

(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
2023年11月16日(16.11.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/218501 A1

(51) 国際特許分類:
G01M 11/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/019661

(22) 国際出願日: 2022年5月9日(09.05.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

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

(72) 発明者: 川合 暁(KAWAI Akira); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T

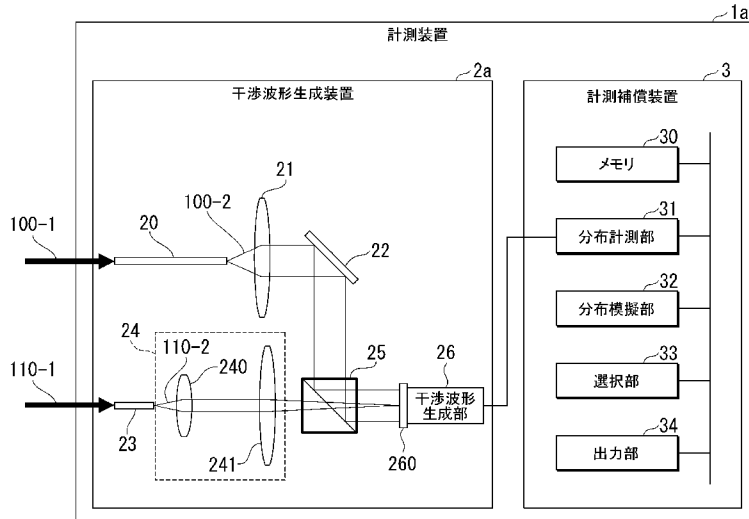
知的財産センタ内 Tokyo (JP). 清水 新平 (SHIMIZU Shimpei); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小林 孝行 (KOBAYASHI Takayuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 宮本 裕(MIYAMOTO Yutaka); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 志賀国際特許事務所 (SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(54) Title: MEASUREMENT DEVICE, MEASUREMENT COMPENSATION DEVICE, AND MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 計測装置、計測補償装置及び計測方法

[図1]



1a Measurement device
2a Interference waveform generation device
3 Measurement compensation device
26 Interference waveform generation unit
30 Memory
31 Distribution measurement unit
32 Distribution simulation unit
33 Selection unit
34 Output unit

(57) Abstract: This measurement device comprises: an interference waveform generation unit that generates an interference waveform signal in accordance with interference light of first light and second light received on an imaging plane; a distribution measurement unit that measures a first optical field distribution of the intensity and phase of the first light on the imaging plane on the basis of the interference waveform signal; a distribution simulation unit that simulates, on the basis of the measured first optical field distribution, a second optical field distribution of the intensity and phase of the first light on a plurality of planes at different distances from the imaging plane with respect to a direction opposite to the direction of propagation of the first light propagated from an end face of an optical waveguide; a selection unit that selects a plane on which the area of a region of the simulated second optical field distribution is the smallest from among the plurality of planes; and an output unit that outputs, to a predetermined device, information on the simulated second

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

optical field distribution on the selected plane.

(57) 要約: 計測装置は、撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じて、干渉波形信号を生成する干渉波形生成部と、干渉波形信号に基づいて、撮像面における第1光の強度及び位相の第1光電場分布を計測する分布計測部と、光導波路の端面から伝搬した第1光の伝搬方向に対して逆の方向について、撮像面からの距離が異なる複数の平面における第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された第1光電場分布に基づいて模擬する分布模擬部と、模擬された第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、複数の平面のうちから選択する選択部と、選択された平面における模擬された第2光電場分布の情報を、所定の装置に出力する出力部とを備える。

明 細 書

発明の名称：計測装置、計測補償装置及び計測方法

技術分野

[0001] 本発明は、計測装置、計測補償装置及び計測方法に関する。

背景技術

[0002] 光ファイバを光導波路として用いる光伝送システムは、光ファイバの広帯域性及び低損失性による大きな伝送容量の固定回線を実現するシステムとして、広く用いられている。この伝送容量を更に増大させるため、空間分割多重（SDM：Space Division Multiplexing）が研究されている。光伝送システムにおける空間分割多重では、1本のシングルモードファイバ（SMF：Single Mode Fiber）の代わりに、複数本のシングルモードファイバ（並列化シングルモードファイバ）、マルチコアファイバ（MCF：Multi Core Fiber）、結合コアマルチコアファイバ（CC-MCF：Coupled-Core Multi Core Fiber）、マルチモードファイバ（MMF：Multi Mode Fiber）、又は、マルチコアマルチモードファイバ（MCMF：Multi Core Multi Mode Fiber）が、光導波路として用いられることがある。

[0003] これらの光導波路が持つ複数の空間自由度が、独立チャネルとして活用される。これによって、1本のファイバ当たりの伝送容量を増大させることが可能である。マルチモードファイバ及びマルチモードマルチコアファイバ（以下「マルチモードファイバ等」という。）は、複数本のシングルモードファイバ及びマルチコアファイバと比較して、光導波路の単位断面積当たりのモード数を高めることができる。このため、空間利用効率の高い空間多重方法における利用が、マルチモードファイバ等に期待されている（非特許文献1参照）。

[0004] マルチモードファイバ等を用いる光伝送システムの構築には、適切な性能を持つ光ファイバと、マルチモードコアの入出力に対応した性能のデバイスとが必要である。ここで、マルチモードファイバ等の性能が適切に評価され

るには、マルチモードファイバ等の端面における光信号の強度及び位相の光電場分布が計測される必要がある。また、デバイスの設計が適切に行われるためには、デバイスの光導波路の端面における光信号の強度及び位相の光電場分布が計測される必要がある。

[0005] 光電場分布の情報（プロファイル）が必要であることの理由の一つとして、光ファイバ内の非線形光学効果によって光導波路内に発生する非線形ノイズ量の評価のために、光電場分布の情報が必要であることが挙げられる。光ファイバ内の非線形効果は、光パワーに応じて増大するので、伝送容量の究極的な制限要因となる。このため、伝送システムの性能を評価する観点から、光電場分布の情報は重要である。

[0006] マルチモードファイバ等における非線形効果が評価されるためには、光信号の各モードについて、光導波路の端面における光電場分布の領域の面積を知る必要がある。この光電場分布は、光導波路の端面から伝搬した光信号の強度及び位相の情報を含む。光電場分布の領域の面積が算出されるためには、光導波路の端面における光電場分布の計測が必要である（非特許文献2参照）。

[0007] また、光ファイバの端面とデバイスの光導波路の端面とにおける光電場分布の情報がデバイスの設計のために必要であることの理由として、より低い結合損失を持つ入出力部の設計に光電場分布の情報が必要であるということが挙げられる。光ファイバをデバイスに接触させて光信号を結合する入出力部では、デバイス内の光導波路と光ファイバとの結合効率は、デバイスの光導波路の端面における光電場分布の領域と光ファイバの端面における光電場分布の領域との重なりに応じて定まる。

