

(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
2016 年 8 月 4 日(04.08.2016)



(10) 国際公開番号

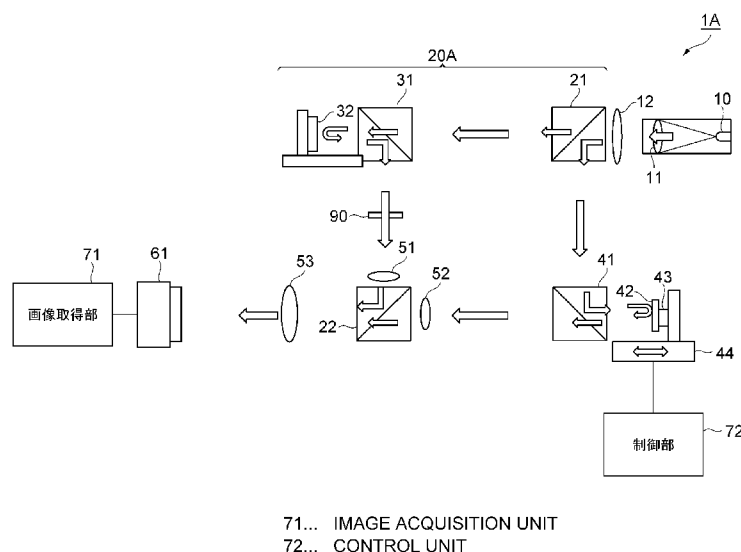
WO 2016/121248 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 9/02 (2006.01) G02B 21/00 (2006.01)
G01N 21/45 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/084917
- (22) 国際出願日: 2015 年 12 月 14 日(14.12.2015)
- (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 2015-016266 2015 年 1 月 30 日(30.01.2015) 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 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 山内 豊彦(YAMAUCHI Toyohiko); 〒4358558 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 Shizuoka (JP).
山田 秀直(YAMADA Hidenao); 〒4358558 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 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, JP, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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).

(54) Title: INTERFERENCE OBSERVATION DEVICE

(54) 発明の名称: 干渉観察装置

[図1]



(57) Abstract: An interference observation device 1A is provided with a light source 10, a branching beam splitter 21, a combining beam splitter 22, a beam splitter 31, a mirror 32, a beam splitter 41, a mirror 42, a piezo element 43, a stage 44, an imaging unit 61, an image acquisition unit 71, and a control unit 72. An interference optical system 20A that leads from the branching beam splitter 21 to the combining beam splitter 22 constitutes a Mach-Zehnder interferometer. The mirror 42 is freely movable in a direction that is perpendicular to the reflective surface of said mirror 42. The sum of the number of times that each of first branching light and second branching light are reflected in the interference optical system 20A is an even number.

(57) 要約: 干渉観察装置 1A は、光源 10、分岐用ビームスプリッタ 21、合波用ビームスプリッタ 22、ビームスプリッタ 31、ミラー 32、ビームスプリッタ 41、ミラー 42、 piezo 素子 43、ステージ 44、撮像部 61、画像取得部 71 および制御部 72 を備える。分岐用

ビームスプリッタ 21 から合波用ビームスプリッタ 22 に到る迄の干渉光学系 20A は、マッハツェンダ干渉計を構成している。ミラー 42 の反射面に垂直な方向にミラー 42 が移動自在である。干渉光学系 20A における第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの反射の回数の和は偶数である。

WO 2016/121248 A1



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： 干渉観察装置

技術分野

[0001] 本発明は、干渉観察装置に関するものである。

背景技術

[0002] 観察対象物の干渉画像を取得する干渉観察装置は、マイケルソン (Michelson) 干渉計またはマッハツェンダ (Mach-Zehnder) 干渉計の光学系を用いて、観察対象物で反射または透過した光と参照光とを干渉させることで、観察対象物の干渉画像を取得することができる。非特許文献1に記載された干渉観察装置は、マッハツェンダ干渉計の光学系を用いるものであって、光源から出力された光を分岐して第1分岐光および第2分岐光とし、第1分岐光を観察対象物で透過させ、第1分岐光と第2分岐光とを合波して、その合波により生じる干渉光の画像を取得する。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1: Pinhas Girshovitz, et al, "Generalized cell morphological parameters based on interferometric phase microscopy and their application to cell life cycle characterization," BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS, Vol.3, No.8, pp.1757-1773 (2012).

非特許文献2: A. A. Freschi, et al, "Adjustable phase control in stabilized interferometry," OPTICS LETTERS, Vol.20, No.6, pp.635-637 (1995).

非特許文献3: Toyohiko Yamauchi, et al, "Low-coherent quantitative phase microscope for nanometer-scale measurement of living cells morphology," OPTICS EXPRESS, Vol.16, No.16, pp.12227-12238 (2008).

