現することができる。

40

【0130】

なお、ミラーデバイス20のベース21と光学機能部材13との接合をチップレベルで（1対1で）実施する場合には、良品のミラーデバイス20及び良品の光学機能部材13を選択することが可能となるため、ミラーユニット2の歩留りが向上する。

50

【 0 1 3 1 】

また、ミラーユニット 2 では、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 がベース 2 1 の外縁 2 1 c の外側に位置している。これにより、ミラーデバイス 2 0 のベース 2 1 と光学機能部材 1 3 との強固な接合を実現することができる。更に、ベース 2 1 の外縁 2 1 c を保護することができる。

【 0 1 3 2 】

また、ミラーユニット 2 では、固定ミラー 1 6 を介して光学機能部材 1 3 の第 4 表面 1 3 b に応力緩和基板 1 7 が取り付けられている。応力緩和基板 1 7 を介してミラーユニット 2 を設置対象（本実施形態では、支持体 9）に設置することで、例えば、設置対象が変形したとしても、その影響が干渉光学系に及ぶのを抑制することができる。

10

[変形例]

【 0 1 3 3 】

ビームスプリッタユニット 3 は、図 1 1 の (a) に示されるように、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 が形成された光学ブロック 3 5 であってもよい。また、ビームスプリッタユニット 3 は、図 1 1 の (b) に示されるように、第 1 ミラー面 3 1 が形成された光学プレート 3 6 と、第 2 ミラー面 3 2 が形成された部材 3 7 との組合せであってもよい。図 1 1 の (b) に示されるビームスプリッタユニット 3 では、光学プレート 3 6 と部材 3 7 とが互いに離れている。

【 0 1 3 4 】

また、ミラーユニット 2 では、図 1 2 に示されるように、ミラーデバイス 2 0 において、ベース 2 1 の第 2 表面 2 1 b（光学機能部材 1 3 との接合面）が支持層 1 0 1 における中間層 1 0 3 とは反対側の表面であり、可動ミラー 2 2 のミラー面 2 2 a がデバイス層 1 0 2 における中間層 1 0 3 とは反対側の表面に設けられていてもよい。この場合、ミラー面 2 2 a と同様に、複数の電極パッド 2 1 1 をデバイス層 1 0 2 における中間層 1 0 3 とは反対側の表面に設けることが可能となるため、ミラーデバイス 2 0 の製造プロセスの簡易化、及びミラーユニット 2 の組立プロセスの簡易化を図ることができる。また、第 3 表面 1 3 a よりも第 4 表面 1 3 b 側に位置する第 5 表面 1 3 d を光学機能部材 1 3 に設けなくても、可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 に対応する部分において支持層 1 0 1 を薄くすることで、可動ミラー 2 2 を Z 軸方向に沿って往復移動させた際に、可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 が光学機能部材 1 3 に接触するのを防止することができる。

20

30

【 0 1 3 5 】

また、ミラーユニット 2 では、図 1 3、図 1 4 及び図 1 5 に示されるように、ミラーデバイス 2 0 の可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 が気密空間（例えば、高い真空度が維持された気密空間、或いは窒素等の不活性ガスが充填された気密空間）に配置されていてもよい。図 1 3、図 1 4 及び図 1 5 に示されるミラーユニット 2 は、ミラーデバイス 2 0 と、光学機能部材 1 3 と、固定ミラー 1 6 と、枠体 1 8 と、光透過部材 1 9 と、を有している。光学機能部材 1 3 において、第 3 表面 1 3 a は、Z 軸方向から見た場合に第 5 表面 1 3 d を包囲するように、枠状に延在している。枠状に延在する第 3 表面 1 3 a は、ミラーデバイス 2 0 のベース 2 1 の第 2 表面 2 1 b に接合されている。光学機能部材 1 3 とベース 2 1 とは、ダイレクトボンディングによって互いに接合されている。固定ミラー 1 6 は、光学機能部材 1 3 の第 4 表面 1 3 b に形成されている。

40

【 0 1 3 6 】

枠体 1 8 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 及び駆動部 2 3 を包囲するように形成されており、ミラーデバイス 2 0 のベース 2 1 の第 1 表面 2 1 a に接合されている。枠体 1 8 は、例えばガラスによって形成されており、例えば矩形枠状を呈している。ベース 2 1 と枠体 1 8 とは、ダイレクトボンディングによって互いに接合されている。光透過部材 1 9 は、枠体 1 8 の開口を塞ぐように形成されており、枠体 1 8 におけるミラーデバイス 2 0 とは反対側の端面に接合されている。光透過部材 1 9 は、例えばガラスによって形成されており、例えば矩形板状を呈している。枠体 1 8 と光透過部材 1 9 とは、ダイレクトボンディングによって互いに接合されている。なお、光透過部