[0008] そのため、デバイス内の光導波路と光ファイバとの結合効率が最適化されることを目的として、デバイスの光導波路の端面における光電場分布の情報と光ファイバの端面の光電場分布との両方が事前に計測されて、計測された各光電場分布の情報がなるべく一致するように光導波路が設計される。

[0009] 光導波路の端面における強度及び位相の光電場分布の計測において、デジ

タルホログラフィが利用されることがある（非特許文献3参照）。デジタルホログラフィの光学系では、物体光が光導波路の端面から伝搬し、撮像面（イメージセンサ）が、物体光及び参照光（平面波）の干渉光を受光する。受光された干渉光に応じた干渉波形信号がデジタル信号処理によって解析されることによって、光導波路の端面における強度及び位相の光電場分布が計測される。

[0010] しかしながら、光学系の各コンポーネント間の距離が精密に制御されていない場合、既存の手法では、端面における光電場分布の計測精度を向上させることができない。例えば、デジタルホログラフィの光学系では、光導波路の端面と結像光学系との間の距離と、結像光学系内の各レンズ間の距離と、結像光学系と撮像面との間の距離が、精密に制御される必要がある。光学系の各コンポーネント間の距離が理想的な距離と異なる場合、計測された光電場分布の画像は、光導波路の端面における光電場分布の領域がデフォーカスされた画像となる。このため、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることができない。このような課題に対して、生体顕微鏡の画像の明瞭度が最大になるようにデフォーカス補償される場合と同様の方法で、光電場分布の画像の明瞭度（輪郭スパース度）が最大になるように画像がデフォーカス補償されることがある（非特許文献4参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0011] 非特許文献1: Mizuno, Takayuki, et al. "Dense space-division multiplexed transmission systems using multi-core and multi-mode fiber." *Journal of lightwave technology* 34.2 (2016): pp.582-592.

非特許文献2: Rademacher, Georg, and Klaus Petermann. "Nonlinear Gaussian noise model for multimode fibers with space-division multiplexing." *Journal of Lightwave Technology* 34.9 (2016): pp.2280-2287.

非特許文献3: Shimizu, Shimpei, et al. "Volume holographic spatial mode demultiplexer with a dual-wavelength method." *Applied optics* 57.2 (

2018): pp.146-153.

非特許文献4: Zhang, Yibo, et al. "Edge sparsity criterion for robust holographic autofocusing." Optics letters 42.19 (2017): pp.3824-3827.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] しかしながら、光導波路の端面におけるマルチモード光の光電場分布の画像では、例えばLP₁₁モードの光電場分布の画像のエッジのように、実部及び虚部の両方についてエッジが不明瞭になる。そのため、生体顕微鏡の画像又は自然画像に対する補正と同様の方法では、光電場分布の画像のエッジを明瞭にする（デフォーカスを補償する）ことは難しい。

[0013] このように、光学系の各コンポーネント間の距離が精密に制御されていない場合には、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることができないという問題がある。

[0014] 上記事情に鑑み、本発明は、光学系の各コンポーネント間の距離が精密に制御されていない場合でも、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることが可能である計測装置、計測補償装置及び計測方法を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明の一態様は、撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じて、干渉波形信号を生成する干渉波形生成部と、前記干渉波形信号に基づいて、前記撮像面における前記第1光の強度及び位相の第1光電場分布を計測する分布計測部と、光導波路の端面から伝搬した前記第1光の伝搬方向に対して逆の方向について、前記撮像面からの距離が異なる複数の平面における前記第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された前記第1光電場分布に基づいて模擬する分布模擬部と、模擬された前記第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、前記複数の平面のうちから選択する選択部と、選択された前記平面における模擬された前記第2光電場分布の情報を、所定の装置に出力する出力部とを備える計測装置である。

[0016] 本発明の一態様は、撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じた干渉波形信号に基づいて、前記撮像面における前記第1光の強度及び位相の第1光電場分布を計測する分布計測部と、光導波路の端面から伝搬した前記第1光の伝搬方向に対して逆の方向について、前記撮像面からの距離が異なる複数の平面における前記第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された前記第1光電場分布に基づいて模擬する分布模擬部と、模擬された前記第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、前記複数の平面のうちから選択する選択部と、選択された前記平面における模擬された前記第2光電場分布の情報を、所定の装置に出力する出力部とを備える計測補償装置である。

[0017] 本発明の一態様は、計測装置が実行する計測方法であって、撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じて、干渉波形信号を生成するステップと、前記干渉波形信号に基づいて、前記撮像面における前記第1光の強度及び位相の第1光電場分布を計測するステップと、光導波路の端面から伝搬した前記第1光の伝搬方向に対して逆の方向について、前記撮像面からの距離が異なる複数の平面における前記第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された前記第1光電場分布に基づいて模擬するステップと、模擬された前記第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、前記複数の平面のうちから選択するステップと、選択された前記平面における模擬された前記第2光電場分布の情報を、所定の装置に出力するステップとを含む計測方法である。

発明の効果

[0018] 本発明により、光学系の各コンポーネント間の距離が精密に制御されていない場合でも、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることが可能である。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1実施形態における、計測装置の構成例を示す図である。

[図2]第1実施形態における、物体光の強度及び位相の光電場分布例を示す図

である。

[図3]第1実施形態における、計測補償装置の動作例を示すフローチャートである。

[図4]第2実施形態における、計測装置の構成例を示す図である。

[図5]各実施形態における、計測装置のハードウェア構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

(第1実施形態)

図1は、実施形態における、計測装置1aの構成例を示す図である。計測装置1aは、光導波路の端面における光電場分布を計測する装置である。計測装置1aは、干渉波形生成装置2aと、計測補償装置3とを備える。

[0021] まず、干渉波形生成装置2aについて説明する。

干渉波形生成装置2aは、干渉光に応じた信号（干渉波形信号）を生成する装置である。干渉波形生成装置2aは、例えば軸外（off-axis）型又はインライン（in-line）型のデジタルホログラフィの光学系を備える。図1では、干渉波形生成装置2aは、光導波路20と、コリメータレンズ21と、ミラー22と、光導波路23と、結像光学系24と、ビームスプリッタ25と、干渉波形生成部26とを、軸外型のデジタルホログラフィの光学系における各コンポーネントとして備える。

[0022] 結像光学系24は、レンズ240と、レンズ241とを、一組のレンズ対として備える。結像光学系24は、一組のレンズ対を備える代わりに、収差及び倍率が考慮された複数のレンズを備えてもよい。干渉波形生成部26は、撮像面260（イメージセンサ）を備える。