非特許文献4: Hidenao Iwai, et al, "Quantitative phase imaging using a actively stabilized phase-shifting low-coherence interferometry," OPTI

CS LETTERS, Vol.29, No.20, pp.3299-2401 (2004).

非特許文献5: Ichirou Yamaguchi, et al, "Active phase-shifting interferometers for shape and deformation measurements," Opt. Eng., Vol.35, No.10, pp.2930-2937 (1996).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 非特許文献1に記載された干渉観察装置は、第1分岐光または第2分岐光を本来の光路から側方へ一旦出して、各々の反射面が互いに直交する2個のミラーで順に反射させた後に元の光路に戻す構成を有する。そして、この干渉観察装置は、2個のミラーを移動させることで、第1分岐光と第2分岐光との間の光路長差を変化させることができる。このような構成を有する干渉観察装置は、光学系の開口を大きくして空間分解能が高い画像を取得しようとする、大型とならざるを得ない。

[0005] 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、マッハツェンダ干渉計の光学系を用いて光路長差を調整する機能を有し空間分解能が高い画像の取得が可能で小型化が容易な干渉観察装置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] 本発明の一実施形態による干渉観察装置は、(1) インコヒーレントな光を出力する光源と、(2) 光源から出力された光を分岐して第1分岐光および第2分岐光を出力する分岐用ビームスプリッタと、第1分岐光と第2分岐光とを合波して合波光を出力する合波用ビームスプリッタとを含み、マッハツェンダ干渉計を構成する干渉光学系と、を備える。この干渉観察装置において、干渉光学系は、第2分岐光の光路上に第2ビームスプリッタおよび第2ミラーを含み、分岐用ビームスプリッタから第2ビームスプリッタに到達した第2分岐光を第2ビームスプリッタで透過または反射させた後に第2ミラーにより反射させ、第2ミラーにより反射されて第2ビームスプリッタに到達した第2分岐光を第2ビームスプリッタで反射または透過させて、分岐用ビ

ームスプリッタから第2ビームスプリッタへの第2分岐光の入力方向と異なる方向へ第2ビームスプリッタから第2分岐光を出力する。第2ミラーの反射面に垂直な方向に第2ミラーが移動自在である。また、干渉光学系は、第1分岐光の光路上に第1分岐光および第2分岐光それぞれの反射の回数の和が偶数となる光学素子を含む。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、マッハツェンダ干渉計の光学系を用いて光路長差を調整することができ、空間分解能が高い画像の取得が可能で、装置の小型化が容易である。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]図1は、第1実施形態の干渉観察装置1Aの構成を示す図である。

[図2]図2は、本実施形態における光路長調整機構と比較例の光路長調整機構とを対比して説明する図である。

[図3]図3は、第2実施形態の干渉観察装置1Bの構成を示す図である。

[図4]図4は、第3実施形態の干渉観察装置1Cの構成を示す図である。

[図5]図5は、第4実施形態の干渉観察装置1Dの構成を示す図である。

[図6]図6は、第5実施形態の干渉観察装置1Eの構成を示す図である。

[図7]図7は、干渉画像を示す図である。

[図8]図8は、干渉画像を示す図である。

[図9]図9は、位相画像を示す図である。

[図10]図10は、第1実施形態の変形例の干渉観察装置1Aaの構成を示す図である。

[図11]図11は、第1実施形態の変形例の干渉観察装置1Abの構成を示す図である。

[図12]図12は、第1実施形態の変形例の干渉観察装置1Acの構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 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。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。

[0010] (第1実施形態)

図1は、第1実施形態の干渉観察装置1Aの構成を示す図である。干渉観察装置1Aは、光源10、レンズ11、レンズ12、分岐用ビームスプリッタ21、合波用ビームスプリッタ22、ビームスプリッタ31、ミラー32、ビームスプリッタ41、ミラー42、ピエゾ素子43、ステージ44、レンズ51、レンズ52、チューブレンズ53、撮像部(受光部)61、画像取得部71および制御部72を備える。分岐用ビームスプリッタ21から合波用ビームスプリッタ22に到る迄の干渉光学系20Aは、マッハツェンダ干渉計を構成している。

[0011] この干渉観察装置1Aは、観察対象物90の透過光に基づいて干渉画像を取得する。観察対象物90は、特定の細胞や生体サンプルに限定されるものではない。例えば、観察対象物として、培養細胞、不死化細胞、初代培養細胞、がん細胞、脂肪細胞、肝臓細胞、心筋細胞、神経細胞、グリア細胞、体性幹細胞、胚性幹細胞、多能性幹細胞、iPS細胞、およびこれらの細胞のうち少なくとも1つの細胞をもとに作られた細胞塊(スフェロイド)などが挙げられる。また、観察対象物として、生体に限らず、透過型の構成で計測可能な工業サンプル、たとえばガラス内部、半導体素子の内部、樹脂素材、液晶、高分子化合物、光学素子なども挙げられる。

