

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年2月2日(02.02.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/017859 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 3/45 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/075105
- (22) 国際出願日: 2015年9月3日(03.09.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-150546 2015年7月30日(30.07.2015) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 藁科 禎久(WARASHINA Yoshihisa); 〒4358558 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 Shizuoka (JP). 鈴木 智史(SUZUKI Tomofumi); 〒4358558 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 Shizuoka (JP). 笠森 浩平(KASAMORI Kohei); 〒4358558 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 Shizuoka (JP). 奥村 亮介(OKUMURA Ryouosuke); 〒4358558 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 Shizuoka (JP). 港谷 恭輔(KOTANI Kyosuke); 〒4358558 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 Shizuoka (JP).

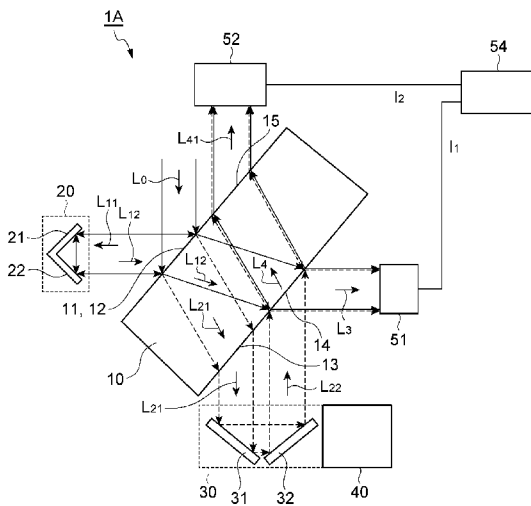
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL INTERFEROMETER

(54) 発明の名称: 光干渉計



(57) Abstract: An optical interferometer 1A equipped with a branching/multiplexing unit 10, a first optical system 20, a second optical system 30, and a drive unit 40. At the boundary between the interior and exterior of a transparent member, the branching/multiplexing unit 10 has a branching surface 11, an incident surface 12, a first emission surface 13, a multiplexing surface 14, and a second emission surface 15. The branching surface 11 reflects some of the incident light L_0 and emits said light as first branched light L_{11} , and transmits the remainder thereof into the interior as second branched light L_{21} . The multiplexing surface 14 multiplexes some of the first branched light L_{12} and some of the second branched light L_{22} and emits the same to the exterior as first multiplexed light L_3 , and multiplexes the remainders thereof and transmits the same into the interior as second multiplexed light L_4 . The second emission surface 15 emits some L_{41} of the second multiplexed light L_4 to the exterior. As a result, it is possible to produce an optical interferometer capable of reducing the proportion of excess loss.

(57) 要約: 光干渉計 1A は、分岐合波部 10、第1光学系 20、第2光学系 30 および駆動部 40 を備える。分岐合波部 10 は、透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面 11、入射面 12、第1出射面 13、合波面 14 および第2出射面 15 を有し、分岐面 11 において、入射光 L_0 の一部を反射させて第1分岐光 L_{11} として出射させるとともに、残部を第2分岐光 L_{21} として内部へ透過させ、合波面 14 において、第1分岐光 L_{12} および第2分岐光 L_{22} それぞれ一部を合波して第1合波光 L_3 として外部へ出射させるとともに、各々の残部を合波して第2合波光 L_4 として内部へ伝搬させ、第2出射面 15 において、第2合波光 L_4 の一部 L_{41} を外部へ出射させる。これにより、過剰損失の割合を低減することができる光干渉計が実現される。

WO 2017/017859 A1



ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：光干渉計

技術分野

[0001] 本発明は、光干渉計に関するものである。

背景技術

[0002] 特許文献1に記載された光干渉計は、例えばシリコンからなる分岐合波部を用い、この分岐合波部の或る一平面において、入射光の一部を反射させ残部を透過させることで第1分岐光と第2分岐光とに2分岐するとともに、これら第1分岐光と第2分岐光とを合波して合波光として出力する。すなわち、この光干渉計では、分岐合波部の一平面は、入射光を第1分岐光と第2分岐光とに2分岐する分岐面、および、第1分岐光と第2分岐光とを合波して合波光とする合波面、の双方として共通に用いられる。また、この文献に記載された光干渉計では、第1分岐光および第2分岐光のうち一方の光が分岐合波部の内部を往復する間に波長分散が生じるので、他方の光が分散補償用部材の内部を往復するようにして、波長分散の問題の解消を図っている。

[0003] 特許文献2に記載された光干渉計は、例えばシリコンからなる分岐合波部を用い、この分岐合波部の第1主面において入射光の一部を反射させ残部を透過させることで第1分岐光と第2分岐光とに2分岐し、分岐合波部の第2主面において第1分岐光と第2分岐光とを合波して合波光として出力する。すなわち、この光干渉計では、入射光を第1分岐光と第2分岐光とに2分岐する分岐面（第1主面）と、第1分岐光と第2分岐光とを合波して合波光とする合波面（第2主面）とは、別個のものとされている。この文献に記載された光干渉計では、第1分岐光および第2分岐光それぞれが分岐合波部の内部を1回のみ通過するので、波長分散の問題を抑制することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2013-504066号公報

特許文献2：特開平3－77029号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明者は、特許文献1，2に記載されたものを含め従来の光干渉計が以下のような問題を有していることを見出した。すなわち、従来の光干渉計では、入射光のうち合波光となる割合が小さく、光利用効率が悪い。一般に、光干渉計では、分岐面および合波面それぞれにおいて原理上不可避の光の損失が生じるが、これ以外にも光の損失（以下「過剰損失」という）が生じる。

[0006] 本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、過剰損失の割合を低減することができる光干渉計を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明による光干渉計は、分岐合波部，第1光学系，第2光学系および駆動部を備える。分岐合波部は、透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面，入射面，第1出射面，合波面および第2出射面を有し、分岐面と合波面とが別個のものであり、分岐面において、外部から入射した入射光の一部を反射させて第1分岐光として出射させるとともに、残部を第2分岐光として内部へ透過させ、入射面において、分岐面から第1光学系を経て入射した第1分岐光を内部へ透過させ、第1出射面において、分岐面から内部を経て到達した第2分岐光を外部へ出射させ、合波面において、入射面から内部を経て到達した第1分岐光、および、第1出射面から第2光学系を経て入射した第2分岐光のうち、各々の一部を合波して第1合波光として外部へ出射させるとともに、各々の残部を合波して第2合波光として内部へ伝搬させ、第2出射面において、合波面から内部を経て到達した第2合波光の一部を外部へ出射させる。第1光学系は、分岐面から出射された第1分岐光をミラーにより反射させて入射面に入射させる。第2光学系は、第1出射面から出射された第2分岐光をミラーにより反射させて合波面に入射させる。駆動部は、第1光学系または第2光学系の何れかのミラーを移動させて、分岐面から合波面

までの第1分岐光および第2分岐光それぞれの光路長の差を調整する。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、過剰損失の割合を低減することができる光干渉計を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、第1比較例の光干渉計2Aの構成を示す図である。

[図2]図2は、第2比較例の光干渉計2Bの構成を示す図である。

[図3]図3は、白色光を光干渉計に入射させたときのインターフェログラムを示す図である。

[図4]図4は、白色光を光干渉計に入射させたときのインターフェログラムを示す図である。

[図5]図5は、第1実施形態の光干渉計1Aの構成を示す図である。

[図6]図6は、第3比較例の光干渉計2Cの構成を示す図である。

[図7]図7は、第4比較例の光干渉計2Dの構成を示す図である。

[図8]図8は、分岐合波部10を構成する材料の屈折率と平均の干渉強度ピークとの関係を示すグラフである。

[図9]図9は、合波光 L_3 、 L_{41} のインターフェログラムを示す図である。

[図10]図10は、合波光 L_3 、 L_{41} のインターフェログラムの差を示す図である。

[図11]図11は、第1実施形態の光干渉計1Aの検出部50の回路図である。

[図12]図12は、第2実施形態の光干渉計1Bの構成を示す図である。

[図13]図13は、第2実施形態の光干渉計1Bの検出部50の回路図である。

[図14]図14は、第3実施形態の光干渉計1Cの構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する

説明を省略する。

[0011] 本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。実施形態の光干渉計の説明に先立って、実施形態と対比されるべき比較例の光干渉計について先ず説明する。

[0012] (第1比較例)

[0013] 図1は、第1比較例の光干渉計2Aの構成を示す図である。光干渉計2Aは、分岐合波部10、ミラー21、ミラー31および分散補償用部材90を備える。

[0014] 分岐合波部10は、例えばシリコンからなり、互いに平行な第1主面10aおよび第2主面10bを有する。外部から第1主面10aに入射した入射光 L_0 は、一部が第1分岐光 L_{11} として反射され、残部が第2分岐光 L_{21} として分岐合波部10の内部へ透過する。

[0015] 第1主面10aからの第1分岐光 L_{11} は、分散補償用部材90の内部を通過して、ミラー21で反射される。ミラー21で反射された第1分岐光 L_{12} は、分散補償用部材90の内部を再び通過して、第1主面10aに入射して分岐合波部10の内部へ透過する。

[0016] 第1主面10aからの第2分岐光 L_{21} は、分岐合波部10の内部を通過し、第2主面10bを透過して外部へ出射され、ミラー31で反射される。ミラー31で反射された第2分岐光 L_{22} は、第2主面10bに入射して分岐合波部10の内部へ透過し、分岐合波部10の内部を再び通過して、第1主面10aで反射される。

[0017] 第1主面10aで分岐合波部10の内部へ透過した第1分岐光 L_{12} 、および、第1主面10aで反射された第2分岐光 L_{22} は、合波されて合波光 L_3 となる。この合波光 L_3 は、分岐合波部10の内部を通過し、第2主面10bを透過して外部へ出射される。外部へ出射された合波光 L_3 は、検出部50により検出される。

[0018] この光干渉計2Aでは、分岐合波部10の第1主面10aは、入射光 L_0 を

第1分岐光 L_{11} と第2分岐光 L_{21} とに2分岐する分岐面、および、第1分岐光 L_{12} と第2分岐光 L_{22} とを合波して合波光 L_3 とする合波面、の双方として用いられる。

[0019] 例えば、ミラー21は位置が固定されており、ミラー31は、第2分岐光 L_{21} の入射方向に沿って駆動部によって移動可能である。この駆動部もMEMSにより構成され得る。ミラー31が可動であることにより、第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差が調整され得る。

[0020] この光干渉計2Aでは、分岐合波部10および分散補償用部材90は同じ材料（例えばシリコン）からなる。また、第1分岐光 L_{11} 、 L_{12} が分散補償用部材90の内部を往復する区間の光路長と、第2分岐光 L_{21} 、 L_{22} が分岐合波部10の内部を往復する区間の光路長とは、互いに等しく設定されている。これにより、波長分散の問題が解消され、第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差の波長依存性が低減される。

[0021] FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) 等の赤外分光装置において光干渉計2Aを用いる場合、分岐合波部10が石英ガラスで構成されていると、その光干渉計2Aは、石英ガラスの透過特性により近赤外域においてのみ利用することができる。また、石英ガラスの屈折率が高くないので、分岐比を調整する為の誘電体多層膜を石英ガラスの表面に形成することが必要になる。また、波長域に応じて適切な材料からなる分岐合波部10を使用することが考えられるが、波長域に応じて分岐合波部10を交換し光学調整を行うことが必要となり、不便である。また、MEMS技術で作成した光干渉計では、分岐合波部10を自由に選択することができない。

[0022] このような問題を抑制することができる点で、分岐合波部10はシリコン等の半導体材料からなるのが好適である。シリコンの屈折率が近赤外域で3.5前後であるので、シリコンと空気との間の境界面に近赤外光が垂直入射した場合、両媒質の間の屈折率差により発生するフレネル反射の反射率は30%程度となる。すなわち、シリコンからなる分岐合波部10の表面に分岐比調整の為の誘電体多層膜を設けなくても、シリコン境界面自体が適度な分岐

比を持つ分岐面となる。加えて、シリコンは、遠赤外域（数十 μm 以上）まで透明な媒質として機能するので、厚みを厳密に管理する必要はない。ただし、シリコンは、波長 $1.1\mu\text{m}$ 以下の波長域では吸収が大きくなるので、 $1.1\mu\text{m}$ 以上の赤外域が対象となる。 $1\mu\text{m}$ 以下の近赤外域では、ゲルマニウムを利用すればよい。ゲルマニウムは、中赤外域の $5\mu\text{m}$ 程度までしか利用できないが、屈折率が 4.0 程度であるので、シリコンより分岐特性は良くなる。

[0023] このように、分岐合波部 10 は、シリコンやゲルマニウムのような半導体材料により構成されることで、広帯域光を分岐および合波することができる。しかし、その一方で、光干渉計 $2A$ では、分岐および合波の際の原理上不可避の光の損失とは別に、光の過剰損失が生じる。この問題について以下に説明する。

[0024] ミラー 21 で反射された第 1 分岐光 L_{12} が第 1 主面 $10a$ に入射したときに生じる内部への透過光および反射光のうち、透過光は干渉に寄与するものの、反射光は干渉に寄与しないから損失となる。しかし、これは合波のためには不可避であり、この反射光は原理上不可避の損失となる。

[0025] 同様に、ミラー 31 で反射された第 2 分岐光 L_{22} が第 1 主面 $10a$ に入射したときに生じる反射光および透過光のうち、反射光は干渉に寄与するものの、透過光は干渉に寄与しないから損失となる。しかし、これも合波のためには不可避であり、この透過光は原理上不可避の損失となる。

[0026] しかし、第 2 分岐光 L_{21} が第 2 主面 $10b$ を透過してミラー 31 へ向かう際に第 2 主面 $10b$ で発生する反射光は、原理上不可避の損失ではなく、過剰損失となる。また、ミラー 31 で反射された第 2 分岐光 L_{22} が第 2 主面 $10b$ を透過して第 1 主面 $10a$ へ向かう際に第 2 主面 $10b$ で発生する反射光も、原理上不可避の損失ではなく、過剰損失となる。さらに、合波光 L_3 が第 2 主面 $10b$ を透過して外部へ出射される際に第 2 主面 $10b$ で発生する反射光も、原理上不可避の損失ではなく、過剰損失となる。

[0027] ここで、分岐合波部 10 の第 1 主面 $10a$ および第 2 主面 $10b$ それぞれ

における光のフレネル反射の際のパワー反射率をRとする。このとき、パワー透過率は $1 - R$ となり、分岐比は $R : (1 - R)$ となる。一般に、互いに異なる屈折率を有する2つの媒体の境界面へ光が入射する場合、入射光の偏光方位および入射角によって反射率および透過率は異なる。