[0023] 光導波路20は、例えば、シングルモードファイバ等の光ファイバである。光導波路20は、シリコン又はリン化インジウム等の物質を含んでもよい。光導波路20には、参照光100-1が入力される。光導波路20は、参照光100-1を伝送する。光導波路20は、参照光100-2をコリメータレンズ21に出力する。

- [0024] コリメータレンズ 21 は、参照光 100-2（所定の傾きを有する平面波）を、ミラー 22 に出力する。ミラー 22 は、参照光 100-2 をビームスプリッタ 25 に反射する。なお、コリメータレンズ 21 が用いられずに、光導波路 20（シングルモードファイバ）の端面から伝搬した参照光 100-2 が、近似的な平面波として用いられてもよい。また、光導波路 20 が用いられずに、ピンホールから伝搬した参照光 100-2 が、近似的な平面波として用いられてもよい。
- [0025] 光導波路 23 は、例えば、マルチモードファイバ等（空間多重ファイバ等）である。光導波路 23 は、シリコン又はリン化インジウム等の物質を含んでもよい。光導波路 23 には、物体光 110-1 が入力される。光導波路 23 は、物体光 110-1 を伝送する。光導波路 23 は、物体光 110-2 を結像光学系 24 に出力する。
- [0026] 結像光学系 24 には、物体光 110-2 が光導波路 23 から入力される。結像光学系 24 は、物体光 110-2 の光電場分布の画像を、レンズ 240 及びレンズ 241 を用いて撮像面 260（焦点面）に結像させる。
- [0027] ビームスプリッタ 25 は、結像光学系 24 から出力された物体光 110-2 を透過させる。ビームスプリッタ 25 には、ミラー 22 によって反射された参照光 100-2 が入力される。ビームスプリッタ 25 は、参照光 100-2 を撮像面 260 に反射する。
- [0028] 干渉波形生成部 26 は、例えば、近赤外カメラである。撮像面 260 には、物体光 110-2 が、ビームスプリッタ 25 から入力される。撮像面 260 には、参照光 100-2 が、ビームスプリッタ 25 から入力される。これによって、撮像面 260 は、物体光 110-2 及び参照光 100-2 の干渉光を受光する。撮像面 260 は、物体光 110-2 及び参照光 100-2 の干渉光を撮像する。干渉波形生成部 26 は、撮像面 260 に受光された干渉光に応じて、干渉波形信号を生成する。干渉波形生成部 26 は、干渉波形信号を計測補償装置 3 に出力する。
- [0029] 次に、計測補償装置 3 について説明する。

計測補償装置 3 は、光電場分布を計測する装置である。ここで、計測補償装置 3 は、計測結果を補償する。光導波路 2 3 の端面から伝搬した物体光 1 1 0 - 2 は、伝搬方向及び垂直方向に、空間的に広がる。計測補償装置 3 は、これを利用して、撮像面 2 6 0 におけるデフォーカスされた光電場分布の情報（計測結果）を、デジタル信号処理によって補償する。このデジタル信号処理では、光学系の焦点距離及びデフォーカス距離からのずれ等の事前情報は不要である。

[0030] 計測補償装置 3 は、メモリ 3 0 と、分布計測部 3 1 と、分布模擬部 3 2 と、選択部 3 3 と、出力部 3 4 とを備える。メモリ 3 0 は、干渉波形生成部 2 6 から出力された干渉波形信号を記憶する。メモリ 3 0 は、コンピュータプログラムを予め記憶してもよい。

[0031] 分布計測部 3 1（複素分布復調部）は、干渉光に応じた干渉波形信号を、メモリ 3 0 又は干渉波形生成部 2 6 から取得する。分布計測部 3 1 は、取得された干渉波形信号に対して、2次元フーリエ変換を実行する。分布計測部 3 1 は、2次元フーリエ変換結果に対して、ローパスフィルタ処理を実行する。例えば、分布計測部 3 1 は、物体光 1 1 0 - 2 の空間周波数として適切な帯域を、2次元フーリエ変換結果から抜き出す。

[0032] 分布計測部 3 1 は、ローパスフィルタ処理によって抜き出された帯域を、周波数「0」の付近に周波数シフトさせる。分布計測部 3 1 は、周波数「0」の付近に周波数シフトされた帯域の2次元フーリエ変換結果に対して、2次元逆フーリエ変換（復調）を実行する。これによって、撮像面 2 6 0 における光電場分布（複素分布）の情報が導出される。

[0033] 分布模擬部 3 2 は、撮像面 2 6 0 における光電場分布の情報に基づいて、物体光 1 1 0 の伝搬距離を、演算によってデジタル領域で仮想的に変更する。すなわち、分布模擬部 3 2 は、物体光 1 1 0 の伝搬方向における複数の位置に仮想的に定められた各平面について、仮想的な各平面における光電場分布を模擬（シミュレート）する。

[0034] 分布模擬部 3 2 は、例えば、角スペクトル法（参考文献 1 : Matsushima, K

yoji, and Tomoyoshi Shimobaba. "Band-limited angular spectrum method for numerical simulation of free-space propagation in far and near fields." Optics express 17.22 (2009): pp.19662-19673.) を用いて、仮想的な各平面における光電場分布を模擬する。これによって、仮想的な各平面における光電場分布（複素分布）の情報が導出される。

[0035] 図2は、第1実施形態における、物体光110-2の強度及び位相の光電場分布例を示す図である。コア230は、光導波路23のコアである。平面120は、レンズ241の焦点面である。各平面200は、光導波路23から撮像面260に向かう伝搬方向における複数の位置に仮想的に定められた各平面（デジタル領域の各平面）である。

[0036] 図2では、干渉波形信号として得られたデフォーカスされた光電場分布の情報（プロファイル）は、光導波路23の端面から離れた平面120（撮像面260）における領域201-0及び領域202-0の光電場分布の情報である。

[0037] 分布模擬部32は、実空間における物体光110の伝搬を、デジタル信号処理によってデジタル領域で模擬する。分布模擬部32は、デジタル領域において伝搬方向の順方向又は逆方向に物体光110を伝搬させることによって、各平面200における光電場分布の領域201及び領域202を導出する。

[0038] 例えば、分布模擬部32は、計測された光電場分布の領域201-0及び領域202-0を、結像光学系24の焦点距離及びデフォーカス距離に応じた距離だけ、物体光110の伝搬方向に対して逆の方向に、デジタル信号処理によって仮想的に移動させる。ここで、領域201-0及び領域202-0の移動距離として適切な距離（正確な伝搬距離）が判れば、デジタル領域において物体光110を伝搬させることによって、光電場分布の画像のデフォーカスを計測補償装置3が補償することができる。

[0039] コア230の端面から伝搬した物体光110は、伝搬方向及び垂直方向に、空間的に広がる。換言すれば、平面200-2（コア230の端面）にお

ける光電場分布の領域 201-2 及び領域 202-2 の面積は、各平面 200 における光電場分布の領域 201 及び領域 202 のうちで最小である。したがって、領域 201-0 及び領域 202-0 の移動距離として適切な距離（正確な伝搬距離）は、平面 200-2 と平面 120 との間の伝搬距離である。