[0012] 光源10は、インコヒーレントな光を出力する。光源10は、例えばハロゲンランプなどのランプ系光源、LED(Light emitting diode)光源、SLD(Super luminescent diode)光源、ASE(Amplified spontaneous emission)光源等である。レンズ11、12は、光源10から出力された光を観察対象物90に集光する。

[0013] 分岐用ビームスプリッタ21は、光源10と光学的に結合され、光源10

から出力されてレンズ 1 1, 1 2 を経た光を入力し、その光を 2 分岐して第 1 分岐光および第 2 分岐光とする。分岐用ビームスプリッタ 2 1 は例えばハーフミラーであってもよい。分岐用ビームスプリッタ 2 1 は、第 1 分岐光を測定側光学系のビームスプリッタ 3 1 へ出力し、第 2 分岐光を参照側光学系のビームスプリッタ 4 1 へ出力する。

[0014] 測定側光学系には、ビームスプリッタ 3 1 およびミラー 3 2 が設けられている。ビームスプリッタ 3 1 は、分岐用ビームスプリッタ 2 1 から出力された第 1 分岐光を入力してミラー 3 2 へ反射させ、また、ミラー 3 2 で反射された第 1 分岐光を入力して合波用ビームスプリッタ 2 2 へ透過させる。ビームスプリッタ 3 1 は例えばハーフミラーであってもよい。

[0015] 参照側光学系には、ビームスプリッタ 4 1、ミラー 4 2、ピエゾ素子 4 3 およびステージ 4 4 が設けられている。ビームスプリッタ 4 1 は、分岐用ビームスプリッタ 2 1 から出力された第 2 分岐光を入力してミラー 4 2 へ反射させ、また、ミラー 4 2 で反射された第 2 分岐光を入力して合波用ビームスプリッタ 2 2 へ透過させる。ビームスプリッタ 4 1 は例えばハーフミラーであってもよい。

[0016] ピエゾ素子 4 3 は、ミラー 4 2 の反射面に垂直な方向に該ミラー 4 2 を移動させることができる。ステージ 4 4 は、ミラー 4 2 の反射面に垂直な方向に該ミラー 4 2 およびピエゾ素子 4 3 を移動させることができる。ピエゾ素子 4 3 およびステージ 4 4 は、参照側光学系の光路長を調整することができる、第 1 分岐光と第 2 分岐光との光路長差を調整することができる。ステージ 4 4 は光路長差を粗調整することができ、ピエゾ素子 4 3 は光路長差を微調整することができる。

[0017] 合波用ビームスプリッタ 2 2 は、ビームスプリッタ 3 1 から出力され観察対象物 9 0 およびレンズ 5 1 を経た第 1 分岐光を入力するとともに、ビームスプリッタ 4 1 から出力されレンズ 5 2 を経た第 2 分岐光を入力して、これら第 1 分岐光と第 2 分岐光とを合波して合波光を出力する。合波用ビームスプリッタ 2 2 は例えばハーフミラーであってもよい。

[0018] チューブレンズ53は、合波用ビームスプリッタ22から出力された合波光を撮像部61へ導き、その合波光を撮像部61の撮像面上に結像させる。撮像部61は、その合波光を受光して検出信号を出力するものであり、特に撮像面上の合波光の強度分布を表す検出信号を出力する。撮像部61は、例えばCCDエリアイメージセンサやCMOSエリアイメージセンサなどのイメージセンサである。

[0019] 画像取得部71は、撮像部61から出力された検出信号を入力し、その検出信号に基づいて観察対象物90の干渉画像を取得する。画像取得部71は、FPGA (field-programmable gate array) やGPU (Graphics Processing Unit) などの画像処理プロセッサを含んで構成され、或いは、パーソナルコンピュータやタブレット端末などのコンピュータであってもよい。また、画像取得部71は、干渉画像等を表示する表示部を備えていてもよい。

[0020] 制御部（コントローラ）72は、piezo素子43およびステージ44の双方または何れか一方を駆動することでミラー42を移動させて、参照側光学系の光路長を調整する。これにより、制御部72は、合波用ビームスプリッタ22による合波の際の第1分岐光と第2分岐光との間の位相差を調整することができる。

[0021] なお、画像取得部71および制御部72は、プロセッサ及びメモリ等を含むコンピュータである。また、画像取得部71および制御部72は、個別のコンピュータであってもよいし、1つのコンピュータであってもよい。コンピュータは、例えば、パーソナルコンピュータやタブレット端末などのスマートデバイスであってもよい。また、画像取得部71または制御部72は、利用者からの入力を受け付ける入力部（キーボード、マウス、タブレット端末等）や、干渉強度等を表示する表示部（ディスプレイ、タブレット端末、スピーカー、バイブレータ）を備えていてもよい。なお、表示部がディスプレイやタブレット端末などのように、画面表示できる装置であれば、干渉強度と合わせて干渉画像などを表示してもよい。