50

材 19 におけるミラーデバイス 20 側の表面のうち、枠体 18 と接合されない領域（すなわち、Z 軸方向から見た場合における枠体 18 の内側の領域）には、光モジュール 1 の感度波長の光に対する AR コート（Anti Reflection Coating）が施されている。

【0137】

本実施形態では、ベース 21 の外縁のうち、X 軸方向に延在する一方の部分及び他方の部分のそれぞれに沿って、複数の電極パッド 211 及び 1 つの電極パッド 212 が 1 列に配置されている。各列において、1 つの電極パッド 212 は、中央に位置している。枠体 18 には、各列の複数の電極パッド 211 及び 1 つの電極パッド 212 に対応するように、一対の溝 18a が形成されている。光透過部材 19 には、各列の複数の電極パッド 211 及び 1 つの電極パッド 212 に対応するように、一対の溝 19a が形成されている。これにより、溝 18a 及び溝 19a を介して各電極パッド 211, 212 にワイヤを接続することができる。

10

【0138】

図 13、図 14 及び図 15 に示されるミラーユニット 2 では、ミラーデバイス 20 の可動ミラー 22 及び駆動部 23 が気密空間に配置されているため、可動ミラー 22 及び駆動部 23 を信頼性が高い状態に維持することができる。更に、当該気密空間を減圧された状態にすることで、可動ミラー 22 及び駆動部 23 をスムーズに動作させることができる。

【0139】

図 13、図 14 及び図 15 に示されるミラーユニット 2 は、次のように効率良く製造することが可能である。まず、図 16 の (a) に示されるように、それぞれが枠体 18 となる複数の部分を含むウェハ 18W、及びそれぞれが光透過部材 19 となる部分を複数含むウェハ 19W を準備し、1 つの枠体 18 と 1 つの光透過部材 19 とが互いに対応するように、ウェハ 18W とウェハ 19W とをダイレクトボンディングによって互いに接合する（第 1 工程）。ここでは、ウェハ 19W に形成された AR コートの特性の変化を防止するために、ダイレクトボンディングとして、例えば、プラズマ活性化接合、常温接合等を選択する。

20

【0140】

続いて、図 16 の (b) に示されるように、それぞれがミラーデバイス 20 となる複数の部分を含むウェハ 20W を準備し、1 つの枠体 18 と 1 つのミラーデバイス 20 とが互いに対応するように、ウェハ 18W（ウェハ 19W が接合されたもの）とウェハ 20W とをダイレクトボンディングによって互いに接合する（第 2 工程）。ここでは、ダイレクトボンディングとして、例えば、プラズマ活性化接合、常温接合、陽極接合等を選択する。ウェハ 18W とウェハ 20W とを接合する際には、各ミラーデバイス 20 に機械的に外力を加えることが困難であるため、電圧印加による引力を利用する陽極接合が特に有効である。ダイレクトボンディングとして陽極接合を選択する場合には、ウェハ 18W としてホウケイ酸ガラスからなるウェハを選択する。

30

【0141】

続いて、図 17 の (a) に示されるように、それぞれが光学機能部材 13 となる複数の部分を含むウェハ 13W を準備し、1 つのミラーデバイス 20 と 1 つの光学機能部材 13 とが互いに対応するように、ウェハ 20W（ウェハ 18W 及びウェハ 19W が接合されたもの）とウェハ 13W とをダイレクトボンディングによって互いに接合する（第 3 工程）。ここでは、ダイレクトボンディングとして、例えば、プラズマ活性化接合、常温接合等を選択する。なお、ウェハ 13W には、それぞれが固定ミラー 16 となる複数の部分を含む固定ミラー層 16L を予め形成しておく。

40

【0142】

続いて、図 17 の (b) に示されるように、それぞれがミラーユニット 2 となる複数の部分（すなわち、それぞれが、1 つの枠体 18、1 つの光透過部材 19、1 つのミラーデバイス 20 及び 1 つの光学機能部材 13 を含む複数の部分）を含むウェハを複数のミラーユニット 2 に切断する。