[0040] 分布模擬部 32 は、例えば、ガウス分布等の 2 次元分布の領域をパラメータとして、計測された物体光 110 の光電場分布の領域 201 及び領域 202 に 2 次元分布の領域をそれぞれフィッティングさせることによって、物体光 110 のビーム径を定量化する。

[0041] 分布模擬部 32 は、例えば、物体光 110 の光電場分布の領域における強度及び位相の計測値の分散を、平面 120 を表す 2 次元の各軸に沿って導出してもよい。分布模擬部 32 は、導出された計測値の分散に基づいて、物体光 110 のビーム径を定量化してもよい。

[0042] 選択部 33 は、模擬された光電場分布の領域 201 及び領域 202 の面積を、複数の平面 200 について比較する。選択部 33 は、光電場分布の領域 201 及び領域 202 の面積が最小となる平面 200 を、複数の平面 200 のうちから選択する。図 2 では、選択部 33 は、平面 200-2 を選択する。平面 200-2 の位置は、光導波路 23（コア 230）の端面の位置に一致する。領域 201-2 及び領域 202-2 の光電場分布の情報は、コア 230 の端面における正確な光電場分布の情報である。このように、選択部 33 は、コア 230 の端面における正確な光電場分布の領域 201-2 及び領域 202-2 を検出する。

[0043] 出力部 34 は、選択された平面 200-2 における領域 201-2 及び領域 202-2 の光電場分布の情報を、所定の装置（不図示）に出力する。出力部 34 は、選択された平面 200-2 から平面 120（焦点面）までの距離（伝搬距離）を表す情報を、所定の装置（不図示）に出力する。これによって、次回以降の補正の際に、今回の補正と同様に、伝搬距離を表す情報に基づいてデフォーカス補正が可能である。また、複数の位置について光電場

分布を模擬することが不要になるので、演算量を削減することが可能である。

[0044] 次に、計測装置 1 a（計測補償装置 3）の動作例を説明する。

図 3 は、第 1 実施形態における、計測補償装置 3 の動作例を示すフローチャートである。分布計測部 3 1 は、撮像面 2 6 0 に受光された物体光 1 1 0 及び参照光 1 0 0 の干渉光に応じた干渉波形信号を、干渉波形生成部 2 6 又はメモリ 3 0 から取得する（ステップ S 1 0 1）。

[0045] 分布計測部 3 1 は、取得された干渉波形信号に基づいて、撮像面 2 6 0 における物体光 1 1 0 の強度及び位相の第 1 光電場分布を計測する（ステップ S 1 0 2）。光導波路 2 3 の端面から伝搬した物体光 1 1 0 の伝搬方向に対して逆の方向について、撮像面 2 6 0 からの距離が異なる複数の平面 2 0 0 における物体光 1 1 0 の強度及び位相の第 2 光電場分布を、撮像面 2 6 0 における計測された第 1 光電場分布に基づいて模擬する（ステップ S 1 0 3）。

[0046] 選択部 3 3 は、模擬された第 2 光電場分布の領域 2 0 1 の面積が最小となる平面 2 0 0 を、複数の平面 2 0 0 のうちから選択する。選択部 3 3 は、模擬された第 2 光電場分布の領域 2 0 2 の面積が最小となる平面 2 0 0 を、複数の平面 2 0 0 のうちから選択してもよい（ステップ S 1 0 4）。

[0047] 出力部 3 4 は、選択された平面 2 0 0 における模擬された第 2 光電場分布の情報を、所定の装置（不図示）又はメモリ 3 0 に出力する。出力部 3 4 は、選択された平面 2 0 0 から平面 1 2 0（焦点面）までの距離（選択された平面 2 0 0 から撮像面 2 6 0 までの伝搬距離）の情報を、所定の装置（不図示）又はメモリ 3 0 に出力してもよい（ステップ S 1 0 5）。

[0048] 以上のように、干渉波形生成部 2 6 は、撮像面 2 6 0 に受光された物体光 1 1 0（第 1 光）及び参照光 1 0 0（第 2 光）の干渉光に応じて、干渉波形信号を生成する。分布計測部 3 1 は、干渉波形信号に基づいて、撮像面 2 6 0 における物体光 1 1 0 の強度及び位相の第 1 光電場分布を計測する。分布模擬部 3 2 は、光導波路 2 3 の端面から伝搬した物体光 1 1 0 の伝搬方向に

対して逆の方向について、撮像面 260 からの距離が異なる複数の平面 200 における物体光 110 の強度及び位相の第 2 光電場分布を、計測された第 1 光電場分布に基づいて模擬する。選択部 33 は、模擬された第 2 光電場分布の領域 201 及び領域 202 の面積が最小となる平面 200 を、複数の平面 200 のうちから選択する。出力部 34 は、選択された平面 200 における模擬された第 2 光電場分布の情報を、所定の装置（不図示）に出力する。

[0049] これによって、光学系の各コンポーネント間の距離（各コンポーネントの配置）が精密に制御されていない場合でも、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることが可能である。例えば、レンズのデフォーカス距離等が不明である場合でも、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることが可能である。例えば、画像の明瞭度（輪郭スパーズ度）等の指標が不明である場合でも、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることが可能である。

[0050] （第 2 実施形態）

第 2 実施形態では、干渉波形生成装置が結像光学系（レンズ）を備えない点が、第 1 実施形態との差分である。第 2 実施形態では、第 1 実施形態との差分を中心に説明する。

[0051] 図 4 は、第 2 実施形態における、計測装置 1b の構成例を示す図である。計測装置 1b は、光導波路の端面における光電場分布を計測する装置である。計測装置 1b は、干渉波形生成装置 2b と、計測補償装置 3 とを備える。

[0052] 干渉波形生成装置 2b は、干渉波形を生成する装置である。干渉波形生成装置 2b は、例えば軸外型又はインライン型のデジタルホログラフィの光学系を備える。図 4 では、干渉波形生成装置 2b は、光導波路 20 と、コリメータレンズ 21 と、ミラー 22 と、光導波路 23 と、ビームスプリッタ 25 と、干渉波形生成部 26 とを、軸外型のデジタルホログラフィの光学系における各コンポーネントとして備える。

[0053] 光導波路 23 には、物体光 110-1 が入力される。光導波路 23 は、物体光 110-1 を伝送する。光導波路 23 は、物体光 110-2 をビームス