[0022] 干渉観察装置1Aを用いて以下のようにして観察対象物90の干渉画像を

取得することができる。光源 10 から出力されたインコヒーレントな光は、レンズ 11, 12 を経て、分岐用ビームスプリッタ 21 により 2 分岐されて第 1 分岐光および第 2 分岐光とされる。分岐用ビームスプリッタ 21 から出力された第 1 分岐光は、ビームスプリッタ 31 を透過して、ミラー 32 で反射される。ミラー 32 で反射された第 1 分岐光は、ビームスプリッタ 31 で反射されて、観察対象物 90 に集光され、観察対象物 90 を透過する。観察対象物 90 を透過した第 1 分岐光は、レンズ 51 を経て合波用ビームスプリッタ 22 に入力される。この第 1 分岐光は、観察対象物 90 における透過の際に光学的な遅れを有する。分岐用ビームスプリッタ 21 から出力された第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 で反射されて、ミラー 42 で反射される。ミラー 42 で反射された第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 を透過して、レンズ 52 を経て合波用ビームスプリッタ 22 に入力される。

[0023] レンズ 51 から合波用ビームスプリッタ 22 に入力された第 1 分岐光、および、レンズ 52 から合波用ビームスプリッタ 22 に入力された第 2 分岐光は、合波用ビームスプリッタ 22 により合波される。その合波光は、チューブレンズ 53 を経て、撮像部 61 により受光される。画像取得部 71 により、合波光を受光した撮像部 61 から出力される検出信号に基づいて、干渉画像が取得される。また、制御部 72 により駆動されたピエゾ素子 43 またはステージ 44 によりミラー 42 の位置が制御されることにより、第 1 分岐光と第 2 分岐光との間の光路長差が調整され、合波用ビームスプリッタ 22 による合波の際の第 1 分岐光と第 2 分岐光との間の位相差が調整される。

[0024] 特に、本実施形態では、干渉光学系 20A の第 1 分岐光の光路上にビームスプリッタ 31 およびミラー 32 が設けられている。分岐用ビームスプリッタ 21 からビームスプリッタ 31 に到達した第 1 分岐光は、ビームスプリッタ 31 を透過した後にミラー 32 により反射される。ミラー 32 により反射された第 1 分岐光は、ビームスプリッタ 31 で反射され、分岐用ビームスプリッタ 21 からビームスプリッタ 31 への第 1 分岐光の入力方向と異なる方向へビームスプリッタ 31 から出力される。

- [0025] また、干渉光学系 20A の第 2 分岐光の光路上にビームスプリッタ 41 およびミラー 42 が設けられている。分岐用ビームスプリッタ 21 からビームスプリッタ 41 に到達した第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 で反射された後にミラー 42 により反射される。ミラー 42 により反射された第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 を透過し、分岐用ビームスプリッタ 21 からビームスプリッタ 41 への第 2 分岐光の入力方向と異なる方向へビームスプリッタ 41 から出力される。
- [0026] 制御部 72 により駆動された piezo 素子 43 およびステージ 44 の双方または何れか一方により、ミラー 42 は反射面に垂直な方向に移動する。このミラー 42 の移動により、第 1 分岐光と第 2 分岐光との間の光路長差が調整される。
- [0027] なお、ミラー 32 の反射面に垂直な方向に該ミラー 32 を移動させることができる piezo 素子が設けられてもよい。また、ミラー 32 の反射面に垂直な方向に該ミラー 32 および piezo 素子を移動させることができるステージが設けられてもよい。
- [0028] 干渉光学系 20A において、第 1 分岐光は、ビームスプリッタ 31 およびミラー 32 それぞれにより反射されて、2 回の像反転を受ける。また、第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 およびミラー 42 それぞれにより反射されて、同様に 2 回の像反転を受ける。その結果、合波用ビームスプリッタ 22 による合波の際の第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの像の方向は互いに一致する。ビームスプリッタ 31 およびミラー 32 またはビームスプリッタ 41 およびミラー 42 は、第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの反射の回数の和を偶数とする光学素子である。
- [0029] 一般に、第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの反射による像反転の回数の和が偶数であれば、合波用ビームスプリッタ 22 による合波の際の第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの像の方向は互いに一致する。合波用ビームスプリッタ 22 による合波の際の第 1 分岐光および第 2 分岐光それぞれの像の方向が互いに一致していれば、第 1 分岐光と第 2 分岐光とは撮像部 61 の