【0143】

50

以上のように、それぞれが光学機能部材 1 3 となる複数の部分を含むウェハ 1 3 W (固定ミラー層 1 6 L が形成されたもの)、それぞれがミラーデバイス 2 0 となる複数の部分を含むウェハ 2 0 W、それぞれが枠体 1 8 となる複数の部分を含むウェハ 1 8 W、及びそれぞれが光透過部材 1 9 となる部分を複数含むウェハ 1 9 W を準備し、それらの接合をウェハレベルで実施した後に (接合の順序は上述したものに限定されない)、それぞれがミラーユニット 2 となる複数の部分を含むウェハを複数のミラーユニット 2 に切断する。この切断を、水を用いたブレードダイシングによって実施しても、ミラーデバイス 2 0 の可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 が気密空間に配置されているため、水によって可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 が破損するのを防止することができる。

【 0 1 4 4 】

なお、光学機能部材 1 3、枠体 1 8 及び光透過部材 1 9 の材料は、ガラスに限定されず、例えばシリコンであってもよい。特に、光学機能部材 1 3 及び光透過部材 1 9 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。光学機能部材 1 3、枠体 1 8 及び光透過部材 1 9 の材料がガラスの場合、それらの形状は、例えば、プラスト加工、エッチング等によって、形成される。光学機能部材 1 3、枠体 1 8 及び光透過部材 1 9 の材料がシリコンの場合、それらの形状は、例えばエッチングによって、形成される。

【 0 1 4 5 】

また、ミラーデバイス 2 0 の光通過部 2 4 は、図 1 8 に示されるように、ベース 2 1 に形成された切欠きであってもよい。図 1 8 に示されるミラーデバイス 2 0 では、光通過部 2 4 だけでなく、光通過部 2 5 も、ベース 2 1 に形成された切欠きである。光通過部 2 4 は、ベース 2 1 における一対のレバー 2 6 1 間の領域からベース 2 1 の外縁 2 1 c まで延在する切欠きである。光通過部 2 5 は、ベース 2 1 における一対のレバー 2 7 1 間の領域からベース 2 1 の外縁 2 1 c まで延在する切欠きである。なお、図 1 8 に示されるミラーデバイス 2 0 では、第 1 弾性支持部 2 6 が第 1 リンク部材 2 6 2 を有しおらず、第 2 弾性支持部 2 7 が第 1 リンク部材 2 7 2 を有していない。

【 0 1 4 6 】

また、光学機能部材 1 3 は、図 1 9 の (a) 及び (b) に示されるように、光透過部 1 4 に代わりに、光通過部 (第 2 光通過部) 1 3 f が設けられたものであってもよい。図 1 9 の (a) に示される光学機能部材 1 3 では、光通過部 1 3 f が、ミラーデバイス 2 0 の可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 と対向する部分を含む孔として形成されている。図 1 9 の (b) に示される光学機能部材 1 3 では、光通過部 1 3 f が、ミラーデバイス 2 0 の可動ミラー 2 2 及び駆動部 2 3 と対向する部分を含む切欠きとして形成されている。

【 0 1 4 7 】

また、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。更に、駆動部 2 3 は、静電アクチュエータとして構成されたものに限定されず、例えば、圧電式アクチュエータ、電磁式アクチュエータ等として構成されたものであってもよい。

【 0 1 4 8 】

また、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。また、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。

【 0 1 4 9 】

また、ミラーユニット 2 及び光モジュール 1 が有する各構成には、上述した材料及び形状に限定されず、様々な材料及び形状を適用することができる。また、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

20

30

40

50

【符号の説明】

【0150】

1 ... 光モジュール、2 ... ミラーユニット、3 ... ビームスプリッタユニット、13 ... 光学機能部材、13 a ... 第3表面、13 b ... 第4表面、13 c ... 外縁、13 d ... 第5表面、14 ... 光透過部（第2光透過部）、14 a ... 表面、16 ... 固定ミラー、17 ... 応力緩和基板、20 ... ミラーデバイス、21 ... ベース、21 a ... 第1表面、21 b ... 第2表面、21 c ... 外縁、21 d ... 第6表面、22 ... 可動ミラー、24 ... 光透過部（第1光透過部）、100 ... SOI基板（半導体基板）、101 ... 支持層、102 ... デバイス層、103 ... 中間層。