[0028] 図1に示される光干渉計2Aの光学系においては、第1主面10aに入射する入射光 L_0 のうちS偏光成分は以降もS偏光成分のままであり、入射光 L_0 のうちP偏光成分は以降もP偏光成分のままである。また、第1主面10aと第2主面10bとが互いに平行であって、第1主面10aへの入射光 L_0 の入射角が45度であれば、外部から第1主面10aまたは第2主面10bへの光の入射角も全て45度であり、第1主面10aまたは第2主面10bから外部への光の出射角も全て45度である。それ故、特定の偏光成分のみに着目すれば、反射率Rは全て同じになる。また、ミラー21, 31それぞれの光の反射率を100%とする。

[0029] 分散補償用部材90を設けなかった場合には、入射光 L_0 のうち第1分岐光を経て検出部50に到達する光の利用効率 I_{M1} は、下記(1)式のとおり、第1主面10aでの反射率(R)、ミラー21での反射率(1.0)、第1主面10aでの外部から内部への透過率($1 - R$)、および、第2主面10bでの内部から外部への透過率($1 - R$)の積で計算され、 $R(1 - R)^2$ となる。

[数1]

$$I_{M1} = R \times 1.0 \times (1 - R) \times (1 - R) = R(1 - R)^2 \quad \dots (1)$$

[0030] 入射光 L_0 のうち第2分岐光を経て検出部50に到達する光の利用効率 I_{M2} は、下記(2)式のとおり、第1主面10aでの外部から内部への透過率($1 - R$)、第2主面10bでの内部から外部への透過率($1 - R$)、ミラー31での反射率(1.0)、第2主面10bでの外部から内部への透過率($1 - R$)、第1主面10aでの反射率(R)、および、第2主面10bでの内部から外部への透過率($1 - R$)の積で計算され、 $R(1 - R)^4$ となる。

[数2]

$$I_{M2} = (1-R) \times (1-R) \times 1.0 \times (1-R) \times R \times (1-R) = R(1-R)^4 \quad \dots (2)$$

[0031] 合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は下記(3)式となる。

[数3]

$$I_{pp} = 2 \times \sqrt{I_{M1} \cdot I_{M2}} = 2 \sqrt{R(1-R)^2 R(1-R)^4} = 2R(1-R)^3 \quad \dots (3)$$

[0032] 分岐合波部10がシリコンからなるとし、対象波長でのシリコンの屈折率を3.5とし、入射角を45度とすると、S偏光成分の反射率Rは約43%であり、P偏光成分の反射率Rは約19%である。したがって、入射光L₀がS偏光成分のみであれば、合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は15.9%となる。また、入射光L₀がP偏光成分のみであれば、合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は20.2%となる。入射光L₀が任意の偏光状態であれば、合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は15.9%と20.2%との間の値となる。入射光L₀がインコヒーレントな光であれば、その入射光L₀は、全ての方位の偏光成分が均等に分布していると考えられるので、合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は、S偏光とP偏光との平均的な値になり、18.1%となる。

[0033] 分散補償用部材90を設けた場合には、分散補償用部材90の境界面での光の反射率をR_cとし透過率を(1-R_c)とすると、入射光L₀のうち第1分岐光を経て検出部50に到達する光の利用効率I_{M1}は、下記(4)式のとおり計算される。合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は、下記(5)式となる。すなわち、分散補償用部材90を設けたことにより、合波光L₃の干渉強度ピークI_{pp}は、分散補償用部材90の境界面での光の透過率(1-R_c)の分だけ小さくなる。

[数4]

$$I_{M1} = R \times (1-R_c) \times 1.0 \times (1-R_c) \times (1-R) \times (1-R) = R(1-R)^2(1-R_c)^2 \quad \dots (4)$$

[数5]

$$I_{pp} = 2 \times \sqrt{I_{M1} \cdot I_{M2}} = 2 \sqrt{R(1-R)^2(1-R_c)^2 R(1-R)^4} = 2R(1-R)^3(1-R_c) \quad \dots (5)$$

[0034] 分散補償用部材90を設けた場合にも分岐合波部10については上記の同

様の条件とし、分散補償用部材 90 へ光が垂直入射するとすれば、分散補償用部材 90 の境界面での光の反射率 R_0 は偏光状態によらず 30% であるので、合波光 L_3 の S 偏光と P 偏光との平均の干渉強度ピーク I_{pp} は 12.7% となる。通常の FTIR では分散補償用部材 90 を設ける必要があるので、この 12.7% が合波光 L_3 の干渉強度ピーク I_{pp} の最大値となる。

[0035] もし、図 1 に示される光干渉計 2A の構成において過剰損失がないと仮定すると、入射光 L_0 のうち第 1 分岐光を経て検出部 50 に到達する光の利用効率 I_{M1} は、下記 (6) 式のとおり計算される。入射光 L_0 のうち第 2 分岐光を経て検出部 50 に到達する光の利用効率 I_{M2} も同じである。合波光 L_3 の干渉強度ピーク I_{pp} は下記 (7) 式となる。過剰損失がないと仮定した場合の合波光 L_3 の S 偏光と P 偏光との平均の干渉強度ピーク I_{pp} は 39.9% (= (49.0+30.8)/2) となる。したがって、過剰損失の割合は 68% (= (39.9-12.7)/39.9) となる。

[数6]

$$I_{M1} = R \times 1.0 \times (1 - R) = R(1 - R) \quad \dots (6)$$

[数7]

$$I_{pp} = 2 \times \sqrt{I_{M1} \cdot I_{M2}} = 2 \sqrt{R(1 - R)R(1 - R)} = 2R(1 - R) \quad \dots (7)$$

[0036] なお、過剰損失を減らすために、第 2 主面 10b に AR (anti-reflection) コートを施すことも考えられるが、広い波長範囲に亘って平坦な波長特性の AR コーティングは難しく、結局、波長範囲を限定することになる。また、MEMS のような半導体プロセスで光干渉計 2A を構成する場合には、分岐合波部 10 の特定の面に選択的に AR コートを施すことは難しく、その場合には、避けられない損失となってしまう。

[0037] (第 2 比較例)

[0038] 図 2 は、第 2 比較例の光干渉計 2B の構成を示す図である。光干渉計 2B は、分岐合波部 10、ミラー 21、ミラー 31 およびミラー 32 を備える。

[0039] 分岐合波部 10 は、例えばシリコンからなり、互いに平行な第 1 主面 10a および第 2 主面 10b を有する。外部から第 1 主面 10a に入射した入射

光 L_0 は、一部が第1分岐光 L_{11} として反射され、残部が第2分岐光 L_{21} として分岐合波部10の内部へ透過する。

[0040] 第1主面10aからの第1分岐光 L_{11} は、ミラー21で反射される。ミラー21で反射された第1分岐光 L_{12} は、第1主面10aに入射して分岐合波部10の内部へ透過し、分岐合波部10の内部を通過して、第2主面10bを透過して外部へ出射される。

[0041] 第1主面10aからの第2分岐光 L_{21} は、分岐合波部10の内部を通過し、第2主面10bを透過して外部へ出射され、ミラー31で反射され、ミラー32で再び反射される。ミラー31, 32で反射された第2分岐光 L_{22} は、第2主面10bに入射して反射される。

[0042] 第2主面10bで外部へ出射された第1分岐光 L_{12} 、および、第2主面10bで反射された第2分岐光 L_{22} は、合波されて合波光 L_3 となる。この合波光 L_3 は、検出部50により検出される。

[0043] この光干渉計2Bでは、入射光 L_0 を第1分岐光 L_{11} と第2分岐光 L_{21} とに2分岐する分岐面（第1主面10a）と、第1分岐光 L_{12} と第2分岐光 L_{22} とを合波して合波光 L_3 とする合波面（第2主面10b）とは、別個のものとしてされている。

[0044] 例えば、ミラー21は位置が固定されており、ミラー31, 32は、第2分岐光 L_{21} の入射方向に沿って駆動部によって移動可能である。この駆動部もMEMSにより構成され得る。ミラー31, 32が可動であることにより、第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差が調整され得る。

[0045] 第2比較例の光干渉計2Bでは、第1分岐光および第2分岐光それぞれが分岐合波部10の内部を1回のみ通過するので、第1比較例の光干渉計2Aで必要であった分散補償用部材90を用いることなく、波長分散の問題を抑制することができる。

[0046] また、第2比較例の光干渉計2Bは、第1比較例の光干渉計2Aと比較すると、分岐合波部10と周囲の媒体との間の境界面に起因する過剰損失が小さい。第2比較例の光干渉計2Bにおける過剰損失は、第2分岐光 L_{21} が第

2主面10bを透過して外部へ出射される際に第2主面10bで発生する反射光に因るもののみである。入射光 L_0 のうち第1分岐光を経て検出部50に到達する光の利用効率 I_{M1} 、および、入射光 L_0 のうち第2分岐光を経て検出部50に到達する光の利用効率 I_{M2} は、いずれも $R(1-R)^2$ である。

[0047] 合波光 L_3 の干渉強度ピーク I_{pp} は下記(8)式となる。ここでも、外部から第1主面10aまたは第2主面10bへの光の入射角を全て45度とする。分岐合波部10がシリコンからなる場合、合波光 L_3 のS偏光とP偏光との平均の干渉強度ピーク I_{pp} は26.4% ($= (27.9+24.9)/2$)となる。したがって、過剰損失の割合は34% ($= (39.9-26.4)/39.9$)となる。第2比較例の場合の過剰損失割合は、第1比較例の場合の過剰損失割合68%と比べると半分程度となっている。

[数8]

$$I_{pp} = 2 \times \sqrt{I_{M1} \cdot I_{M2}} = 2 \sqrt{R(1-R)^2 R(1-R)^2} = 2R(1-R)^2 \quad \dots (8)$$

[0048] なお、光干渉計2Bは、以下に説明するような問題点を有している。この光干渉計2Bでは、分岐面(第1主面10a)と合波面(第2主面10b)とが別個のものであることから、第1分岐光を1個のミラー21で反射させる一方で、第2分岐光を2個のミラー31, 32で反射させて、合波面で第1分岐光と第2分岐光とを合波する。第2分岐光を2個のミラー31, 32で反射させることで、第2主面10bでの第2分岐光の反射位置(合波位置)は、第2主面10bでの内部から外部への第2分岐光の出射位置と異なり、その一方で第2主面10bでの内部から外部への第1分岐光の出射位置と一致している。

[0049] ここで、入射光 L_0 のビーム断面中の互いに異なる2つの位置を通る光線 L_{0R} , L_{0L} を考える。入射光 L_0 の2つの光線 L_{0R} , L_{0L} は、第1主面10aの法線および入射光 L_0 の入射方向の双方に平行な面において互いに異なる経路を伝搬する。第1分岐光 L_{11} , L_{12} のうち、入射光 L_0 の一方の光線 L_{0R} に由来する光線を L_{1R} とし、入射光 L_0 の他方の光線 L_{0L} に由来する光線を L_{1L} とする。第2分岐光 L_{21} , L_{22} のうち、入射光 L_0 の一方の光線 L_{0R} に由

来する光線を L_{2R} とし、入射光 L_0 の他方の光線 L_{0L} に由来する光線を L_{2L} とする。

[0050] このとき、合波面（第2主面10b）では、入射光 L_0 の一方の光線 L_{0R} に由来する第1分岐光の光線 L_{1R} と、入射光 L_0 の他方の光線 L_{0L} に由来する第2分岐光の光線 L_{2L} とが、互いに合波されることになる。また、入射光 L_0 の他方の光線 L_{0L} に由来する第1分岐光の光線 L_{1L} と、入射光 L_0 の一方の光線 L_{0R} に由来する第2分岐光の光線 L_{2R} とが、互いに合波されることになる。

[0051] すなわち、合波面（第2主面10b）の各位置に到達する第1分岐光および第2分岐光それぞれの光線が、入射光における互いに異なる光線に由来しているものであれば、互いに合波されて合波光となっても本来の干渉光とならない。一方、点光源のような一つの光線を広げてコリメートしたような光線として入射光 L_0 が与えられた場合には、各位置に到達する第1分岐光および第2分岐光それぞれの光線は干渉され得るが、第1分岐光のビーム断面における光線 L_{1R} と光線 L_{1L} との間の空間的な距離が光路長差を発生させるため、干渉信号の品質を低下させる。

[0052] 本来、光干渉計では、各位置に到達する第1分岐光と第2分岐光との光路長差が、ミラーの移動で調整された光路長差と全て同じであることを期待する。しかし、光干渉計2Bのように与えられたビーム幅の範囲で、中央に近いものと端に近いものとは、光路長差が異なることになり、全体として観測される干渉信号は平均化され、弱められてしまう。

[0053] FTIRにおいて用いられる光干渉計では、伝搬光の平行性を高める為にビーム径が大きい光が使用される。結果として、光路長差の異なるビームが多く含まれることになるので、異なる位置の合波光を干渉信号とする光干渉計2Bは、干渉に関する本質的な問題点を有している。

[0054] また、光干渉計を小型化する場合には以下のような問題が生じる。FTIR等の赤外分光装置は、これまで大型であって可搬性が悪いものであったが、近年では、測定サンプルを採取した現場で赤外分光を行ないたいという要求に応えるべく、小型軽量であって可搬性がよいものが望まれている。特許

文献1は、このような要求に応えるため、MEMSにより構成される光干渉計の発明を開示している。しかし、MEMSにより光干渉計を小型化すると、光干渉計における干渉効率が悪くなり、迷光により可視度(Visibility)が劣化するという問題が生じる。

[0055] 図3および図4は、白色光を光干渉計に入射させたときのインターフェログラムを示す図である。横軸は、分岐面から合波面に到るまでの第1分岐光および第2分岐光それぞれの光路長の差である。縦軸は、合波光 L_3 (光干渉信号)の強度(インターフェログラム)である。入射光が白色光であるから、光路長差が0であるときに最も強い干渉が得られ、光路長差の絶対値が大きくなるに従い干渉が弱くなる。光干渉信号の平均値を m とし、光干渉信号の極大値と極小値との差を δ とすると、可視度は $\delta / (2m)$ で表される。

[0056] 迷光がない理想的な光干渉計では可視度の値は1に近くなる(図3)。迷光が多くなるに従い、光干渉信号の平均値 m が大きくなり、光干渉信号の極大値と極小値との差 δ が小さくなるので、可視度の値は小さくなる(図4)。小型化された光干渉計では、測定したい入射光を完全にコリメート(平行光化)することができないだけでなく、分岐面および合波面を十分広く取ることができないので、光のビーム広がりによる損失が生じ、また、干渉に寄与しない光が検出部に到達する等の現象が発生して、これにより可視度の値は小さくなる。

[0057] 例えば、コア径が $400\mu\text{m}$ であってNAが0.2である光ファイバにより導かれた被測定光を該光ファイバの出射端から出射させて光干渉計に入射させる場合を考えると、次のようになる。光干渉計内における光のビームの広がり分解能を劣化させ、その劣化の大きさは波数の相対精度として $2(1 - \cos(NA))$ 程度となる。例えば、波数 5000cm^{-1} (波長 $2\mu\text{m}$)を分解能 10cm^{-1} ($4\mu\text{m}$)以下で測定したい場合、 $1/500$ の波数相対精度が必要となり、 $2(1 - \cos(NA)) = 1/500$ から計算すると、NAとしては0.045が必要となる。

[0058] このNAを達成することができるコリメータレンズを挿入すると、NA0.