撮像面の広い範囲において効率よく干渉することができる。

[0030] 光源 10 として時間的にインコヒーレントな光源を用いた場合、合波用ビームスプリッタ 22 により第 1 分岐光と第 2 分岐光とが合波されてなる合波光の干渉縞が撮像部 61 の撮像面において観察されるためには、干渉光学系 20A における第 1 分岐光と第 2 分岐光との間の光路長差が光のコヒーレンス長以下であることが必要である。第 1 分岐光は、レンズ 51 の前焦点面付近に配置された観察対象物 90 を透過するので、その透過により光学的な遅れを伴う。観察対象物 90 は例えば培養液中の細胞である。培養液は、観察対象物である細胞によって成分が異なり、成分が異なる故に屈折率も異なる。また、サンプルチャンバの厚みも製造誤差等の影響により一定とは限らない。一方、第 2 分岐光は、ミラー 42 の位置に応じて光路長が調整され得る。本実施形態では、観察対象物毎に制御部 72 によりミラー 42 の位置を適切に調整することで、第 1 分岐光と第 2 分岐光との間の光路長差を光のコヒーレンス長以下とすることができ、観察対象物の干渉画像を取得することができる。

[0031] また、本実施形態では、光源 10 として空間的にインコヒーレントな拡散光を出力する光源（ハロゲンランプや LED 等）を用いることができる。すなわち、干渉観察装置 1A では、光源 10 からレンズ 51, 52 に到る迄の全ての光学素子は、光源 10 出力時のビーム径と比べて十分に大きな開口（例えば 10 mm 以上）を有することができるから、空間的にインコヒーレントな光を用いたインコヒーレント照明（つまり、高 NA の照明）が可能である。光源 10 と分岐用ビームスプリッタ 21 との間に設けられた 2 つのレンズ 11, 12 により、レンズ 51, 52 の前焦点面付近に光源 10 の出力光を集光させることができ、それにより光源 10 の出力光を高効率に利用することができ、かつ、高 NA の照明を実現することができる。

[0032] 図 2 は、本実施形態における光路長調整機構と比較例の光路長調整機構とを対比して説明する図である。図 2（b）に示される比較例の光路長調整機構では、光はミラー 141～145 により順次に反射され、ステージ 146

によりミラー 142, 143 の位置が調整されることで光路長が調整される。この比較例の光路長調整機構では、大きな開口を実現しようとする場合、多くの光学素子が必要であり、大きなサイズの光学系が必要である。それ故、比較例の光路長調整機構では、分岐用ビームスプリッタから合波用ビームスプリッタに到るまでの光路長が長くなるので、照明系の NA を高くすることができないという問題や、振動などの外乱に対して光学系が脆弱になるという問題が発生する。

[0033] これに対して、図 2 (a) に示される本実施形態における光路長調整機構では、必要な光学素子の個数が少なく、光学系のサイズを小さくすることができる。それ故、本実施形態における光路長調整機構では、分岐用ビームスプリッタから合波用ビームスプリッタに到るまでの光路長を短くすることができるので、照明系の NA を高くすることができ、振動などの外乱に対する光学系の脆弱性の問題を抑制することができる。

[0034] 第 1 実施形態の変形として、図 10 ~ 図 12 に示される干渉観察装置 1Aa, 1Ab, 1Ac の構成を考えることができる。

[0035] 干渉観察装置 1B の構成においては、サンプル 90 を別のサンプルに変更した際に、サンプルの厚み又は屈折率が変化して、ステージ 44 を長い距離にわたって移動させる必要が生じ得る。たとえば厚さ $170\text{ }\mu\text{m}$ のカバーガラスをサンプルとした場合、ガラスの屈折率を 1.5 として計算すると、サンプルが無い場合と比べて、サンプルがある場合に生じる光路長の増分は $85\text{ }\mu\text{m}$ ($= 170 \times (1.5 - 1)$) である。一方、底面厚さ 1 mm のプラスチックディッシュ上に深さ 3 mm の水が満たされているようなサンプルの場合、プラスチックの屈折率を 1.7 とし、水の屈折率を 1.33 とすると、サンプルが無い場合と比べて、サンプルがある場合に生じる光路長の増分は $1690\text{ }\mu\text{m}$ ($= 1000 \times (1.7 - 1) + 3000 \times (1.33 - 1)$) となる。したがって、前述のカバーガラスがサンプルであった状態から、前述のプラスチックディッシュ上に水が満たされている物体がサンプルである状態に変更した場合、 $1605\text{ }\mu\text{m}$ 分の光路長差が余分に生じることとなる。こ

の光路長差を補償し、サンプルの変更前と同じ次数で干渉度が極大となる光路長差を得るためには、ステージ44を光路長が長くなる方向に $802.5\mu\text{m}$ 動かさなくてはならない。このような1mm近いステージの移動は、例えば手動ステージを利用した場合には操作性の低下を招き、あるいは自動ステージを利用する場合は重量の大きなステッピングモータステージを必須とてしまう。

[0036] そこで、ステージ44の移動量を小さくするための手法として、第1実施形態の変形例として、図10に示される干渉観察装置1Aaの構成を考えることができる。図10は、第1実施形態の変形例の干渉観察装置1Aaの構成を示す図である。この干渉観察装置1Aaは、干渉観察装置1Aの構成に加えて、参照側光学系上に光路長・分散補償板91を備える。