プリッタ 25 に出力する。

[0054] 第 2 実施形態では、干渉波形生成装置 2b が結像光学系（レンズ）を備えないので、結像光学系によって物体光 110 が撮像面 260 に結像されない。光導波路 23 から伝搬した物体光 110 は、ビームスプリッタ 25 を介して、撮像面 260（イメージセンサ）によって受光される。平面 120 の位置と撮像面 260 の位置とは同じである。ここで、図 2 における平面 200-2 から平面 120 までの伝搬距離は、平面 200-2 から撮像面 260 までの距離と等しい。

[0055] ビームスプリッタ 25 は、光導波路 23 から出力された物体光 110-2 を透過させる。ビームスプリッタ 25 には、ミラー 22 によって反射された参照光 100-2 が入力される。ビームスプリッタ 25 は、参照光 100-2 を撮像面 260 に反射する。

[0056] 干渉波形生成部 26 は、撮像面 260 に受光された干渉光に応じて、干渉波形信号を生成する。干渉波形生成部 26 は、干渉波形信号を計測補償装置 3 に出力する。分布計測部 31 は、干渉波形信号を干渉波形生成部 26 又はメモリ 30 から取得する。

[0057] 以上のように、撮像面 260 は、結像光学系 24（レンズ 240 及びレンズ 241）を介さずに、光導波路 23 の端面から伝搬した物体光 110-2 を受光する。すなわち、撮像面 260 は、レンズレスな光学系を介して、光導波路 23 の端面から伝搬した物体光 110-2 を受光する。

[0058] これによって、光学系の各コンポーネント間の距離が精密に制御されていない場合でも、光導波路の端面における光電場分布の計測精度を向上させることが可能である。レンズレス・ホログラフィの計測系では、物体光の空間伝搬を模擬することが可能であることから、端面に物体光を結像するためのレンズが不要である。このため、計測装置の小型化と、レンズに依存しない広帯域化と、収差フリー化とが可能である。

[0059] （変形例）

デジタルホログラフィを用いて計測装置が光電場分布を計測する代わりに

、シャック・ハルトマン型の波面センサ（Shack-Hartmann wave-front sensor）を用いて計測装置が光電場分布を計測してもよい。また、所定の最適化アルゴリズムを用いて計測装置が光電場分布を計測してもよい。所定の最適化アルゴリズムは、例えば、反復フーリエ変換法である。反復フーリエ変換法は、例えば、Gerchberg-Saxtonアルゴリズムである。

[0060] （ハードウェア構成例）

図5は、各実施形態における、計測装置1（計測システム）のハードウェア構成例を示す図である。計測装置1は、計測装置1a及び計測装置1bの一部又は全部に相当する。

[0061] 計測装置1は、CPU（Central Processing Unit）等のプロセッサ10が、不揮発性の記録媒体（非一時的記録媒体）を有する記憶装置12とメモリ11とに記憶されたプログラムを実行することにより、ソフトウェアとして実現される。プログラムは、コンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体に記録されてもよい。コンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM（Read Only Memory）、CD-ROM（Compact Disc Read Only Memory）等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置などの非一時的記録媒体である。通信部13は、所定の通信処理を実行する。

[0062] 計測装置1の各機能部の一部又は全部は、アナログ回路又はデジタル回路であり、例えば、LSI（Large Scale Integrated circuit）、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）、PLD（Programmable Logic Device）又はFPGA（Field Programmable Gate Array）等を用いた電子回路（electronic circuit又はcircuitry）を含むハードウェアを用いて実現されてもよい。

[0063] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0064] 本発明は、光電場分布を計測する装置（光計測装置）に適用可能である。

符号の説明

[0065] 1, 1 a, 1 b…計測装置、2 a, 2 b…干渉波形生成装置、3…計測補償装置、2 0…光導波路、2 1…コリメータレンズ、2 2…ミラー、2 3…光導波路、2 4…結像光学系、2 5…ビームスプリッタ、2 6…干渉波形生成部、3 0…メモリ、3 1…分布計測部、3 2…分布模擬部、3 3…選択部、3 4…出力部、1 0 0…参照光、1 1 0…物体光、1 2 0…平面、2 0 0…平面、2 0 1…領域、2 0 2…領域、2 3 0…コア、2 4 0…レンズ、2 4 1…レンズ、2 6 0…撮像面

請求の範囲

- [請求項1] 撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じて、干渉波形信号を生成する干渉波形生成部と、
- 前記干渉波形信号に基づいて、前記撮像面における前記第1光の強度及び位相の第1光電場分布を計測する分布計測部と、
- 光導波路の端面から伝搬した前記第1光の伝搬方向に対して逆の方向について、前記撮像面からの距離が異なる複数の平面における前記第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された前記第1光電場分布に基づいて模擬する分布模擬部と、
- 模擬された前記第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、前記複数の平面のうちから選択する選択部と、
- 選択された前記平面における模擬された前記第2光電場分布の情報を、所定の装置に出力する出力部と
- を備える計測装置。
- [請求項2] 前記出力部は、選択された前記平面から前記撮像面までの伝搬距離の情報を、前記所定の装置に出力する、請求項1に記載の計測装置。
- [請求項3] 前記分布計測部は、デジタルホログラフィの前記干渉波形信号に基づいて、前記第1光電場分布を計測する、請求項1又は請求項2に記載の計測装置。
- [請求項4] 前記撮像面は、結像光学系を介さずに、前記光導波路の端面から伝搬した前記第1光を受光する、請求項1又は請求項2に記載の計測装置。
- [請求項5] 撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じた干渉波形信号に基づいて、前記撮像面における前記第1光の強度及び位相の第1光電場分布を計測する分布計測部と、
- 光導波路の端面から伝搬した前記第1光の伝搬方向に対して逆の方向について、前記撮像面からの距離が異なる複数の平面における前記第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された前記第1光電

場分布に基づいて模擬する分布模擬部と、

模擬された前記第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、
前記複数の平面のうちから選択する選択部と、

選択された前記平面における模擬された前記第2光電場分布の情報を、
所定の装置に出力する出力部と
を備える計測補償装置。

[請求項6]