2のビームをNA0.045のビームに変換することになり、変換後のビームサイズは変換前のビームサイズの0.2/0.045倍の1800 μ mと大きくなってしまいます。実際には、完全なコリメート光にすることはできないので、ビームサイズに対して十分大きなサイズの光学系を使用して、光干渉計を構成するのが良い。

[0059] しかし、例えばMEMS等の場合には、そのような大きな光学系を利用するのは不可能になる。例えば、1mm程度のサイズが限界であるので、ビームの多くの部分が損失となってしまいます。この損失分の一部は光干渉計の外に伝搬するが、他の一部は迷光として検出部により受光される。この受光された迷光は、干渉光ではないので、前述のインターフェログラムの平均値mを大きくすることになる。また、光干渉計の光学系内を伝搬できてもビーム広がりのために干渉光にならないビームも存在し、これらもインターフェログラムの平均値mを大きくすることになる。インターフェログラムの平均値mの増加の程度は、光学系および光干渉計のサイズに依存する。インターフェログラムの平均値mは、光干渉信号の極大値と極小値との差 δ に対して数倍から10倍になる場合もある。

[0060] 迷光による影響は、検出部から出力される信号を処理することで除去され得る。しかし、合波光（干渉光）が微弱である場合には、検出部から出力される信号のS/Nが悪くなる。干渉光の強度が小さければ、検出部に含まれるアンプのゲインを大きくすることで、検出部からの出力信号の値を大きくすることができるが、平均値が大きい場合には、アンプのダイナミックレンジを平均値信号の増幅で使い切ってしまうことになる。以上のように、光干渉計の効率の悪さは、本来の光干渉信号の信号強度を小さくするだけでなく、初段のアンプのダイナミックレンジを使い切ってしまうような平均値の上昇を招き、信号取得時のS/Nをさらに悪化させる。

[0061] （第1実施形態）

[0062] 図5は、第1実施形態の光干渉計1Aの構成を示す図である。光干渉計1Aは、分岐合波部10、第1光学系20、第2光学系30および駆動部40

を備える。光干渉計 1 A のこれらの構成要素は MEMS により構成されるのが好適である。

[0063] 分岐合波部 10 は、例えばシリコン等の半導体の透明部材からなり、透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面 11, 入射面 12, 第 1 出射面 13, 合波面 14 および第 2 出射面 15 を有する。

[0064] 分岐合波部 10 は、分岐面 11 において、外部から入射した入射光 L_0 の一部を反射させて第 1 分岐光 L_{11} として出射させるとともに、残部を第 2 分岐光 L_{21} として内部へ透過させる。分岐合波部 10 は、入射面 12 において、分岐面 11 から第 1 光学系 20 を経て入射した第 1 分岐光 L_{12} を内部へ透過させる。分岐合波部 10 は、第 1 出射面 13 において、分岐面 11 から内部を経て到達した第 2 分岐光 L_{21} を外部へ出射させる。

[0065] 分岐合波部 10 は、合波面 14 において、入射面 12 から内部を経て到達した第 1 分岐光 L_{12} 、および、第 1 出射面 13 から第 2 光学系 30 を経て入射した第 2 分岐光 L_{22} のうち、各々の一部を合波して第 1 合波光 L_3 として外部へ出射させるとともに、各々の残部を合波して第 2 合波光 L_4 として内部へ伝搬させる。分岐合波部 10 は、第 2 出射面 15 において、合波面 14 から内部を経て到達した第 2 合波光 L_4 の一部 L_{41} を外部へ出射させる。

[0066] 第 1 光学系 20 は、分岐面 11 から出射された第 1 分岐光 L_{11} をミラー 21, 22 により反射させ、その反射させた第 1 分岐光 L_{12} を入射面 12 に入射させる。第 2 光学系 30 は、第 1 出射面 13 から出射された第 2 分岐光 L_{21} をミラー 31, 32 により反射させ、その反射させた第 2 分岐光 L_{22} を合波面 14 に入射させる。駆動部 40 は、第 1 光学系 20 または第 2 光学系 30 の何れかのミラーを移動させて、分岐面 11 から合波面 14 までの第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの光路長の差を調整する。

[0067] 分岐合波部 10 の分岐面 11、入射面 12、第 1 出射面 13 および合波面 14 それぞれの方位、ならびに、これらの各面における光の入射位置および入射角は、合波面 14 において第 1 分岐光と第 2 分岐光とが互いに同軸に合波されて同じ出射角で合波光 L_3 , L_4 として出力されるように、分岐合波部

10および周囲の媒体それぞれの屈折率に応じて適切に設定される。分岐合波部10の内部における第1分岐光および第2分岐光それぞれの光路長は互いに等しい。これにより、波長分散の問題が解消され、第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差の波長依存性が低減される。

[0068] 分岐面11と合波面14とは別個のものである。分岐面11, 入射面12および第2出射面15は、互いに平行でなくてもよいし、互いに平行であってもよく、共通の平面上にあってもよい。分岐面11における入射光 L_0 の入射領域と、入射面12における第1分岐光 L_{12} の入射領域とは、互いに異なってもよいし、一部または全部が互いに一致していてもよい。第1出射面13と合波面14とは、互いに平行でなくてもよいし、互いに平行であってもよく、共通の平面上にあってもよい。第1出射面13における第2分岐光 L_{21} の出射領域と、合波面14における合波光の出射領域とは、互いに異なってもよいし、一部または全部が互いに一致していてもよい。

[0069] 外部から分岐面11に入射した入射光 L_0 は、一部が第1分岐光 L_{11} として反射され、残部が第2分岐光 L_{21} として分岐合波部10の内部へ透過する。

[0070] 分岐面11からの第1分岐光 L_{11} は、第1光学系20のミラー21, 22により反射される。その反射された第1分岐光 L_{12} は、入射面12に入射して分岐合波部10の内部へ透過し、分岐合波部10の内部を通過して、合波面14に到達する。

[0071] 分岐面11からの第2分岐光 L_{21} は、分岐合波部10の内部を通過し、第1出射面13を透過して外部へ出射され、第2光学系30のミラー31, 32により反射される。その反射された第2分岐光 L_{22} は、合波面14に到達する。

[0072] 合波面14に到達した第1分岐光 L_{12} のうち合波面14を透過した成分と、合波面14に到達した第2分岐光 L_{22} のうち合波面14で反射した成分とは、合波されて第1合波光 L_3 として外部へ出射される。合波面14から外部へ出射された第1合波光 L_3 は、第1受光素子51により受光される。

[0073] 合波面14に到達した第1分岐光 L_{12} のうち合波面14で反射した成分と

、合波面 1 4 に到達した第 2 分岐光 L_{22} のうち合波面 1 4 を透過した成分とは、合波されて第 2 合波光 L_4 として内部へ伝搬する。この第 2 合波光 L_4 は第 2 出射面 1 5 に到達し、そのうちの一部 L_{41} は第 2 出射面 1 5 から外部へ出射される。第 2 出射面 1 5 から外部へ出射された第 2 合波光 L_{41} は、第 2 受光素子 5 2 により受光される。

[0074] 第 1 受光素子 5 1、第 2 受光素子 5 2 および電流電圧変換部 5 4 は、干渉信号を検出する検出部を構成している。第 1 受光素子 5 1 は、合波面 1 4 から外部へ出射された第 1 合波光 L_3 を受光し、その受光量に応じた第 1 電流信号 I_1 を出力する。第 2 受光素子 5 2 は、第 2 出射面 1 5 から外部へ出射された第 2 合波光 L_{41} を受光し、その受光量に応じた第 2 電流信号 I_2 を出力する。電流電圧変換部 5 4 は、第 1 電流信号 I_1 から第 2 電流信号 I_2 を差し引いた値 ($I_1 - I_2$) に応じた電圧信号を出力する。この検出部の詳細については後述する。

[0075] 本実施形態の光干渉計 1 A は、第 1 光学系 2 0 のミラーの個数と第 2 光学系 3 0 のミラーの個数との和が偶数であり、入射光 L_0 のビーム断面中の各位置の光線を分岐面 1 1 において分岐した後に合波面 1 4 において合波光 L_3 、 L_4 のビーム断面中の共通位置で合波することができるので、第 2 比較例の構成と比較すると干渉効率を向上させることができる。

[0076] また、本実施形態の光干渉計 1 A は、第 2 比較例の構成と比較すると、合波面 1 4 から外部へ出射された第 1 合波光 L_3 を第 1 受光素子 5 1 により受光するだけでなく、第 2 出射面 1 5 から外部へ出射された第 2 合波光 L_{41} を第 2 受光素子 5 2 により受光する点でも相違する。これにより、本実施形態の光干渉計 1 A は、第 2 比較例の構成と比較すると、過剰損失割合を低減することができる。

[0077] 本実施形態における過剰損失を計算すると次のとおりである。合波面 1 4 から出射されて第 1 受光素子 5 1 により受光される第 1 合波光 L_3 の干渉強度ピーク I_{pp} は上記 (8) 式となる。第 2 出射面 1 5 から出射されて第 2 受光素子 5 2 により受光される第 2 合波光 L_{41} の干渉強度ピーク I_{pp} は、入射光

L_0 のうち第1分岐光を経て第2受光素子52に到達する光の利用効率 I_{M1} （下記（9）式）と、入射光 L_0 のうち第2分岐光を経て第2受光素子52に到達する光の利用効率 I_{M2} （下記（10）式）とから、下記（11）式となる。

。

[0078] 第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} の双方の干渉信号を利用することができるものとすると、トータルの干渉強度ピーク I_{ppT} は、（8）式と（11）式との和として下記（12）式となる。

[数9]

$$I_{M1} = R \times 1.0 \times (1-R) \times R \times (1-R) = R^2(1-R)^2 \quad \dots (9)$$

[数10]

$$I_{M2} = (1-R) \times (1-R) \times 1.0 \times (1-R) \times (1-R) = (1-R)^4 \quad \dots (10)$$

[数11]

$$I_{pp} = 2 \times \sqrt{I_{M1} \cdot I_{M2}} = 2 \times \sqrt{R^2(1-R)^2(1-R)^4} = 2R(1-R)^3 \quad \dots (11)$$

[数12]

$$I_{ppT} = 2R(1-R)^2 + 2R(1-R)^3 = 2R(1-R)^2(2-R) \quad \dots (12)$$

[0079] 外部から各面への光の入射角を全て45度とし、分岐合波部10がシリコンからなるとすると、合波光 L_3 、 L_{41} を合せたS偏光とP偏光との平均の干渉強度ピーク I_{ppT} は44.5%（ $= (43.9+45.1)/2$ ）となる。したがって、過剰損失の割合は-11.5%（ $= (39.9-44.5)/39.9$ ）となる。すなわち、本実施形態では、第2比較例の構成における原理的限界を超える効率が得られることになる。これは、本来であれば合波面14において原理上不可避の損失となる第2合波光 L_4 の一部 L_{41} を有効な干渉信号として利用することによる。

。

[0080] このことについて、図6に示されるような1つのビームスプリッタにより分岐および合波の双方を行う一般的な構成の光干渉計2Cを用いて説明する。図6は、第3比較例の光干渉計2Cの構成を示す図である。

[0081] この光干渉計2Cでは、ビームスプリッタ110に入射した入射光 L_0 は、

このビームスプリッタ110により、反射成分の第1分岐光 L_1 と透過成分の第2分岐光 L_2 とに2分岐される。第1分岐光 L_1 はミラー120により反射されて再びビームスプリッタ110に入射し、第2分岐光 L_2 はミラー130により反射されて再びビームスプリッタ110に入射する。ミラー120からビームスプリッタ110に入射した第1分岐光 L_1 のうちビームスプリッタ110を透過した成分、および、ミラー130からビームスプリッタ110に入射した第2分岐光 L_2 のうちビームスプリッタ110で反射した成分は、合波されて合波光 L_3 となる。

- [0082] ビームスプリッタ110における光の反射率を R とすると、ビームスプリッタ110における光の透過率は $1-R$ となる。このとき、合波光 L_3 の干渉強度ピーク I_{pp} は下記(13)式となる。この干渉強度ピーク I_{pp} は、変数 R の2次関数であり、 $R=0.5$ で最大値 0.5 (50%)となる。すなわち、光干渉計2Cにおいて干渉強度ピーク I_{pp} を最大とすることができる理想的なビームスプリッタ110の光分岐比は1:1である。

[数13]

$$I_{pp} = 2 \times \sqrt{R(1-R) \times R(1-R)} = 2R(1-R) \quad \dots (13)$$

- [0083] 図6に示される光干渉計2Cの構成において、ミラー120からビームスプリッタ110に入射した第1分岐光 L_1 のうちビームスプリッタ110で反射した成分、および、ミラー130からビームスプリッタ110に入射した第2分岐光 L_2 のうちビームスプリッタ110を透過した成分も、合波されて合波光 L_4 となる。この合波光 L_4 を検出する為に、図7に示されるような構成の光干渉計2Dを考える。図7は、第4比較例の光干渉計2Dの構成を示す図である。

- [0084] 図7に示される第4比較例の光干渉計2Dは、図6に示された第3比較例の光干渉計2Cの構成にビームスプリッタ111を追加したものである。合波光 L_4 を検出する為に設けられるビームスプリッタ111は、入射光 L_0 の光路上に挿入される。このビームスプリッタ111の挿入により、入射光 L_0 に損失が生じる。その結果、ビームスプリッタ110, 111それぞれの光