[0037] 光路長・分散補償板91は、使用者が用いるサンプルのバリエーションに合わせて、用いるサンプルと概して同じ材質を用いて、ほぼ同じ光路長になるように作成されたものであり、光を透過する板である。たとえば、使用者が、厚さ $170\mu\text{m}$ のカバーガラス、厚さ1mmのスライドガラス、底面厚さ1mmのプラスチックディッシュ上に深さ3mmの水が満たされているような容器、の三種類の保持体の上に被検体が塗布あるいは培養されたサンプルを用いる場合、光路長がそれぞれの保持体と等しい光を透過する板として、光路長・分散補償板A（カバーガラス用）、光路長・分散補償板B（スライドガラス用）および光路長・分散補償板C（プラスチックディッシュ上に水が満たされた容器用）を予め用意することができる。

[0038] このような光路長・分散補償板A～Cを予め用意しておき、例えば厚さ $170\mu\text{m}$ のカバーガラスが保持体である場合は光路長・分散補償板Aを、厚さ1mmのスライドガラスが保持体である場合は光路長・分散補償板Bを、底面厚さ1mmのプラスチックディッシュ上に深さ3mmの水が満たされているような保持体の場合は光路長・分散補償板Cを、それぞれ参照光路内の任意の位置に挿入することで、サンプルを変更した後も変更前と同様に干渉度が極大となる光路長差を変更前と同じ次数で得ることができる。

[0039] ただし、ほぼ同質のサンプル、例えば市販の公称厚さ $170\ \mu\text{m}$ のカバーガラスを用いた場合でも、製造誤差や温度等の条件による材料の屈折率差により、光路長・分散補償板 91 の挿入だけで干渉度が極大となる光路長差を実現できるとは限らない。たとえば公称厚さ $170\ \mu\text{m}$ のカバーガラスには $\pm 10\ \mu\text{m}$ の製造誤差があり得る。また、プラスチックディッシュ上に水あるいは培養液を満たした保持体の場合、実際にはディッシュ底面上に細胞等の被測定物体を培養した状態で観察することになるため、細胞の厚みや培養液の組成によって光路長の値は変化する。そのため、光路長・分散補償板 91 を用いた場合でも、ステージ 44 あるいはそれに類する機械的な光路長差調整機構が不要となるわけではない。

[0040] 光路長・分散補償板 91 を用い、ステージ 44 として手動のステージを用いた場合、好適には差動マイクロメーターを用いたステージを用いることができる。差動マイクロメーターとは、粗動（長距離を移動できるが分解能が低い）と微動（短距離しか移動できないが分解能が高い）の 2 つの調整機構が一体となったマイクロメーターである。工場出荷時には、サンプルなしの状態にて粗動ステージにより光路長差をおおよそゼロとし、粗動ステージを固定する。使用者が観察する際には、被観察サンプルの光路長に対応する光路長・分散補償板 91 を挿入することで、光路長差をおおよそゼロとした後、微動ステージのみを用いて光路長差を厳密にゼロとすることで、インコヒーレント光の干渉を得ることができる。本実施形態においては、使用者は微動ステージのみを操作すればよいので、粗動ステージを用いた場合と比べて調整範囲が狭く、光路長差ゼロ地点を見落とすおそれが少ない。

[0041] 光路長・分散補償板 91 を用い、ステージ 44 として自動のステージを用いた場合、好適にはピエゾ素子を用いたステージを用いることができる。ピエゾ素子は、長いものでは $100\ \mu\text{m}$ 程度の伸長距離を持つ。工場出荷時には、サンプルなしの状態にて光路長差がおおよそゼロとなるよう設計し製造する。使用者が観察する際には、被観察サンプルの光路長に対応する光路長・分散補償板 91 を挿入して光路長差をおおよそゼロとした後、ピエ

ゾ素子を用いたステージ４４を用いて光路長差を厳密にゼロとすることで、インコヒーレント光の干渉を得ることができる。また、本実施形態の場合は、 piezo素子４３を不要とし、 piezo素子を用いたステージ４４のみによって本発明の機能を実現することも可能である。

[0042] なお、本実施例の説明において、光路長差補正用の板のことを「光路長・分散補償板」と呼称しているのは、本光学板を挿入することにより、光路長のみならず種々のサンプルにおいて生じる分散の影響も補償できるからである。二光束干渉計においては、物体光路と参照光路の光路長だけでなく、分散（＝光路長の波長依存性）も等しくすることで、干渉縞の鮮明度（visibility）を最も高くすることができる。サンプルの種類にあわせて光路長・分散補償板９１を用いることの副次的な効果として、干渉縞の鮮明度（visibility）が高い状態でイメージングが行えるということが挙げられる。