計測装置が実行する計測方法であって、

撮像面に受光された第1光及び第2光の干渉光に応じて、干渉波形
信号を生成するステップと、

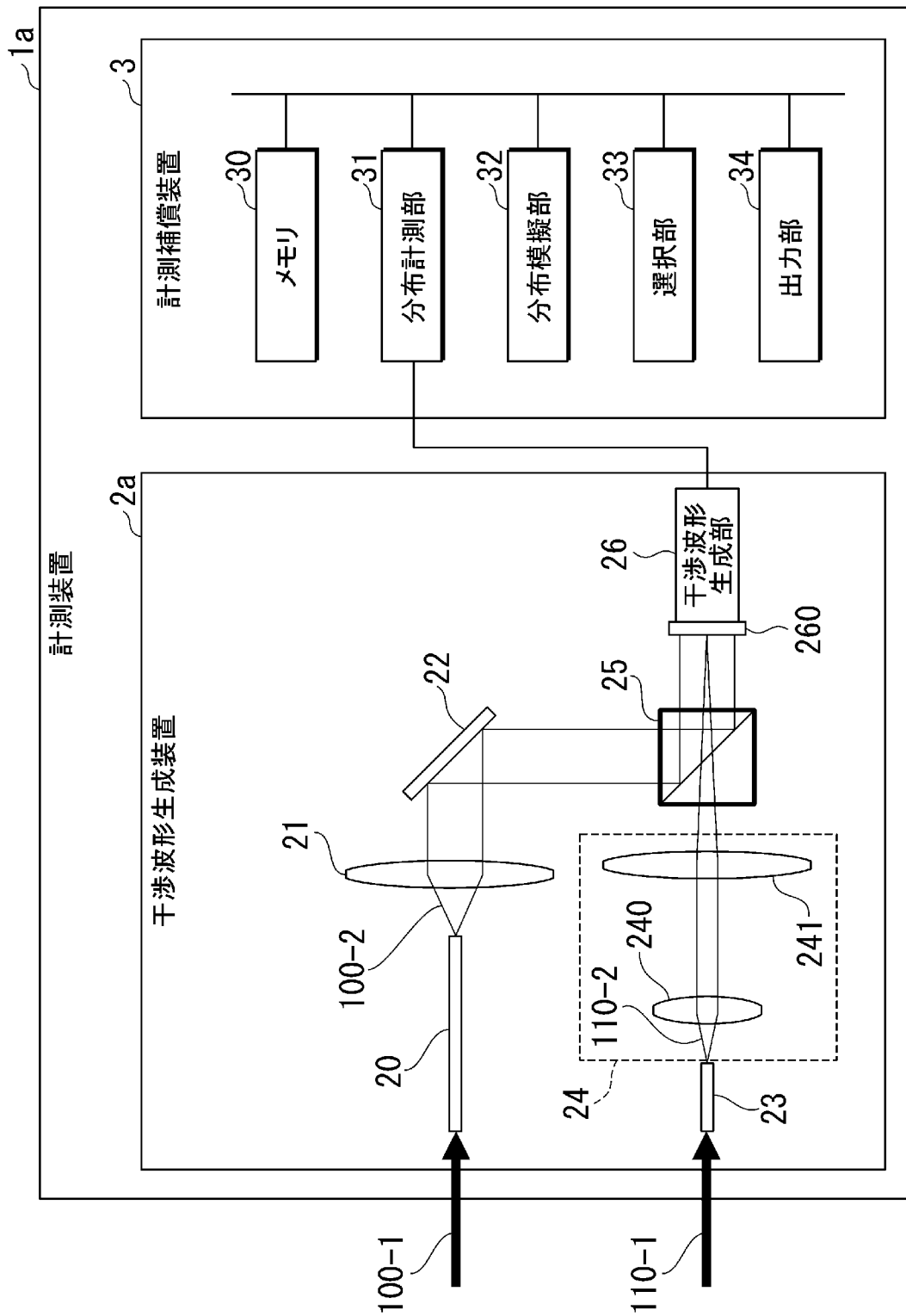
前記干渉波形信号に基づいて、前記撮像面における前記第1光の強
度及び位相の第1光電場分布を計測するステップと、

光導波路の端面から伝搬した前記第1光の伝搬方向に対して逆の方
向について、前記撮像面からの距離が異なる複数の平面における前記
第1光の強度及び位相の第2光電場分布を、計測された前記第1光電
場分布に基づいて模擬するステップと、

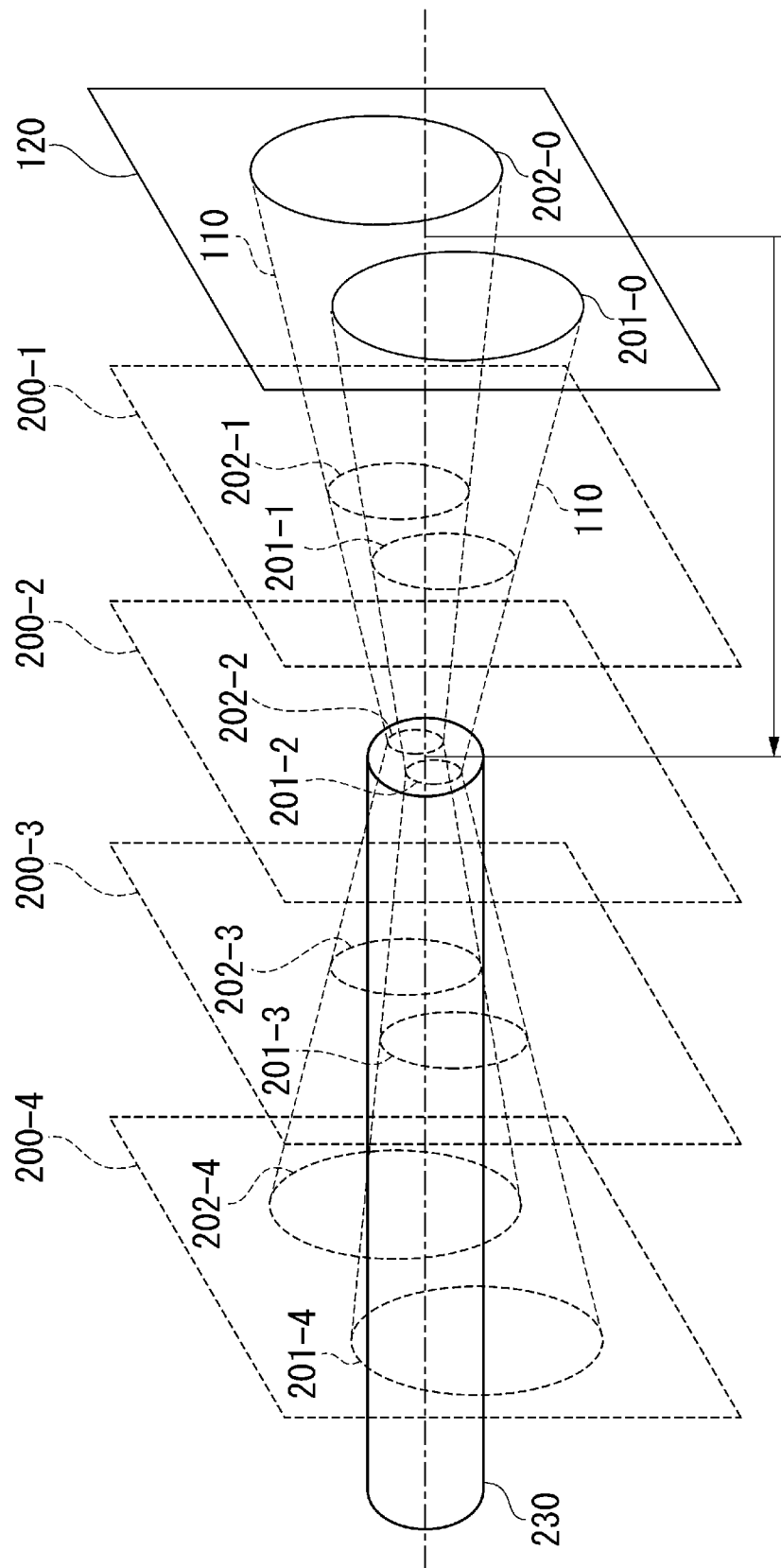
模擬された前記第2光電場分布の領域の面積が最小となる平面を、
前記複数の平面のうちから選択するステップと、