分岐比を1 : 1とすると、合波光 L_3 、 L_4 のトータルの干渉強度ピーク I_{pp} は37.5%となる。

[0085] すなわち、1つのビームスプリッタにより分岐および合波の双方を行う一般的な構成の光干渉計2Cが、最大効率50%を得ることができる理想的なものであり、この最大効率50%が原理的境界ということになる。図5に示された本実施形態の光干渉計1Aの構成により原理的境界を超えることができるのは、分岐合波部10において分岐面11と合波面14とが別個のものであり、分岐面11と合波面14とが或る程度距離を置いて配置されていて、第2合波光 L_{41} が出射する第2出射面15と入射光 L_0 が入射する分岐面11とを別個のものとするのができたことによる。

[0086] ところで、図6に示された第3比較例の光干渉計2Cの構成において、ビームスプリッタ110での光の反射率 R が50%であるのが理想的である。しかし、図5に示された本実施形態の光干渉計1Aにおいては、各面での光の反射率 R の理想値は50%ではない。本実施形態の光干渉計1Aにおける合波光 L_3 、 L_{41} のトータルの干渉強度ピーク I_{ppT} は、上記(12)式で表されるように変数 R の4次関数であり、 $0 < R < 1$ の範囲では $R = 30\%$ で最大値49.9%となる。本実施形態の光干渉計1Aにおいては $R = 30\%$ が理想値である。なお、 $R = 50\%$ では干渉強度ピーク I_{ppT} は37.5%となる。

[0087] 分岐合波部10をシリコンにより構成したとき、各面に光を垂直入射することができれば、反射率が30%となるので、理想的なビームスプリッタとなる。しかし、実際の設計では、垂直入射とすることができないので、前述同様のS偏光成分およびP偏光成分を考慮した平均の干渉強度ピークで比較することになる。

[0088] 図8は、分岐合波部10を構成する材料の屈折率と平均の干渉強度ピークとの関係を示すグラフである。外部から分岐合波部10への光の入射角を45度として計算をした。この計算結果から、屈折率3.5のときに平均の干渉強度ピークが最大値44%となることがわかる。近赤外域においてシリコン

の屈折率は3.5であるから、分岐合波部10を構成する材料と空気との屈折率差を利用して分岐および合波を行う本実施形態の光干渉計1Aでは、分岐合波部10を構成する材料としてシリコンが理想的であると言える。

[0089] 次に、第1実施形態の光干渉計1Aにおいて合波光 L_3 、 L_{41} の干渉信号を検出する方法について説明する。以下では第1～第3の検出方法について順に説明する。

[0090] 第1の検出方法として、第1合波光 L_3 と第2合波光 L_{41} とを何らかの方法で光学的に合波して1つの光検出器で受光する方法を考える。また、白色光は連続する波長の光が線形に加え合わされているだけであるので、以下では一つの波長の光のみ考える。光の角周波数を ω とし、時間変数を t とする。

[0091] 合波面14から出射される第1合波光 L_3 の電界 E_3 は、合波面14に到達した第1分岐光の電界 $a_{13}\sin(\omega t + \phi_{13})$ と、合波面14に到達した第2分岐光の電界 $a_{23}\sin(\omega t + \phi_{23})$ との和として、下記(14)式、(15)式で表される。

[数14]

$$\begin{aligned} E_3 &= a_{13} \sin(\omega t + \phi_{13}) + a_{23} \sin(\omega t + \phi_{23}) \\ &= a_3 \sin(\omega t + \phi_3) \end{aligned} \quad \dots (14)$$

[数15]

$$\begin{aligned} a_3 &= \sqrt{a_{13}^2 + a_{23}^2 + 2a_{13}a_{23} \cos(\phi_{13} - \phi_{23})} \\ \phi_3 &= \tan^{-1} \left[\frac{a_{13} \sin(\phi_{13}) + a_{23} \sin(\phi_{23})}{a_{13} \cos(\phi_{13}) + a_{23} \cos(\phi_{23})} \right] \end{aligned} \quad \dots (15)$$

[0092] フォトダイオードのような二乗検波器で第1合波光 L_3 を受光すると、二乗検波器から出力される信号は、第1合波光 L_3 の電界 E_3 の二乗の時間的平均値（すなわち、電界振幅 a_3 の二乗）を表し、位相差 $(\phi_{13} - \phi_{23})$ に依存する。これが、光干渉計を用いて光路長差に応じた信号変化が得られることの基本原理である。第1合波光 L_3 の電界 E_3 の振幅 a_3 の式にある位相差 $(\phi_{13} - \phi_{23})$ は、駆動部により設定された第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差に相当するものであり、初期位相とは無関係である。第1合波光 L_3 の電界 E

3の時間的変化に係るsin関数内にある位相 ϕ_3 は、光路長差および初期位相の双方に依存する。

[0093] 第2出射面15から出射される第2合波光 L_{41} の電界 E_4 は、第2出射面15に到達した第1分岐光の電界 $a_{14}\sin(\omega t + \phi_{14})$ と、第2出射面15に到達した第2分岐光の電界 $a_{24}\sin(\omega t + \phi_{24})$ の和として、下記(16)式、(17)式で表される。

[数16]

$$\begin{aligned} E_4 &= a_{14} \sin(\omega t + \phi_{14}) + a_{24} \sin(\omega t + \phi_{24}) \\ &= a_4 \sin(\omega t + \phi_4) \end{aligned} \quad \dots (16)$$

[数17]

$$\begin{aligned} a_4 &= \sqrt{a_{14}^2 + a_{24}^2 + 2a_{14}a_{24} \cos(\phi_{14} - \phi_{24})} \\ \phi_4 &= \tan^{-1} \left[\frac{a_{14} \sin(\phi_{14}) + a_{24} \sin(\phi_{24})}{a_{14} \cos(\phi_{14}) + a_{24} \cos(\phi_{24})} \right] \end{aligned} \quad \dots (17)$$

[0094] 合波面14から第2出射面15まで第2合波光が伝搬する間の位相変化を ϕ_ω とする。位相変化 ϕ_ω は角周波数 ω に依存する。位相 ϕ_{13} 、 ϕ_{23} 、 ϕ_{14} 、 ϕ_{24} の間には下記(18)式の関係がある。したがって、第2合波光の電界 E_4 の振幅 a_4 の式にある位相差($\phi_{14} - \phi_{24}$)は、第1合波光の電界 E_3 の振幅 a_3 の式にある位相差($\phi_{13} - \phi_{23}$)と等しい。

[数18]

$$\begin{aligned} \phi_{14} &= \phi_\omega + \phi_{13} \\ \phi_{24} &= \phi_\omega + \phi_{23} \end{aligned} \quad \dots (18)$$

[0095] 簡単化のため、駆動部により第1分岐光および第2分岐光それぞれの光路長が互いに等しく設定されている場合、すなわち、位相差($\phi_{13} - \phi_{23}$)および位相差($\phi_{14} - \phi_{24}$)の双方が値0である場合を考える。このとき、下記(19)式が成り立つ。

[数19]

$$\begin{aligned} \phi_3 &= \phi_{13} \\ \phi_4 &= \phi_\omega + \phi_{13} \end{aligned} \quad \dots (19)$$

[0096] 第1合波光 L_3 と第2合波光 L_{41} とを合波した全合波光の電界 E_T は、第1合波光 L_3 の電界 E_3 と第2合波光 L_{41} の電界 E_4 との和として、下記(20)式、(21)式で表される。

[数20]

$$\begin{aligned} E_T &= E_3 + E_4 \\ &= a_3 \sin(\omega t + \phi_3) + a_4 \sin(\omega t + \phi_4) \\ &= a_3 \sin(\omega t + \phi_{13}) + a_4 \sin(\omega t + \phi_\omega + \phi_{13}) \quad \dots (20) \\ &= a_T \sin(\omega t + \phi_T) \end{aligned}$$

[数21]

$$\begin{aligned} a_T &= \sqrt{a_3^2 + a_4^2 + 2a_3a_4 \cos(\phi_\omega)} \\ \phi_T &= \tan^{-1} \left[\frac{a_3 \sin(\phi_{13}) + a_4 \sin(\phi_\omega + \phi_{13})}{a_3 \cos(\phi_{13}) + a_4 \cos(\phi_\omega + \phi_{13})} \right] \quad \dots (21) \end{aligned}$$

[0097] この全合波光を受光した光検出器から出力される信号は、波長によって異なる位相 ϕ_ω の影響により、波長により異なる値となる。すなわち、第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差以外の要因で干渉信号が変化することとなり、光干渉計として正しく機能しないことになる。

[0098] 第2の検出方法として、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} を別個の光検出器で検出し、各々の光検出器による二乗検波後の電圧信号を加算する方法を考える。この方法では、位相 ϕ_ω の影響は現れないので、干渉信号としての電圧信号の加算は正常に機能する。しかし、通常、光検出器は、出力後の処理をし易い電圧レベルまで信号を増幅する増幅器を含む。光起電力型の受光素子を用いる場合、全体のS/Nは初段の増幅器のノイズにより決定される。第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} を別個の光検出器で検出して信号増幅をする場合、全体のノイズは各光検出器の初段の増幅器のノイズの2倍となる。したがって、電圧信号を加算することで信号レベルが増えても、S/Nは改善されない。本実施形態では、第1合波光 L_3 の効率が26.4%であり、第2合波光 L_{41} の効率が17.8%であるので、加算しても信号量は単純に2倍にはならず、S/Nは劣化してしまうことになる。

[0099] 第3の検出方法として、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} を別個の受光

素子で検出し、各々の受光素子から出力される電流信号を加減算した結果を電圧信号に変換する方法を考える。この方法では、上記のS/Nの劣化の問題を回避することができる。以下、この第3の検出方法について説明するとともに、この方法に基づく検出部50の構成について説明する。

- [0100] 光を含めて電磁波は、互いに異なる屈折率を有する2つの媒質の間の境界面において反射する際に位相が変化する場合がある。境界面での光の反射時の位相変化量は、各媒質の屈折率、境界面への光の入射角および光の偏光状態に依存する。各媒質が誘電体であって吸収係数を無視することができるすると、境界面での光の反射時に位相変化が生じるのは、S偏光の光が低屈折率媒質の側から境界面に入射する場合、および、P偏光の光が高屈折率媒質の側から境界面にブリュースター角以下の入射角で入射する場合であり、何れの場合も位相変化量は π である。
- [0101] この性質を考慮して、図5に示された光干渉計1Aの構成における光の反射時の位相変化量を考える。合波面14に入射する第1分岐光 L_{12} および第2分岐光 L_{22} の位相を基準とすると、第2分岐光 L_{22} のS偏光成分が合波面14で反射して第1合波光 L_3 となる際に π の位相変化を生じ、第1分岐光 L_{12} のP偏光成分が合波面14で反射して第2合波光 L_{41} となる際に π の位相変化を生じる。
- [0102] このことから、第2出射面15から出射される第2合波光 L_{41} は、合波面14から出射される第1合波光 L_3 に対し、S偏光成分およびP偏光成分の何れについても位相差 π を有している。すなわち、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} は、干渉信号の符号が互いに逆になる。上記のとおり第2分岐光 L_{22} のS偏光成分が合波面14で反射する際に π の位相変化を生じることに加え、入射光 L_0 が分岐面11で2分岐される際に第1分岐光 L_{11} のS偏光成分が π の位相変化を生じるので、合波時の第1分岐光 L_{12} および第2分岐光 L_{22} それぞれのS偏光成分の位相は互いに同じである。また、合波時の第1分岐光 L_{12} および第2分岐光 L_{22} それぞれのP偏光成分の位相も互いに同じである。結局、S偏光成分およびP偏光成分それぞれの干渉信号の符号は互いに

同じである。

- [0103] なお、実際には、第1光学系20および第2光学系30それぞれに含まれるミラーが金属ミラーである場合、その金属ミラーでの光の反射時に位相変化が生ずる。第1光学系20および第2光学系30が互いに共通の構成のミラーで光を反射すれば、S偏光成分およびP偏光成分ともに同じ位相変化が生ずるので、結果としてS偏光成分およびP偏光成分それぞれの干渉信号の符号は互いに同じとなる。
- [0104] 第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} は、全ての波長で干渉信号の符号が互いに逆になる。図9は、合波光 L_3 、 L_{41} のインターフェログラムを示す図である。光路長差が0であるときに、第1合波光 L_3 の干渉信号は最大値となるのに対して、第2合波光 L_{41} の干渉信号は最小値となる。第1合波光 L_3 のインターフェログラムおよび第2合波光 L_{41} のインターフェログラムのうち一方は、他方のインターフェログラムについて平均値を中心にして上下を反転し、効率に応じて振幅を補正したものに相当する。
- [0105] なお、図9では、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} それぞれのインターフェログラムは、平均値が相違しているものとして表示されている。インターフェログラムの平均値は、光干渉計の構成に依存する。例えば、光干渉計からの非干渉光より背景光の方が多く光検出器に入射してインターフェログラムの平均値を大きくしているのであれば、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} それぞれのインターフェログラムの平均値の差はそれほど大きくない。逆に、光干渉計からの非干渉光の方が背景光より多く光検出器に入射してインターフェログラムの平均値を大きくしているのであれば、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} それぞれのインターフェログラムにおいて干渉信号の効率と同程度の割合で平均値が生じることになる。
- [0106] 何れにしても、第1合波光 L_3 および第2合波光 L_{41} それぞれのインターフェログラムの差をとることにより、平均値は低減される一方で、干渉信号は大きくなる。図10は、合波光 L_3 、 L_{41} のインターフェログラムの差を示す図である。両者の差をとることにより、干渉信号の一部がマイナス値となる

場合があるが、図 11 に示される検出部 50 の回路では何ら問題はない。

[0107] 図 11 は、第 1 実施形態の光干渉計 1A の検出部 50 の回路図である。検出部 50 は、第 1 受光素子 51、第 2 受光素子 52 および電流電圧変換部 54 を備える。電流電圧変換部 54 は、アンプ 55 および帰還抵抗器 56 を含む。帰還抵抗器 56 は、アンプ 55 の反転入力端子と出力端子 V_o との間に設けられている。第 1 受光素子 51 および第 2 受光素子 52 それぞれは、光起電力型のものであり、例えばフォトダイオードである。第 1 受光素子 51 および第 2 受光素子 52 は、第 1 基準電位端 V_1 と第 2 基準電位端 V_2 との間に直列的に接続されていて、逆電圧が印加される。 V_1 はプラス電位であり、 V_2 はマイナス電位である。第 1 受光素子 51 と第 2 受光素子 52 との接続点は、アンプ 55 の反転入力端子と接続されている。アンプ 55 の非反転入力端子は接地電位端に接続されている。アンプ 55 の非反転入力端子に対しイマジナリショートの関係にある反転入力端子も接地電位となる。