[0043] なお、光路長・分散補償板９１は参照光路内の任意の位置に挿入することによってその効果を発揮しえるが、好ましくは参照側レンズ５２の光源側焦点付近に挿入することで、参照光と物体光の間の波面収差を低減することができる。また、更に好ましくは、光路長・分散補償板９１の挿入位置は、参照側光学系のレンズ５２の光源側焦点付近でありながらも、厳密な焦点位置よりも数mm（レンズ５２の焦点深度の数倍程度）、光源側もしくは撮像部側にずらして挿入することで、光路長・分散補償板９１の表面のゴミなどが撮像部６１の撮像面に映りこむことを避けることができる。また、光路長・分散補償板９１を光路長調整用の折り返し部分（ビームスプリッタ４１とミラー４２との間）に挿入する場合は、参照光が光路長・分散補償板９１を二回透過するので、被観察サンプルの光学的厚さの半分の光学的厚さとなるよう製造した光路長・分散補償板９１を用いるのが望ましい。

[0044] 光路長・分散補償板９１を用いる構成は、第１実施形態の変形としてのみならず、後述する第２～第５の実施形態の変形としても実施し得る。

[0045] また、第１実施形態の変形として、図１１に示される干渉観察装置１Ａｂの構成のように、被測定サンプルの波長分散をイメージングする構成を考え

ることができる。本実施形態においては、光源としてインコヒーレントな波長可変光源 10b、たとえば浜松ホトニクス社製の型番 L12194 の光源装置を用いる。本実施形態においては、測定に使用する全帯域を概して含む広帯域な白色光を用いて、最初に光路長差がゼロとなるようにステージ 44 を調整し、その後に光源を波長可変光源 10b に変えてイメージングを行う。測定においては、光源 10b の波長を複数回変化させて、被測定サンプルの位相画像（＝光学的厚さ分布）を得る。このような計測を行うことで、被測定サンプルの波長分散を得ることができる。

[0046] 波長分散のないサンプルの場合、サンプルの厚さを L とし、サンプルの比屈折率を Δn とすると、サンプルの光学的厚さ OT は、 $OT = L \times \Delta n$ であり、波長によらず一定である。サンプルにおいて観察された位相差を $\Delta \phi$ とすると、光学的厚さ OT は、 $OT = \lambda \times \Delta \phi / (2\pi)$ として容易に計算できる。一方、波長分散のあるサンプルでは、サンプルの比屈折率が波長の関数であるので、サンプルの光学的厚さ OT は、 $OT = L \times \Delta n(\lambda)$ となり、波長依存性を持つ。

[0047] 光源 10b の出力光の中心波長を $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_N$ と変化させて定量位相画像を取得することで、サンプルを透過した光の位相差画像 $\Delta \phi_1, \Delta \phi_2, \Delta \phi_3 \dots \Delta \phi_N$ を順次得ることができる。これらから、各波長における光学的厚さ $OT_1, OT_2 \dots OT_N$ についても、 $OT_n = \lambda_n \times \Delta \phi_n / (2\pi)$ として計算することができる。ここで、屈折率差の波長依存性として、 $\Delta n_{ratio}(\lambda_n) = OT_n / OT_1$ を導入すると、 $\Delta n_{ratio}(\lambda_n) = \Delta n(\lambda_n) / \Delta n(\lambda_1)$ であることから、この値はサンプルの厚さ L によらないサンプルの材質固有の値となることが分かる。

[0048] 種々の物質について屈折率の波長依存性が知られているので、上記手法によって求めた屈折率差の波長依存性をもとにして、被観察サンプルの材質を同定することができる。あるいは屈折率の波長依存性が未知であるような新規材質について、上記手法によって求めた屈折率差の波長依存性をもとにして、その材質の屈折率の波長依存性を求めることができる。

[0049] 更に、図12に示される干渉観察装置1Aの構成を考えてもよい。この干渉観察装置1Aの構成においては、光源に多波長光源を用いる代わりに、撮像部61cをカラータイプのものとし、光源には広帯域なインコヒーレント白色光源10cを用いる。広帯域なインコヒーレント白色光源10cとは、好適にはハロゲンランプや白色LEDである。カラータイプの撮像部61cとは、好適にはカラーフィルタを撮像面に貼り付けたカラーCCDカメラあるいはカラーCMOSカメラ、または、切り替え可能なカラーフィルタをCCDカメラ前面に用いたマルチスペクトラルカメラである。この構成においても、カメラの感度波長 λ_1 , λ_2 , $\lambda_3 \dots \lambda_N$ それぞれにおける定量位相画像を取得することで、前述の屈折率差の波長依存性を求めることができる。それにより、被観察サンプルの材質を同定することができ、あるいは屈折率の波長依存性が未知であるような新規材質についてその材質の屈折率の波長依存性を求めることができる。

[0050] 被測定サンプルの波長分散をイメージングする構成は、第1実施形態の変形としてのみならず、後述する第2～第5の実施形態の変形としても実施し得る。

[0051] (第2実施形態)