選択された前記平面における模擬された前記第2光電場分布の情報を、
所定の装置に出力するステップと
を含む計測方法。

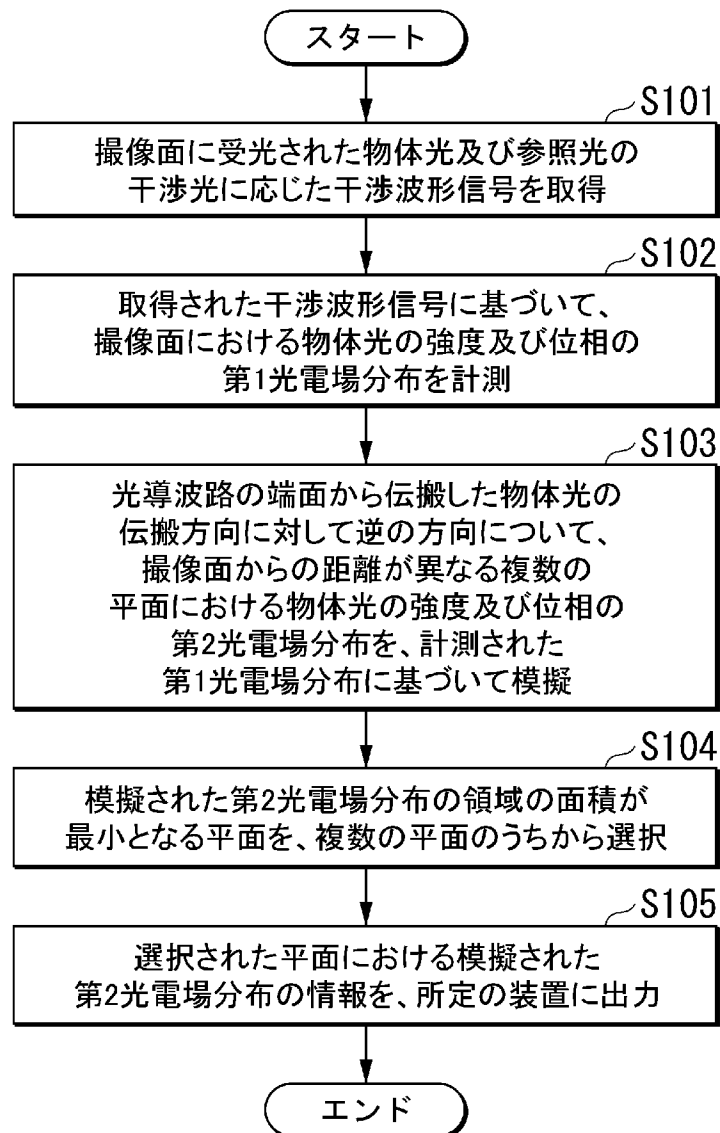
[図1]



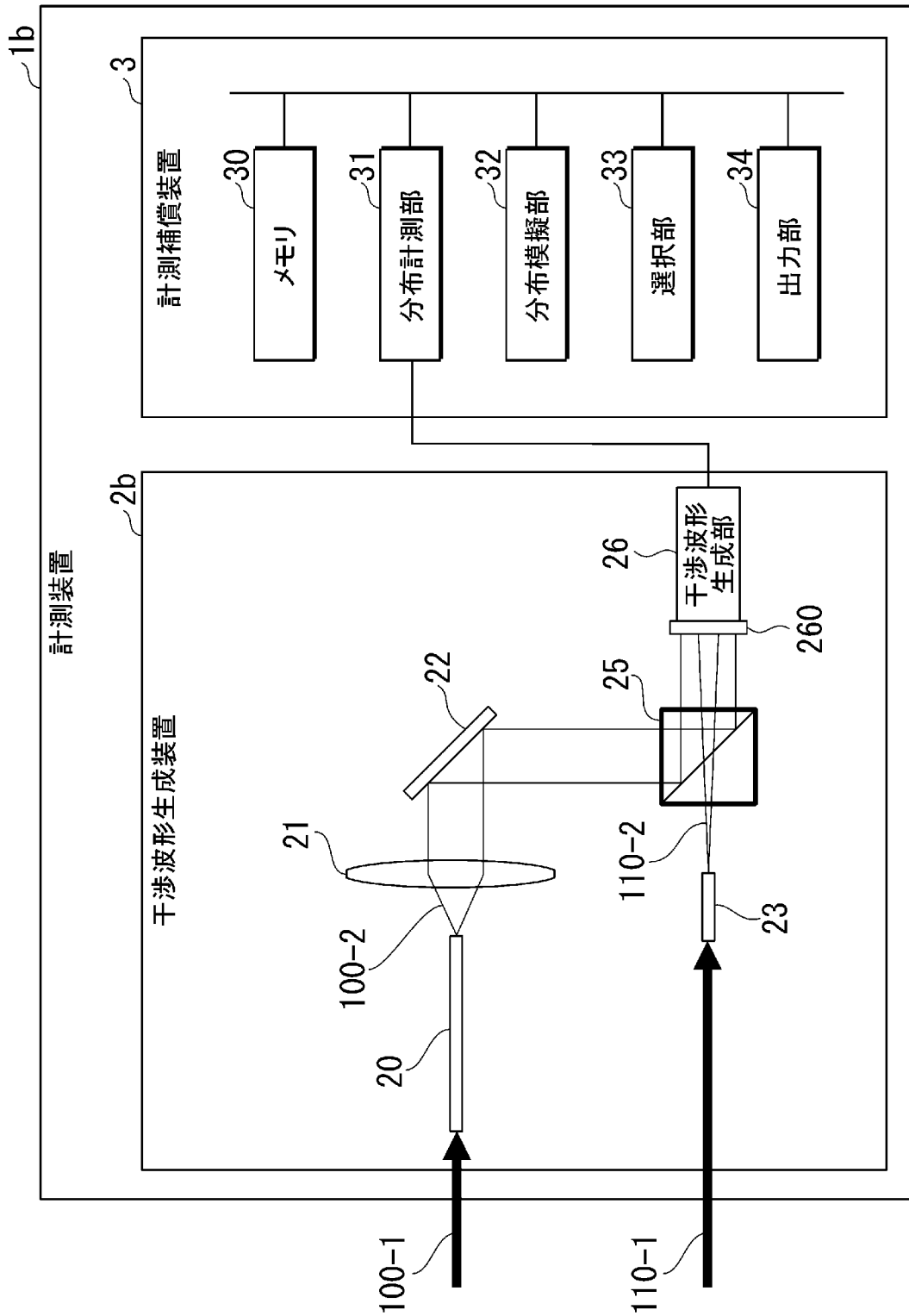
[図2]