[0108] 第 1 受光素子 51 は、合波面 14 から外部へ出射された第 1 合波光 L_3 を受光し、その受光量に応じた第 1 電流信号 I_1 を出力する。第 2 受光素子 52 は、第 2 出射面 15 から外部へ出射された第 2 合波光 L_{41} を受光し、その受光量に応じた第 2 電流信号 I_2 を出力する。第 1 電流信号 I_1 と第 2 電流信号 I_2 との差の電流 ($I_1 - I_2$) が帰還抵抗器 56 に流れ、その差の電流値と帰還抵抗器 56 の抵抗値との積に応じた電圧値が出力端子 V_o に現れる。すなわち、電流電圧変換部 54 は、第 1 電流信号 I_1 から第 2 電流信号 I_2 を差し引いた値 ($I_1 - I_2$) に応じた電圧信号を出力端子 V_o から出力することができる。

[0109] 出力端子 V_o から出力される電圧信号は、第 1 合波光 L_3 および第 2 合波光 L_{41} それぞれのインターフェログラムの差を表し、インターフェログラムの平均値を低減する一方で、干渉信号を強調したものである。出力端子 V_o から出力される電圧信号は、1 つのアンプ 55 のみによりノイズが決まるので、 S/N が改善されたものとなる。また、インターフェログラムの平均値が低減されることにより、干渉信号の大きさに合わせてアンプ 55 のゲインを適

切に設定することができる。

[0110] (第2実施形態)

[0111] 図12は、第2実施形態の光干渉計1Bの構成を示す図である。光干渉計1Bは、分岐合波部10、第1光学系20、第2光学系30および駆動部40を備える。光干渉計1Bのこれらの構成要素はMEMSにより構成されるのが好適である。

[0112] 分岐合波部10は、例えばシリコン等の半導体の透明部材からなり、透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面11、入射面12、第1出射面13、合波面14、第2出射面15および第3出射面16を有する。

[0113] 図5に示された第1実施形態の光干渉計1Aの構成と比較すると、図12に示される第2実施形態の光干渉計1Bは、分岐合波部10が第3出射面16を更に有する点で相違する。また、第1実施形態の光干渉計1Aの構成と比較すると、第2実施形態の光干渉計1Bは、第2出射面15を透過して外部へ出射される第2合波光 L_4 の一部 L_{41} を検出するだけでなく、第2出射面15で反射されて第3出射面16を透過して外部へ出射される第2合波光 L_4 の残部 L_{42} をも第3受光素子53により検出する点で相違する。

[0114] 第3出射面16から出射される第2合波光 L_{42} は、第2出射面15から出射される第2合波光 L_{41} と比較して反射が1回多いだけである。したがって、第3出射面16から出射されて第3受光素子53により受光される第2合波光 L_{42} の干渉強度ピーク I_{pp2} は、第2出射面15から出射されて第2受光素子52により受光される第2合波光 L_{41} の干渉強度ピーク I_{pp1} のR倍となり、下記(22)式で表される。

[数22]

$$I_{pp2} = I_{pp1} \times R = 2R(1-R)^3 \cdot R \quad \dots (22)$$

[0115] 外部から各面への光の入射角を全て45度とし、分岐合波部10がシリコンからなるとすると、第3出射面16から出射されて第3受光素子53により受光される第2合波光 L_{42} のS偏光とP偏光との平均の干渉強度ピークは5.3%となる。3つの合波光 L_3 、 L_{41} 、 L_{42} を合せたS偏光とP偏光との

平均の干渉強度ピークは49.5%となり、約50%の効率が得られることになる。

[0116] なお、第3出射面16で反射した第2合波光を他の出射面から外部へ出射させて他の受光素子により受光することが可能であり、第2合波光 L_4 の全てを検出すると、第2合波光 L_4 の全体の効率は26.4%である。第1合波光 L_3 の効率26.4%と第2合波光 L_4 の全体の効率26.4%とを合計した値52.8%は、図12の光干渉計1Bの構成により3つの合波光 L_3 、 L_{41} 、 L_{42} を合せた効率49.5%と比較して、改善の程度が小さい。第3出射面16で反射した第2合波光を他の出射面から外部へ出射させて他の受光素子により受光することは、構成が複雑になる一方で改善の程度が小さいことから、メリットがない。

[0117] 図13は、第2実施形態の光干渉計1Bの検出部50の回路図である。検出部50は、第1受光素子51、第2受光素子52、第3受光素子53および電流電圧変換部54を備える。図11に示された第1実施形態の検出部50の構成と比較すると、図13に示される第2実施形態の検出部50は、第3受光素子53を更に備える点で相違する。第3受光素子53も、光起電力型のものであり、例えばフォトダイオードである。

[0118] 第3出射面16から出射される第2合波光 L_{42} の反射時の位相変化は、第2出射面15から出射される第2合波光 L_{41} の反射時の位相変化と同じである。それ故、第3出射面16から出射される第2合波光 L_{42} を受光する第3受光素子53は、第2出射面15から出射される第2合波光 L_{41} を受光する第2受光素子52に対し並列に設けられる。第3受光素子53は、第3出射面16から外部へ出射された第2合波光 L_{42} を受光し、その受光量に応じた第3電流信号 I_3 を出力する。電流電圧変換部54は、第1電流信号 I_1 から第2電流信号 I_2 および第3電流信号 I_3 を差し引いた値($I_1 - I_2 - I_3$)に応じた電圧信号を出力端子V_oから出力する。

[0119] なお、第2実施形態の光干渉計1Bでは、光干渉計からの非干渉光より背景光の方が多く光検出器に入射してインターフェログラムの平均値を大きく

している場合に留意が必要である。この場合には、各合波光のインターフェログラムの平均値が同程度の大きさとなるので、第1電流信号 I_1 から第2電流信号 I_2 および第3電流信号 I_3 を差し引いた値($I_1 - I_2 - I_3$)には、1つのインターフェログラム分の平均値成分が現れることになる。その結果、第3受光素子53を付加することにより、ダイナミックレンジが狭められる場合がある。最終的なS/Nが改善されるか否かを考慮して、第3受光素子53を付加することが有効か否かを判断しなければならない。

[0120] (第3実施形態)

[0121] 図14は、第3実施形態の光干渉計1Cの構成を示す図である。光干渉計1Cは、分岐合波部10、第1光学系20、第2光学系30および駆動部40を備える。光干渉計1Cのこれらの構成要素はMEMSにより構成されるのが好適である。

[0122] 分岐合波部10は、例えばシリコン等の半導体の透明部材からなり、透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面11、入射面12、第1出射面13、合波面14、第2出射面15および全反射面17を有する。

[0123] 図5に示された第1実施形態の光干渉計1Aの構成と比較すると、図14に示される第3実施形態の光干渉計1Cは、分岐合波部10が全反射面17を更に有する点で相違する。分岐合波部10は、全反射面17において、合波面14から内部を経て到達した第2合波光 L_4 を全反射させて第2出射面15に入射させる。

[0124] 第3実施形態では、全反射面17において第2合波光 L_4 を全反射させることができるように、すなわち、全反射面17への第2合波光 L_4 の入射角が臨界角以上となるように、全反射面17の方位が設定されている。また、全反射面17において全反射された第2合波光 L_4 を第2出射面15から外部へ出射させることができるように、すなわち、第2出射面15への第2合波光 L_4 の入射角が臨界角未満となるように、第2出射面15の方位が設定されている。

[0125] 第1実施形態では、入射光 L_0 が入射する分岐面11と、第2合波光 L_{41} が

出射する第2出射面15とが、分岐合波部10に対して共通の側に設けられているので、入射光 L_0 および第2合波光 L_{41} それぞれの光学系の配置の点で制約が生じる場合がある。これに対して、第3実施形態では、分岐合波部10の一方の側に分岐面11が設けられ、分岐合波部10の他方の側に合波面14および第2出射面15が設けられているので、入射光 L_0 および合波光 L_3 、 L_{41} それぞれの光学系の配置が容易である。

[0126] 本発明による光干渉計は、上記した実施形態及び構成例に限られるものではなく、様々な変形が可能である。

[0127] 上記実施形態による光干渉計では、分岐合波部、第1光学系、第2光学系および駆動部を備える構成としている。分岐合波部は、透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面、入射面、第1出射面、合波面および第2出射面を有し、分岐面と合波面とが別個のものであり、分岐面において、外部から入射した入射光の一部を反射させて第1分岐光として出射させるとともに、残部を第2分岐光として内部へ透過させ、入射面において、分岐面から第1光学系を経て入射した第1分岐光を内部へ透過させ、第1出射面において、分岐面から内部を経て到達した第2分岐光を外部へ出射させ、合波面において、入射面から内部を経て到達した第1分岐光、および、第1出射面から第2光学系を経て入射した第2分岐光のうち、各々の一部を合波して第1合波光として外部へ出射させるとともに、各々の残部を合波して第2合波光として内部へ伝搬させ、第2出射面において、合波面から内部を経て到達した第2合波光の一部を外部へ出射させる。第1光学系は、分岐面から出射された第1分岐光をミラーにより反射させて入射面に入射させる。第2光学系は、第1出射面から出射された第2分岐光をミラーにより反射させて合波面に入射させる。駆動部は、第1光学系または第2光学系の何れかのミラーを移動させて、分岐面から合波面までの第1分岐光および第2分岐光それぞれの光路長の差を調整する。

[0128] 上記構成の光干渉計は、合波面から出射された第1合波光を受光して当該受光量に応じた第1電流信号 I_1 を出力する第1受光素子と、第2出射面から

出射された第2合波光の一部を受光して当該受光量に応じた第2電流信号 I_2 を出力する第2受光素子と、第1電流信号 I_1 から第2電流信号 I_2 を差し引いた値($I_1 - I_2$)に応じた電圧信号を出力する電流電圧変換部と、を更に備えるのが好適である。

[0129] 上記構成の光干渉計において、分岐合波部は、透明部材の内部と外部との間の境界に第3出射面を更に有し、第3出射面において、第2出射面で反射して内部を経て到達した第2合波光の残部を外部へ出射させるのが好適である。

[0130] また、この場合、上記構成の光干渉計は、合波面から出射された第1合波光を受光して当該受光量に応じた第1電流信号 I_1 を出力する第1受光素子と、第2出射面から出射された第2合波光の一部を受光して当該受光量に応じた第2電流信号 I_2 を出力する第2受光素子と、第3出射面から出射された第2合波光の残部を受光して当該受光量に応じた第3電流信号 I_3 を出力する第3受光素子と、第1電流信号 I_1 から第2電流信号 I_2 および第3電流信号 I_3 を差し引いた値($I_1 - I_2 - I_3$)に応じた電圧信号を出力する電流電圧変換部と、を更に備えるのが好適である。

[0131] 上記構成の光干渉計において、分岐合波部は、透明部材の内部と外部との間の境界に全反射面を更に有し、全反射面において、合波面から内部を経て到達した第2合波光を全反射させて第2出射面に入射させるのが好適である。

[0132] 上記構成の光干渉計は、第1光学系のミラーの個数と第2光学系のミラーの個数との和が偶数であり、入射光のビーム断面中の各位置の光線を分岐面において分岐した後に合波面において第1合波光および第2合波光それぞれのビーム断面中の共通位置で合波するのが好適である。

[0133] 上記構成の光干渉計は、分岐合波部、第1光学系、第2光学系および駆動部がMEMS (Micro Electro-Mechanical System) により構成されたものであるのが好適である。また、上記構成の光干渉計は、分岐合波部がシリコンからなるのも好適である。

[0134] 上記構成の光干渉計において、分岐合波部の内部における第1分岐光および第2分岐光それぞれの光路長が互いに等しいのが好適である。

産業上の利用可能性

[0135] 本発明は、過剰損失の割合を低減することができる光干渉計として利用可能である。

符号の説明

[0136] 1A～1C…光干渉計、10…分岐合波部、11…分岐面、12…入射面、13…第1出射面、14…合波面、15…第2出射面、16…第3出射面、17…全反射面、20…第1光学系、21, 22…ミラー、30…第2光学系、31, 32…ミラー、40…駆動部、50…検出部、51…第1受光素子、52…第2受光素子、53…第3受光素子、54…電流電圧変換部、55…アンプ、56…帰還抵抗器、90…分散補償用部材、 L_0 …入射光、 L_{11} , L_{12} …第1分岐光、 L_{21} , L_{22} …第2分岐光、 L_3 …第1合波光、 L_4 , L_{41} , L_{42} …第2合波光。

請求の範囲

[請求項1]

分岐合波部、第1光学系、第2光学系および駆動部を備え、
前記分岐合波部は、

透明部材の内部と外部との間の境界に分岐面、入射面、第1出射面、合波面および第2出射面を有し、

前記分岐面と前記合波面とが別個のものであり、

前記分岐面において、外部から入射した入射光の一部を反射させて第1分岐光として出射させるとともに、残部を第2分岐光として内部へ透過させ、

前記入射面において、前記分岐面から前記第1光学系を経て入射した前記第1分岐光を内部へ透過させ、

前記第1出射面において、前記分岐面から内部を経て到達した前記第2分岐光を外部へ出射させ、

前記合波面において、前記入射面から内部を経て到達した前記第1分岐光、および、前記第1出射面から前記第2光学系を経て入射した前記第2分岐光のうち、各々の一部を合波して第1合波光として外部へ出射させるとともに、各々の残部を合波して第2合波光として内部へ伝搬させ、

前記第2出射面において、前記合波面から内部を経て到達した前記第2合波光の一部を外部へ出射させ、

前記第1光学系は、前記分岐面から出射された前記第1分岐光をミラーにより反射させて前記入射面に入射させ、

前記第2光学系は、前記第1出射面から出射された前記第2分岐光をミラーにより反射させて前記合波面に入射させ、

前記駆動部は、前記第1光学系または前記第2光学系の何れかのミラーを移動させて、前記分岐面から前記合波面までの前記第1分岐光および前記第2分岐光それぞれの光路長の差を調整する、