10

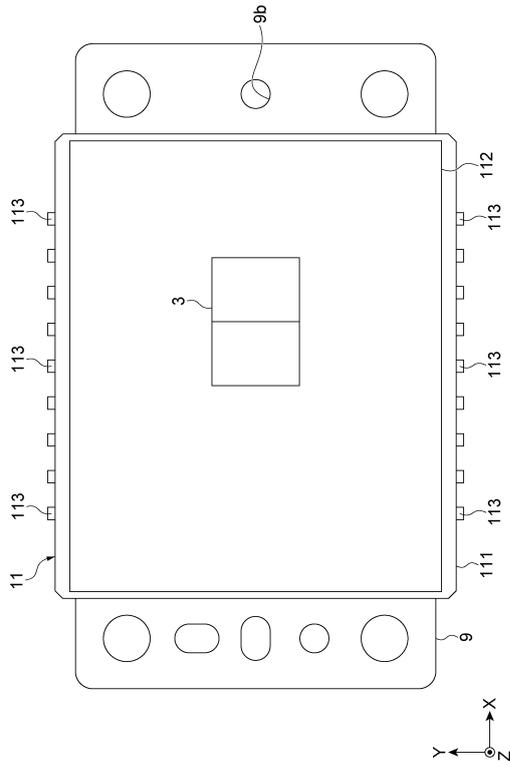
20

30

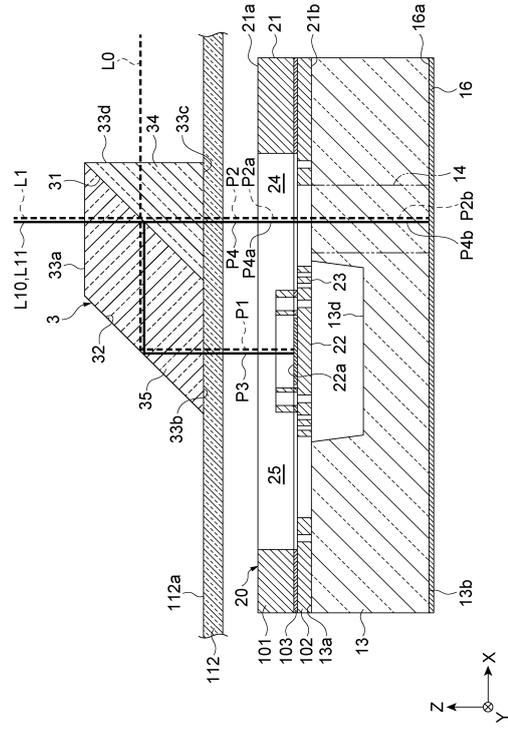
40

50

【図 9】



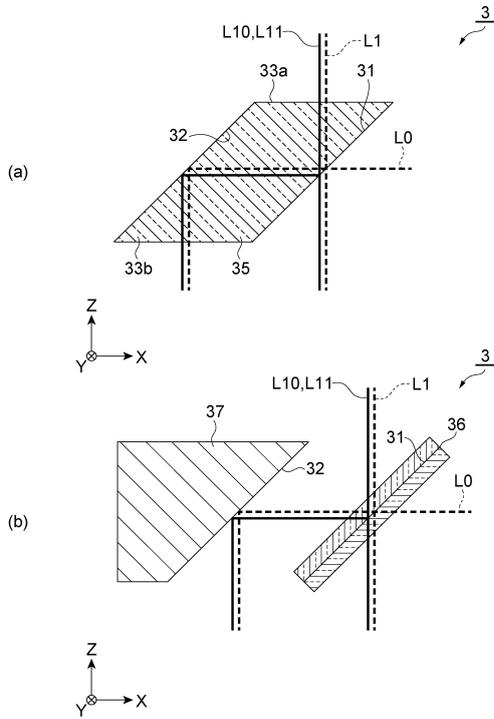
【図 10】



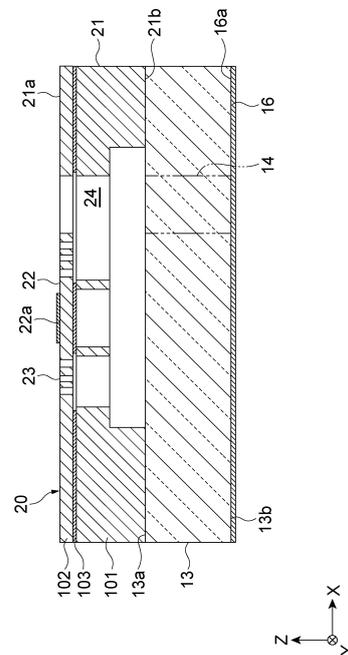
10

20

【図 11】



【図 12】