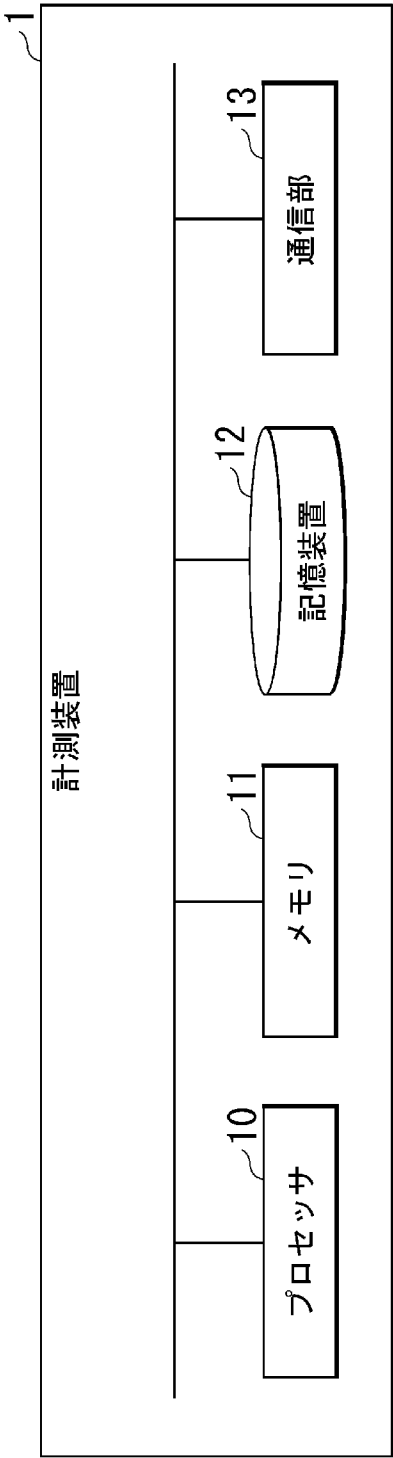
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/019661

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01M 11/02**(2006.01)i

FI: G01M11/02 P

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01M11/00-G01M11/02; G02B6/00-G02B6/43; H04B10/00-H04B10/90; G01B9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WAKAYAMA, Y. et al. DMD Measurement of 114-SDM Transmission Fibre Using Low-Coherence Interferometry with Digital Holographic Processing. 2015 European Conference on Optical Communications(ECOC). 03 December 2015, ECOC 2015 - ID:0789, pp. 1-3, DOI: 10.1109/ECOC.2015.7341712 pp. 1-3, fig. 1, 2, 5	1-6
Y	MATSUSHIMA, K. et al. Band-Limited Angular Spectrum Method for Numerical Simulation of Free-Space Propagation in Far and Near Fields. OPTICS EXPRESS. 15 October 2009, vol. 17, no. 22, pp. 19662-19673 abstract, sections 1, 4, 5, fig. 3, 4	1-6
Y	JP 2016-099290 A (KDDI CORP) 30 May 2016 (2016-05-30) paragraphs [0007], [0011], fig. 1	4
A	JP 2002-365469 A (FUJIKURA LTD) 18 December 2002 (2002-12-18) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2018-63149 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 19 April 2018 (2018-04-19) entire text, all drawings	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 July 2022

Date of mailing of the international search report

19 July 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/019661

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5200795 A (KIM, B Y) 06 April 1993 (1993-04-06) entire text, all drawings	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/019661

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2016-099290	A	30 May 2016	(Family: none)	
JP	2002-365469	A	18 December 2002	US 2002/0181885 A1 entire text, all drawings	
				GB 2374681 A	
				CN 1381743 A	
JP	2018-63149	A	19 April 2018	US 2018/0100782 A1 entire text, all drawings	
US	5200795	A	06 April 1993	GB 2236030 A entire text, all drawings	
				FR 2651316 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01M 11/02(2006.01)i FI: G01M11/02 P														
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）） G01M11/00-G01M11/02; G02B6/00-G02B6/43; H04B10/00-H04B10/90; G01B9/00 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table> 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 (JDreamII)			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2022年													
日本国実用新案登録公報	1996-2022年													
日本国登録実用新案公報	1994-2022年													
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	WAKAYAMA Y, et al., DMD Measurement of 114-SDM Transmission Fibre Using Low- Coherence Interferometry with Digital Holographic Processing, 2015 European Conference on Optical Communications(ECOC), 2015.12.03, ECOC 2015 - ID:0789, pp.1-3, DOI: 10.1109/ECOC.2015.7341712 第1頁-第3頁、Fig.1、Fig.2、Fig.5	1-6												
Y	MATSUSHIMA K, et al., Band-Limited Angular Spectrum Method for Numerical Simulation of Free-Space Propagation in Far and Near Fields, OPTICS EXPRESS, 2009.10.15, Vol. 17, No. 22, pp.19662-19673 要旨、第1節、第4節、第5節、Fig.3、Fig.4	1-6												
Y	JP 2016-099290 A (KDDI株式会社) 30.05.2016 (2016-05-30) [0007]、[0011]、図1	4												
A	JP 2002-365469 A (株式会社フジクラ) 18.12.2002 (2002-12-18) 全文、全図	1-6												
A	JP 2018-63149 A (住友電気工業株式会社) 19.04.2018 (2018-04-19) 全文、全図	1-6												
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"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	"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	"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	"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）	"&" 同一パテントファミリー文献	"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"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													
"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	"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													
"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）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 04.07.2022	国際調査報告の発送日 19.07.2022													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 横尾 雅一 2W 3716 電話番号 03-3581-1101 内線 3258													

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 5200795 A (KIM, B Y) 06.04.1993 (1993 - 04 - 06) 全文、全図	1-6

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/019661

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2016-099290	A	30.05.2016	(ファミリーなし)	
JP	2002-365469	A	18.12.2002	US 2002/0181885	A1
				全文、全図	
				GB 2374681	A
				CN 1381743	A
JP	2018-63149	A	19.04.2018	US 2018/0100782	A1
				全文、全図	
US	5200795	A	06.04.1993	GB 2236030	A
				全文、全図	
				FR 2651316	A1