光干渉計。

- [請求項2] 前記合波面から出射された前記第1合波光を受光して当該受光量に応じた第1電流信号 I_1 を出力する第1受光素子と、
前記第2出射面から出射された前記第2合波光の一部を受光して当該受光量に応じた第2電流信号 I_2 を出力する第2受光素子と、
前記第1電流信号 I_1 から前記第2電流信号 I_2 を差し引いた値（ $I_1 - I_2$ ）に応じた電圧信号を出力する電流電圧変換部と、
を更に備える請求項1に記載の光干渉計。
- [請求項3] 前記分岐合波部は、前記透明部材の内部と外部との間の境界に第3出射面を更に有し、前記第3出射面において、前記第2出射面で反射して内部を経て到達した前記第2合波光の残部を外部へ出射させる、
請求項1に記載の光干渉計。
- [請求項4] 前記合波面から出射された前記第1合波光を受光して当該受光量に応じた第1電流信号 I_1 を出力する第1受光素子と、
前記第2出射面から出射された前記第2合波光の一部を受光して当該受光量に応じた第2電流信号 I_2 を出力する第2受光素子と、
前記第3出射面から出射された前記第2合波光の残部を受光して当該受光量に応じた第3電流信号 I_3 を出力する第3受光素子と、
前記第1電流信号 I_1 から前記第2電流信号 I_2 および前記第3電流信号 I_3 を差し引いた値（ $I_1 - I_2 - I_3$ ）に応じた電圧信号を出力する電流電圧変換部と、
を更に備える請求項3に記載の光干渉計。
- [請求項5] 前記分岐合波部は、前記透明部材の内部と外部との間の境界に全反射面を更に有し、前記全反射面において、前記合波面から内部を経て到達した前記第2合波光を全反射させて前記第2出射面に入射させる、
請求項1～4の何れか1項に記載の光干渉計。
- [請求項6] 前記第1光学系のミラーの個数と前記第2光学系のミラーの個数との和が偶数であり、

前記入射光のビーム断面中の各位置の光線を前記分岐面において分岐した後、前記合波面において前記第1合波光および前記第2合波光それぞれのビーム断面中の共通位置で合波する、

請求項1～5の何れか1項に記載の光干渉計。

[請求項7] 前記分岐合波部、前記第1光学系、前記第2光学系および前記駆動部がMEMSにより構成されたものである、

請求項1～6の何れか1項に記載の光干渉計。

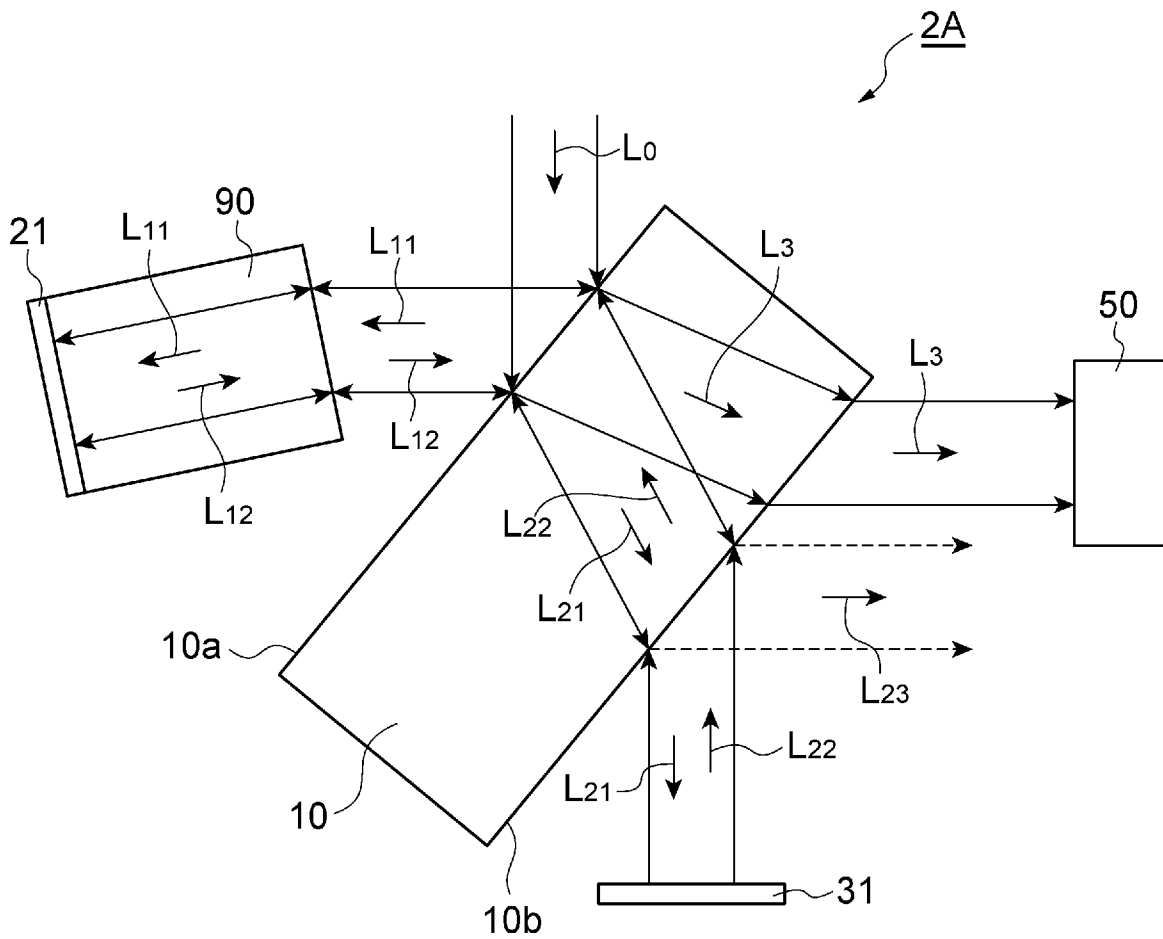
[請求項8] 前記分岐合波部がシリコンからなる、

請求項1～7の何れか1項に記載の光干渉計。

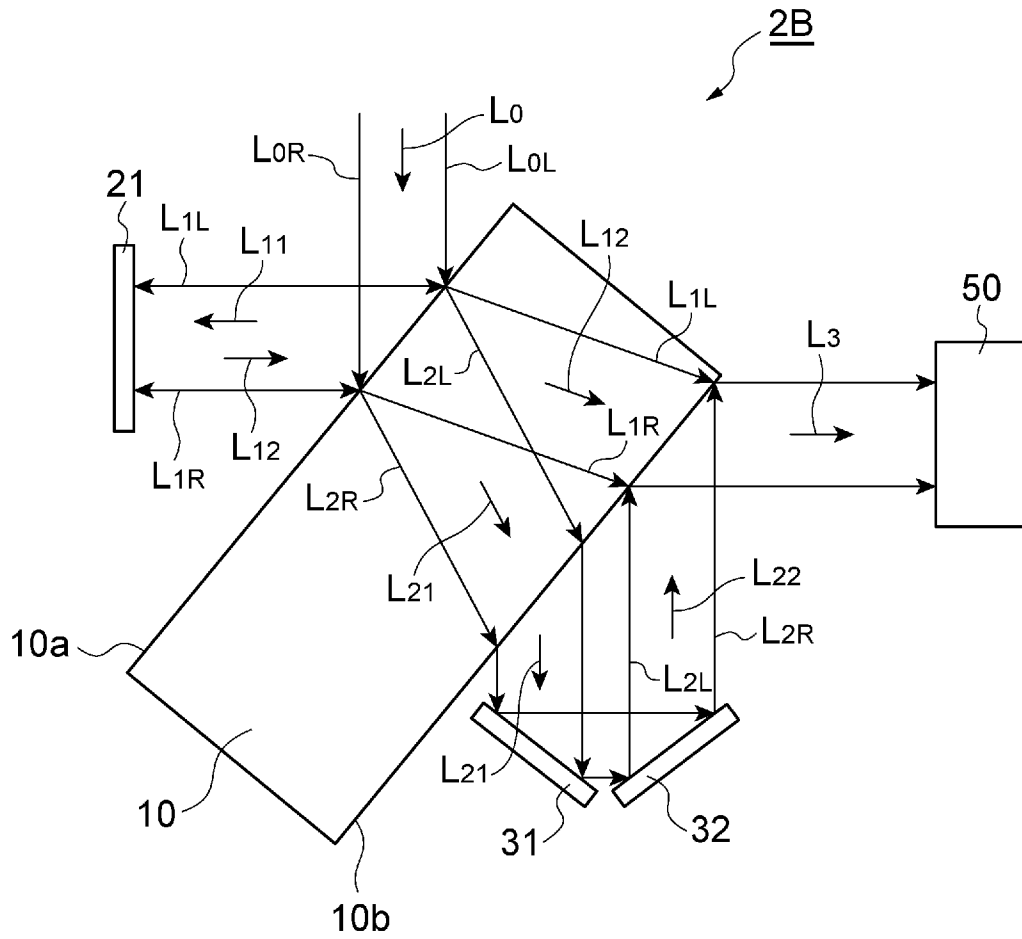
[請求項9] 前記分岐合波部の内部における前記第1分岐光および前記第2分岐光それぞれの光路長が互いに等しい、

請求項1～8の何れか1項に記載の光干渉計。

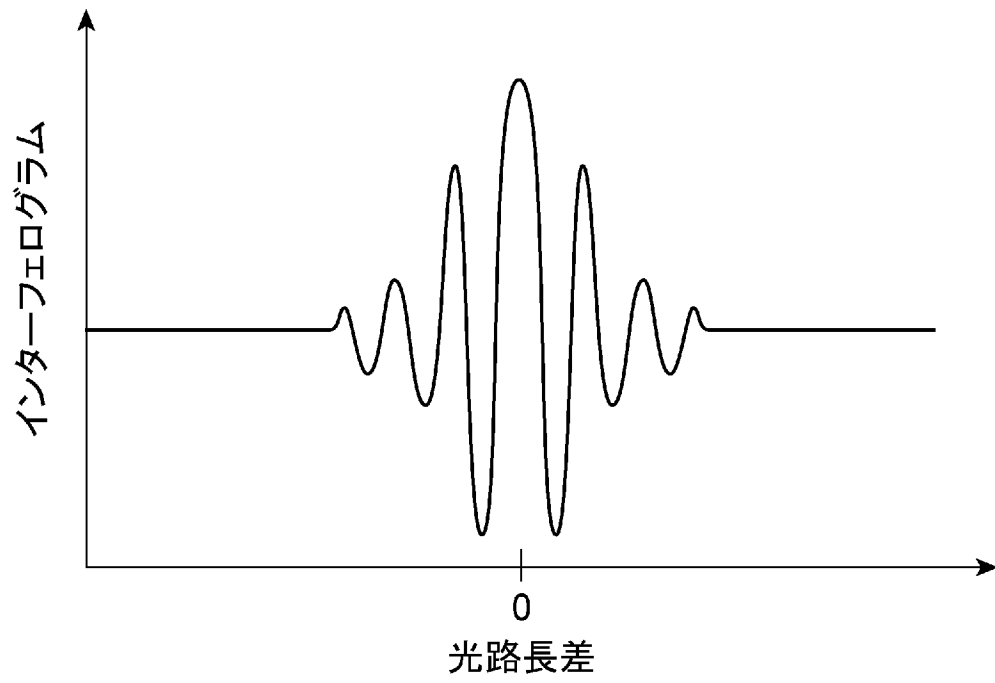
[図1]



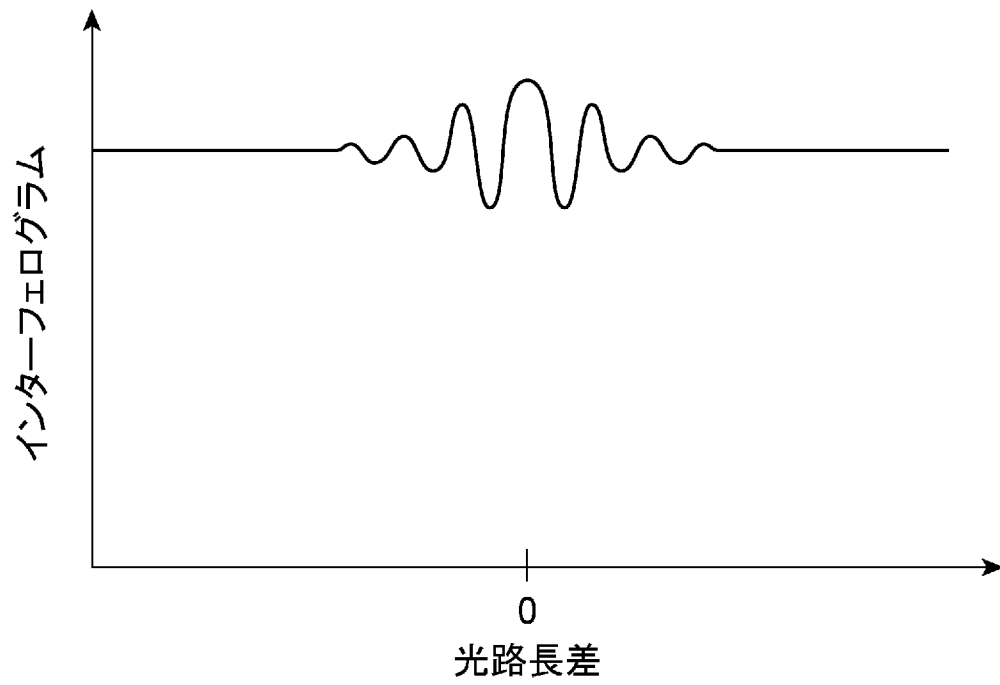
[図2]