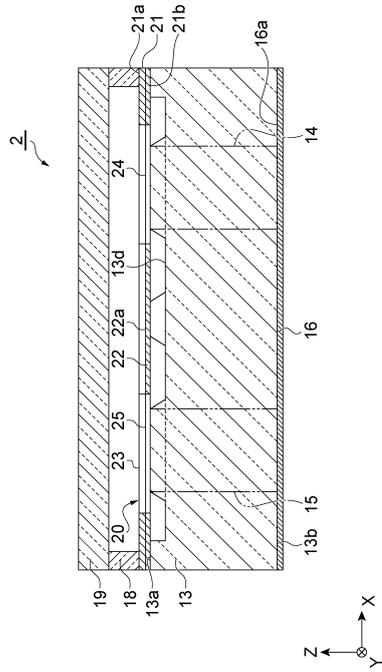


30

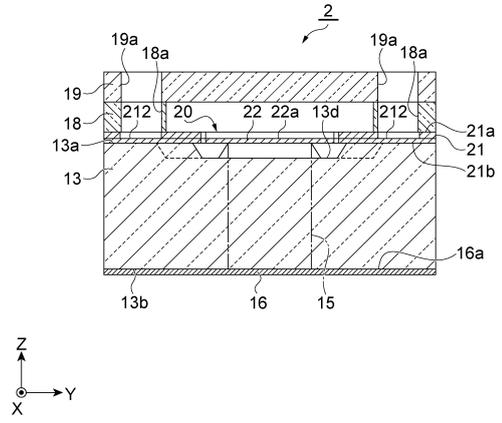
40

50

【図 1 3】



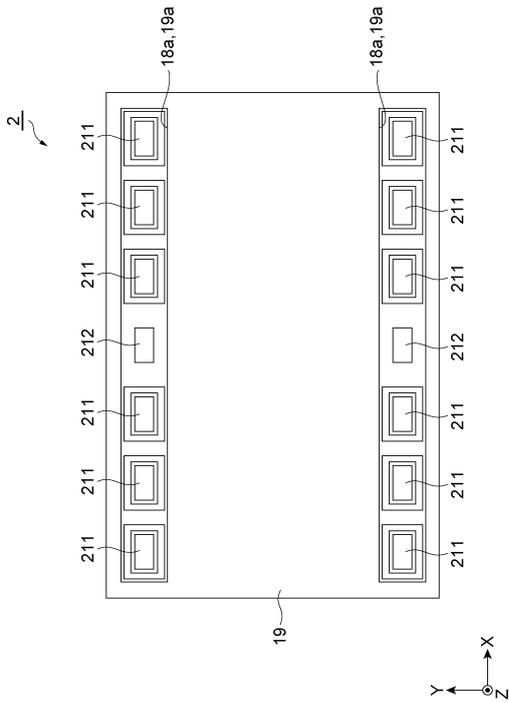
【図 1 4】



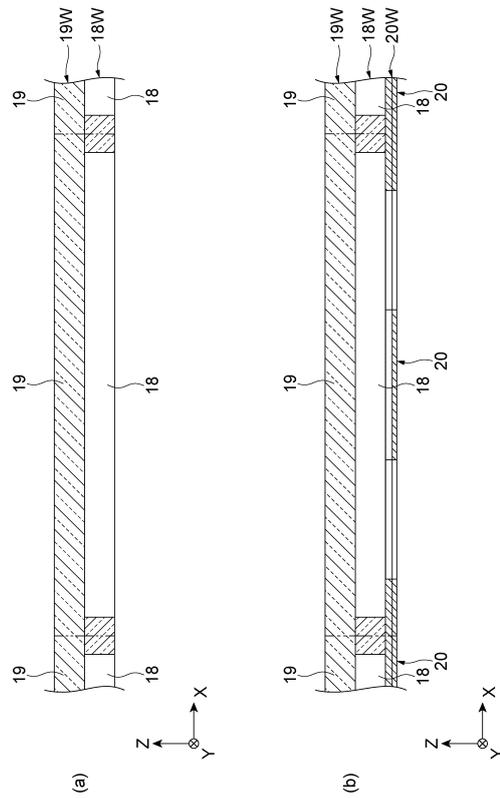
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