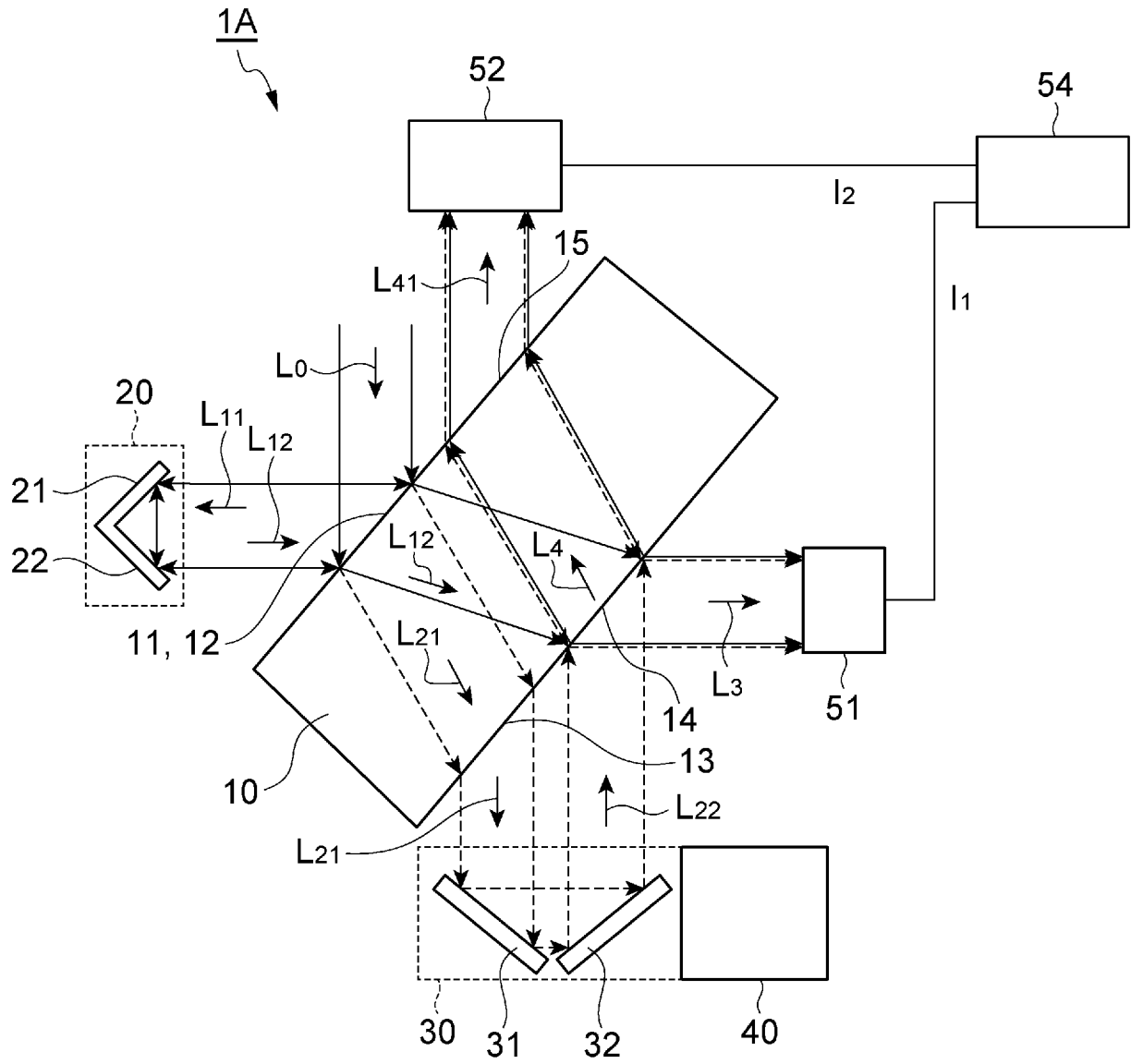
[図3]



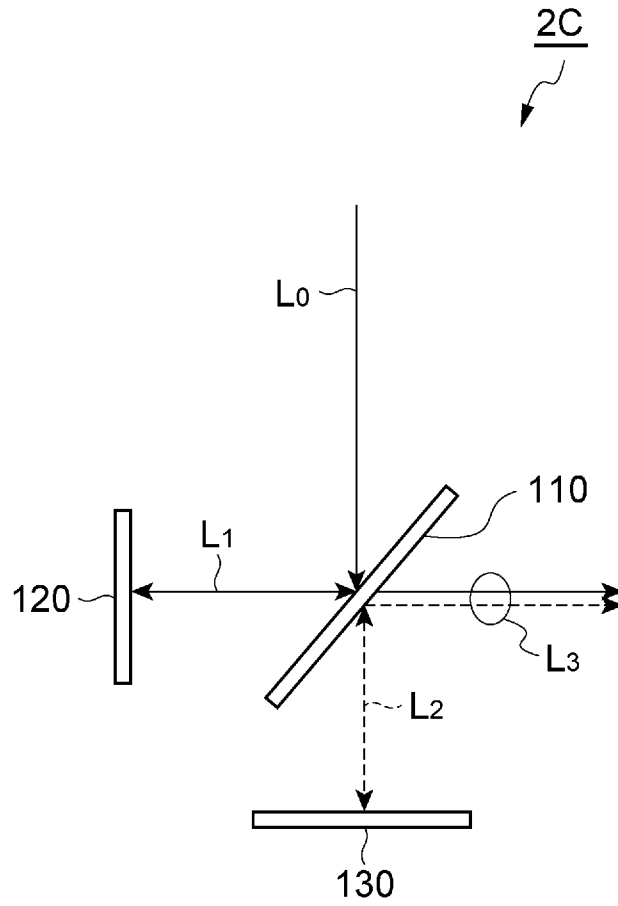
[図4]



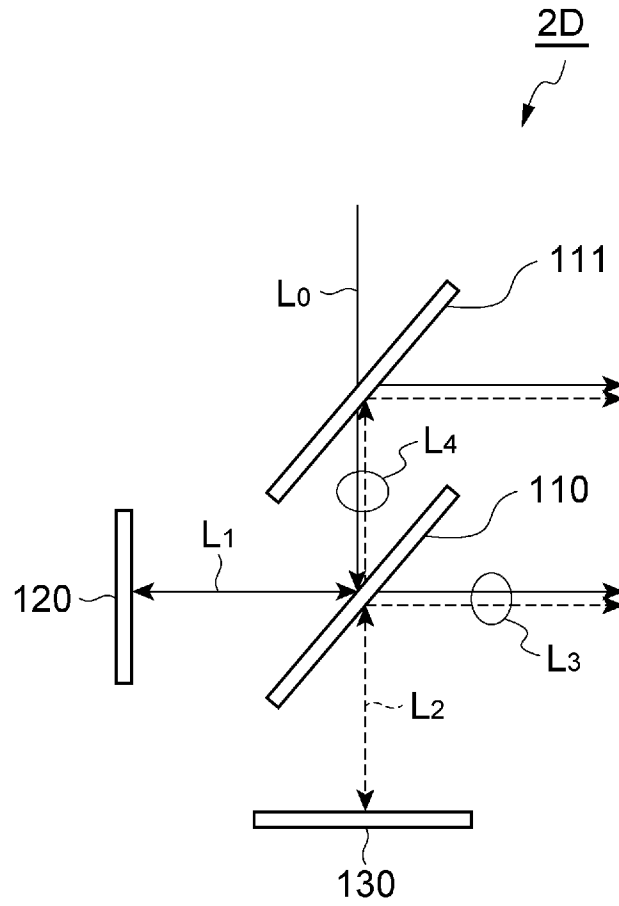
[図5]



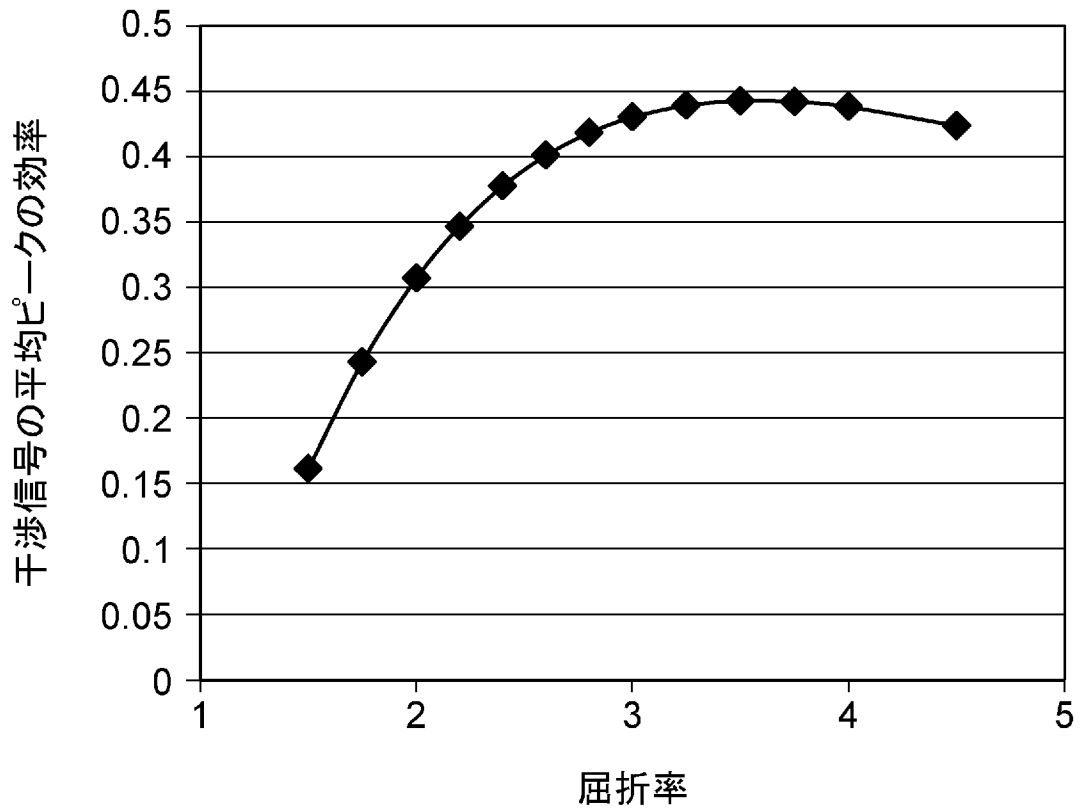
[図6]



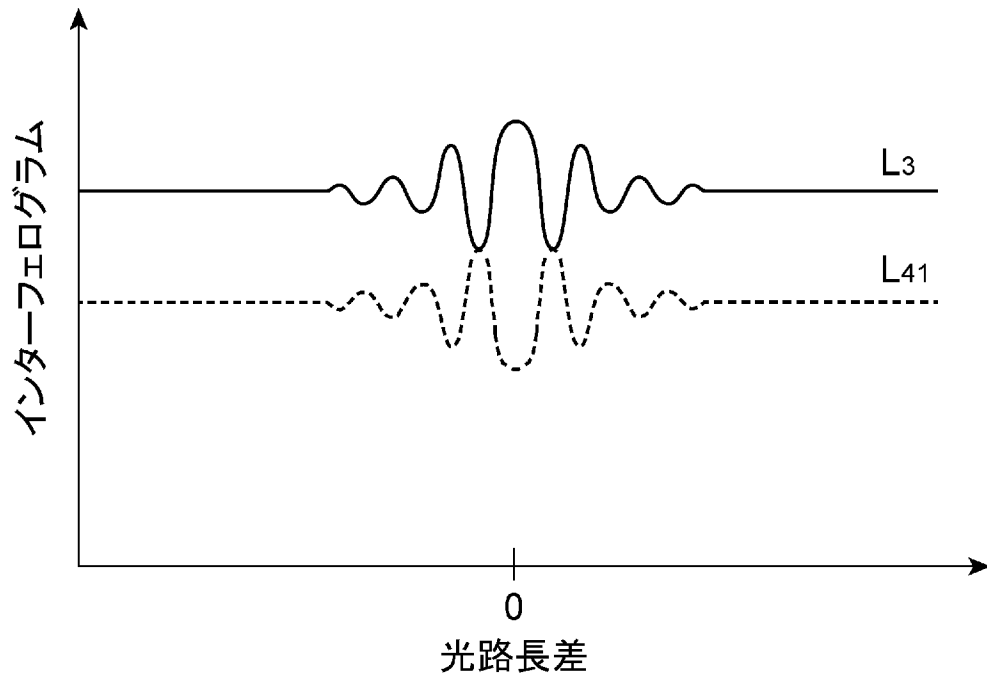
[図7]



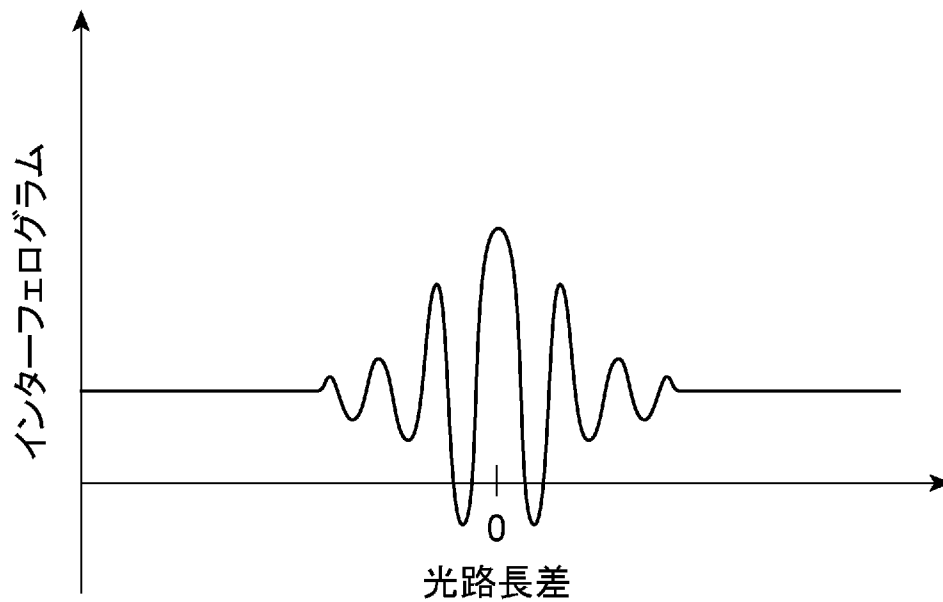
[図8]



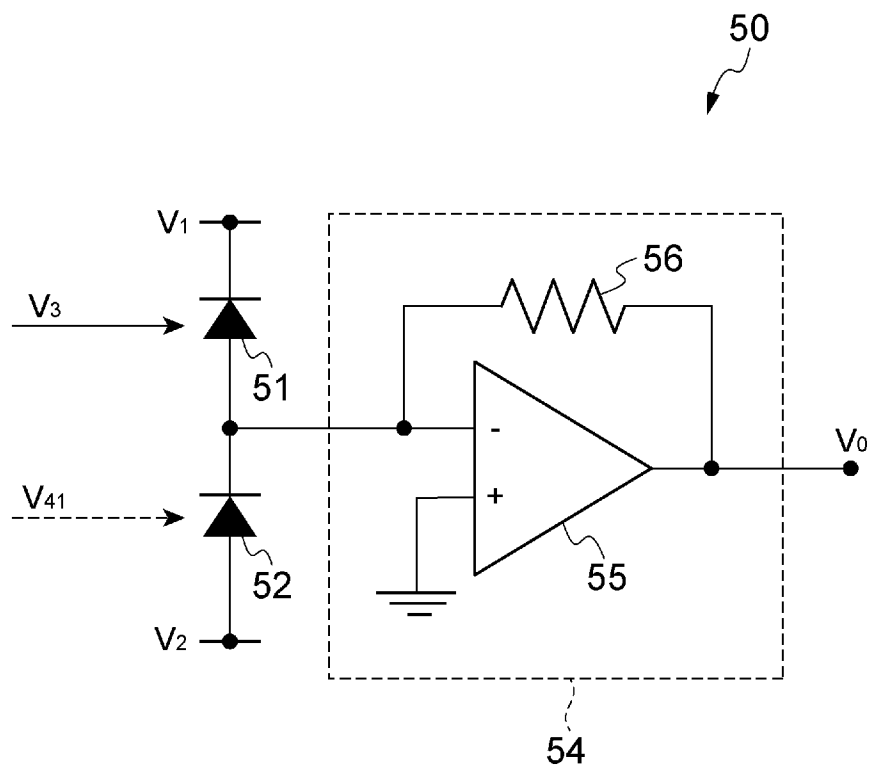
[図9]



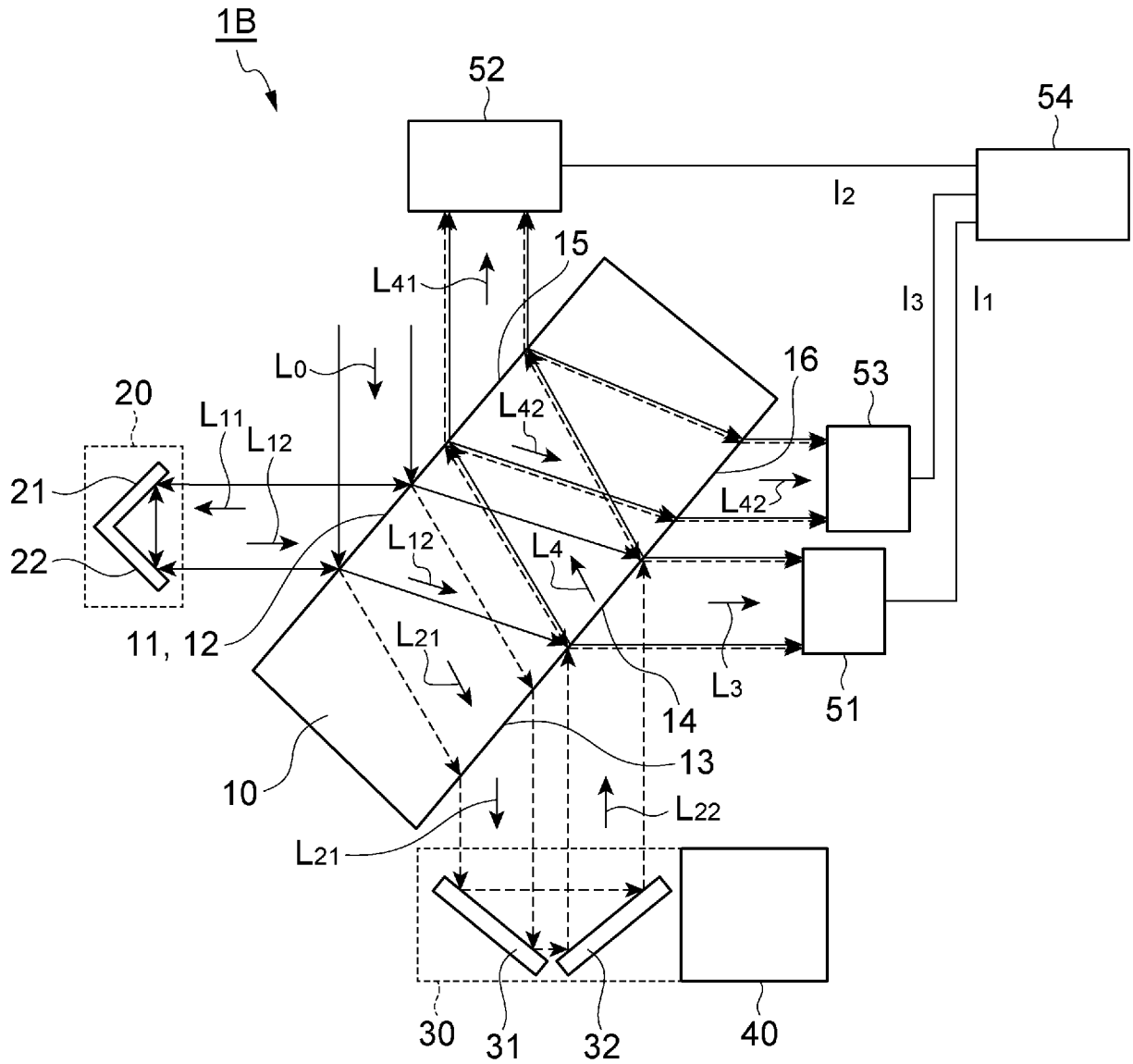
[図10]



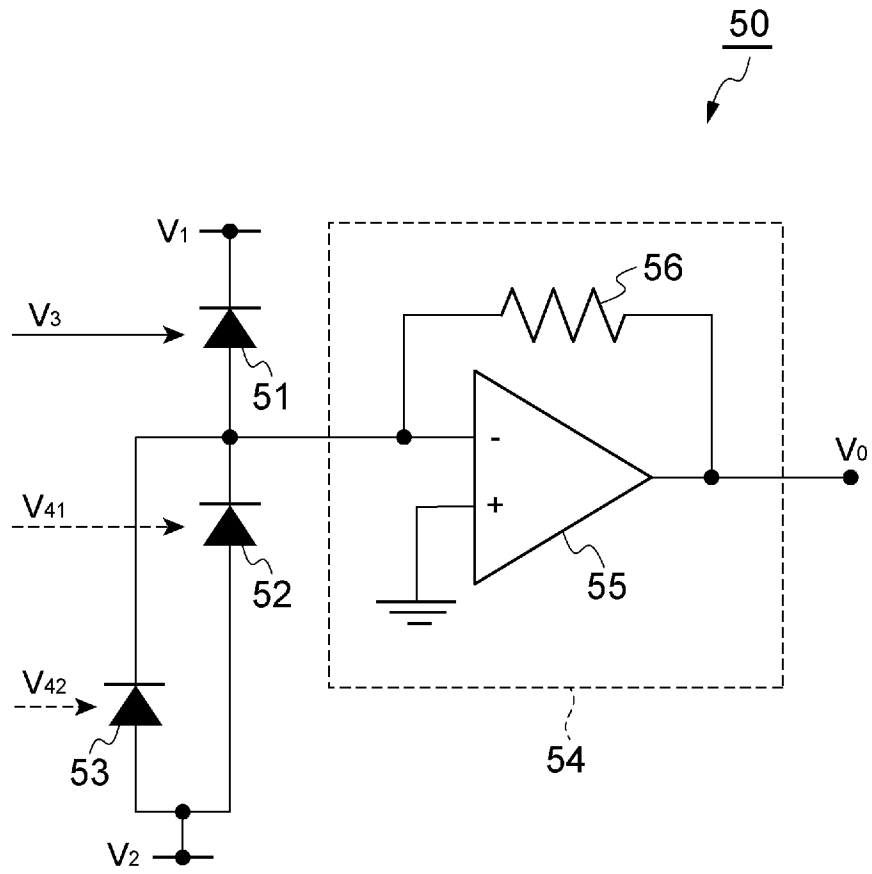
[図11]



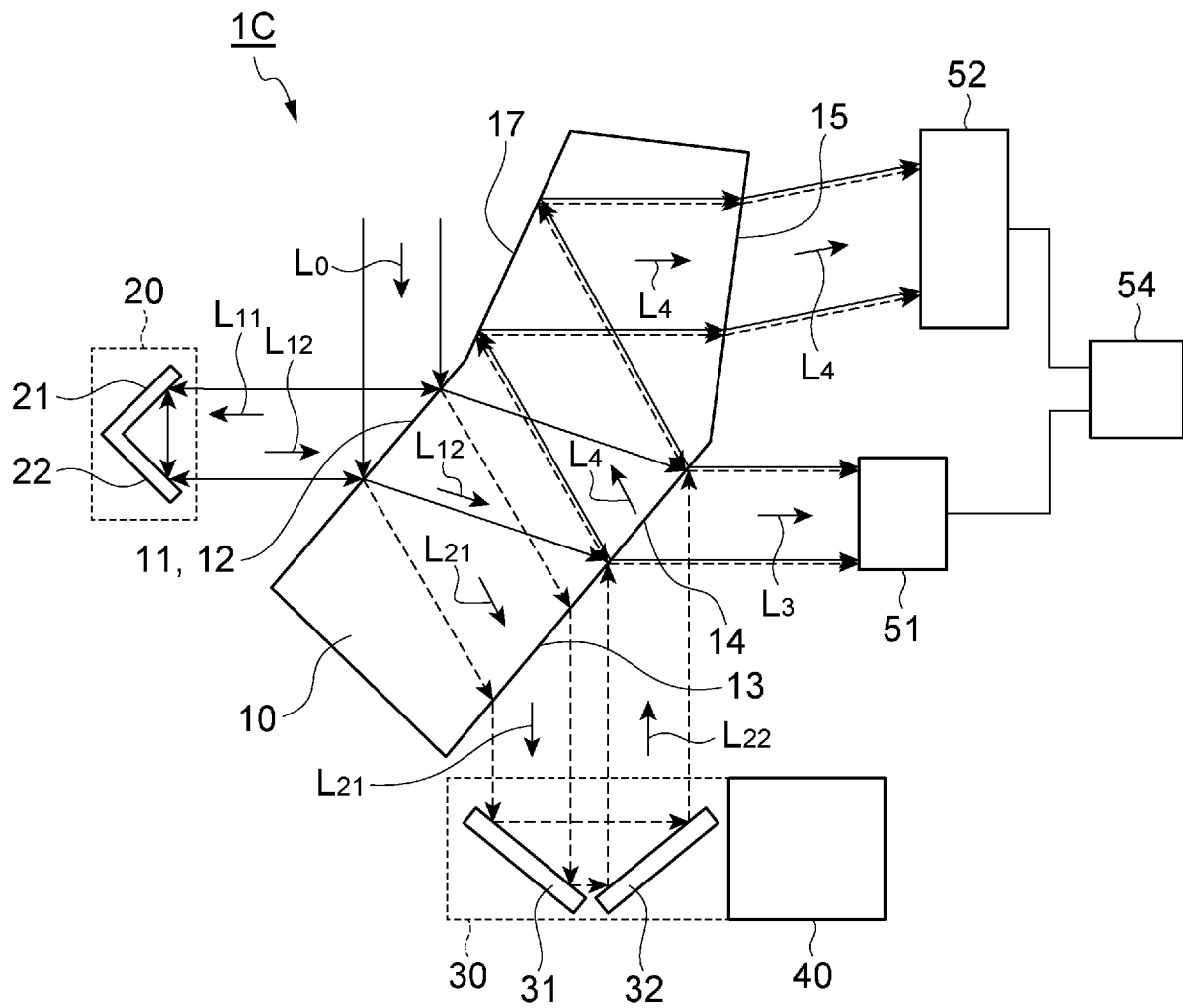
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/075105

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y A | WO 2015/025691 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 26 February 2015 (26.02.2015), paragraphs [0048] to [0058]; fig. 6 to 8 (Family: none) | 7-9 3-5 |
| Y A | JP 2013-504066 A (Si-Ware Systems), 04 February 2013 (04.02.2013), paragraphs [0026] to [0044]; fig. 3A to 6B & US 2011/0058180 A1 & WO 2011/031791 A1 & EP 2475970 A | 7-9 3-5 |
| A | JP 2009-109393 A (Yokogawa Electric Corp.), 21 May 2009 (21.05.2009), entire text; all drawings (Family: none) | 1-9 |
| A | JP 2002-202203 A (Anritsu Corp.), 19 July 2002 (19.07.2002), entire text; all drawings & US 2002/0118368 A1 & EP 1219938 A2 & DE 60118871 D | 1-9 |
| A | JP 9-325005 A (The Boeing Co.), 16 December 1997 (16.12.1997), entire text; all drawings & EP 793079 A2 & DE 69722688 D & CN 1168967 A | 1-9 |
| A | US 6469790 B1 (Christopher J. Manning), 22 October 2002 (22.10.2002), entire text; all drawings & WO 1999/002939 A1 | 1-9 |
| A | US 6233054 B1 (Her Majesty the Queen in right of Canada, as represented by the Minister of National Defence of Her Majesty's Canadian Government), 15 May 2001 (15.05.2001), entire text; all drawings & US 6233054 B1 | 1-9 |

| | | |
|--|--|------------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01J3/45(2006.01)i | | |
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01J3/00-3/52, G01J4/00-4/04, G01J7/00-9/04, G01B9/02, G01N21/45 | | |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年 | | |
| 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII) | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| Y A | US 5412474 A (Smithsonian Institution) 1995.05.02, 第5コラム 第44行-第6コラム第65行、第13コラム第23行-第14コ ラム第58行、FIG. 1、FIG. 6a (ファミリーなし) | 1, 2, 6-9 3-5 |
| Y A | JP 63-241306 A (富士電機株式会社) 1988.10.06, 第3頁右上欄第 9行-第6頁左下欄第2行、第7頁左上欄第13行-同頁右上欄第 8行、第1図-第4図 & US 4932780 A & GB 8725860 A0 & DE 3737426 A | 1, 2, 6-9 3-5 |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | |
| * 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献 | | |
| 国際調査を完了した日 28.09.2015 | 国際調査報告の発送日 13.10.2015 | |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | 特許庁審査官（権限のある職員） 横尾 雅一 電話番号 03-3581-1101 内線 3250 | 2W 3716 |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|---|----------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| Y A | WO 2015/025691 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 2015.02.26, [0048] - [0058]、図6 - 図8 (ファミリーなし) | 7-9 3-5 |
| Y A | JP 2013-504066 A (シーウェア システムズ) 2013.02.04, [0026] - [0044]、図3A - 図6B & US 2011/0058180 A1 & WO 2011/031791 A1 & EP 2475970 A | 7-9 3-5 |
| A | JP 2009-109393 A (横河電機株式会社) 2009.05.21, 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-9 |
| A | JP 2002-202203 A (アンリツ株式会社) 2002.07.19, 全文、全図 & US 2002/0118368 A1 & EP 1219938 A2 & DE 60118871 D | 1-9 |
| A | JP 9-325005 A (ザ・ボーイング・カンパニー) 1997.12.16, 全文、全図 & EP 793079 A2 & DE 69722688 D & CN 1168967 A | 1-9 |
| A | US 6469790 B1 (Christopher J. Manning) 2002.10.22, 全文、全図 & WO 1999/002939 A1 | 1-9 |
| A | US 6233054 B1 (Her Majesty the Queen in right of Canada, as represented by the Minister of National Defence of Her Majesty's Canadian Government) 2001.05.15, 全文、全図 & US 6233054 B1 | 1-9 |