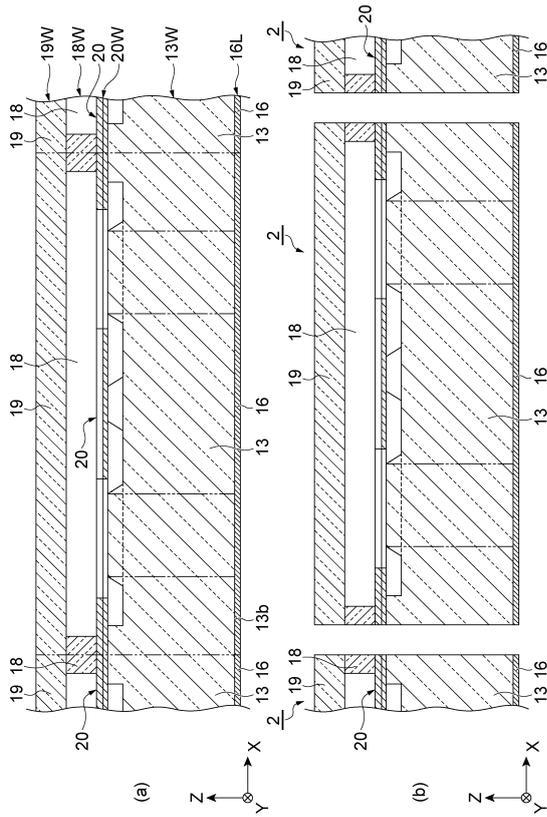


30

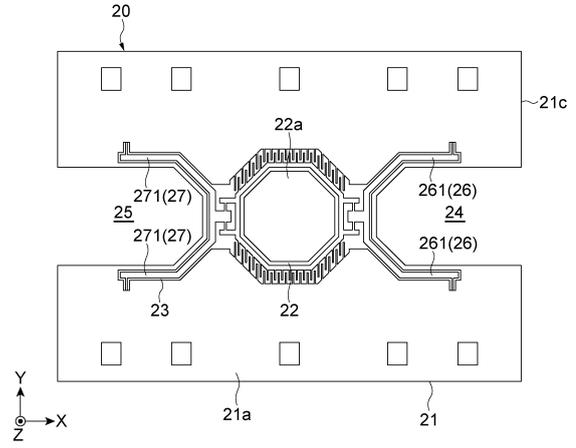
40

50

【 図 1 7 】



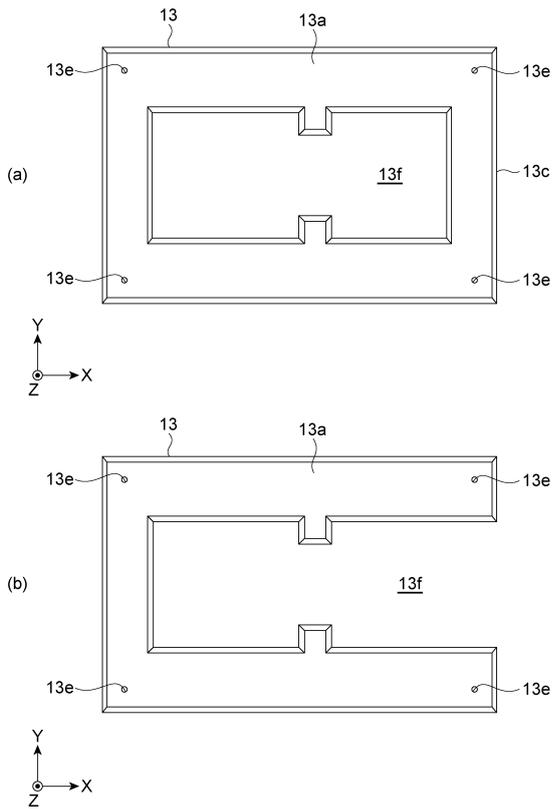
【 図 1 8 】



10

20

【 図 1 9 】



30

40

50

フロントページの続き

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
- (72)発明者 山本 宙和
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 小山 卓雄
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 鈴木 俊光

- (56)参考文献 特表 2 0 1 0 - 5 1 2 5 4 8 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 0 4 8 3 6 6 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 5 5 6 7 0 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 3 0 9 0 9 9 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 0 9 8 5 0 5 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 4 3 8 6 8 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 0 4 2 7 3 9 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 4 5 6 7 5 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 0 8 5 7 2 8 (U S , A 1)
- (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