図3は、第2実施形態の干渉観察装置1Bの構成を示す図である。干渉観察装置1Bは、光源10、レンズ11、レンズ12、分岐用ビームスプリッタ21、合波用ビームスプリッタ22、ビームスプリッタ31、ミラー32、ビームスプリッタ41、ミラー42、ピエゾ素子43、ステージ44、ステージ45、レンズ51、レンズ52、チューブレンズ53、ミラー54、ビームスプリッタ55、撮像部（受光部）61、光検出器（受光部）62、画像取得部71および制御部72を備える。分岐用ビームスプリッタ21から合波用ビームスプリッタ22に到る迄の干渉光学系20Bは、マッハツェンダ干渉計を構成している。

[0052] 図1に示された第1実施形態の干渉観察装置1Aの構成と比較すると、図3に示される第2実施形態の干渉観察装置1Bは、ステージ45、ミラー5

4、ビームスプリッタ55および光検出器（受光部）62を更に備える点で相違する。

[0053] ステージ45は、ビームスプリッタ41と合波用ビームスプリッタ22との間の第2分岐光の光路上に設けられたレンズ52の光軸方向にレンズ52を移動させる。

[0054] チューブレンズ53は、合波用ビームスプリッタ22から出力されミラー54で反射された合波光を、ビームスプリッタ55を経て撮像部61の撮像面に結像させる。ビームスプリッタ55は、合波用ビームスプリッタ22から出力されチューブレンズ53を経て到達した光を分岐する分岐部であり、一方の分岐光（第1検出光）を撮像部61へ出力し、他方の分岐光（第2検出光）を光検出器62へ出力する。

[0055] 合波光を受光して検出信号を出力する受光部は、撮像部61および光検出器62を含む。撮像部61は、ビームスプリッタ55から到達した第1検出光を受光して当該受光信号（第1検出信号）を出力する。撮像部61は、例えば、CCDエリアイメージセンサやCMOSエリアイメージセンサなどのイメージセンサである。光検出器62は、ビームスプリッタ55から到達した第2検出光を受光して当該受光信号（第2検出信号）を出力する。光検出器62は、例えば、フォトダイオード、アバランシェフォトダイオード、光電子増倍管、ラインセンサ（リニアセンサ）、CCDエリアイメージセンサ、CMOSエリアイメージセンサなどである。画像取得部71は、撮像部61から出力された第1検出信号に基づいて干渉画像を取得する。制御部72は、光検出器62から出力された第2検出信号に基づいて制御を行う。

[0056] 干渉観察装置1Bを用いて以下のようにして観察対象物90の干渉画像を取得することができる。光源10から出力されたインコヒーレントな光は、レンズ11、12を経て、分岐用ビームスプリッタ21により2分岐されて第1分岐光および第2分岐光とされる。分岐用ビームスプリッタ21から出力された第1分岐光は、ビームスプリッタ31を透過して、ミラー32で反射される。ミラー32で反射された第1分岐光は、ビームスプリッタ31で

反射されて、観察対象物 90 に集光され、観察対象物 90 を透過する。観察対象物 90 を透過した第 1 分岐光は、レンズ 51 を経て合波用ビームスプリッタ 22 に入力される。この第 1 分岐光は、観察対象物 90 における透過の際に光学的な遅れを有する。分岐用ビームスプリッタ 21 から出力された第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 で反射されて、ミラー 42 で反射される。ミラー 42 で反射された第 2 分岐光は、ビームスプリッタ 41 を透過して、レンズ 52 を経て合波用ビームスプリッタ 22 に入力される。

[0057] レンズ 51 から合波用ビームスプリッタ 22 に入力された第 1 分岐光、および、レンズ 52 から合波用ビームスプリッタ 22 に入力された第 2 分岐光は、合波用ビームスプリッタ 22 により合波される。その合波光は、ミラー 54 およびチューブレンズ 53 を経て、ビームスプリッタ 55 により 2 分岐されて、撮像部 61 により受光されるとともに、光検出器 62 により受光される。画像取得部 71 により、合波光を受光した撮像部 61 から出力される第 1 検出信号に基づいて、干渉画像が取得される。また、制御部 72 により、合波光を受光した光検出器 62 から出力される第 2 検出信号に基づいて、光路長差調整機構（ピエゾ素子 43、ステージ 44）による光路長差調整動作が制御される。

[0058] 本実施形態では、光学系において外乱により生じる位相差のブレを検知し、制御部 72 によるミラー 42 の位置の制御により位相ロックおよび位相シフトを行って、観察対象物 90 の干渉画像や位相画像を取得する。なお、合波時の第 1 分岐光と第 2 分岐光との間の位相差を維持する技術を「位相ロック」といい、また、該フィードバック制御により位相ロックにより維持される該光路長差の値を変更する技術を「位相シフト」という。また、ここで言う外乱には、光学系の機械的振動によるものだけでなく、観察対象物 90 が液体中の細胞であった場合に液面と空気との境界が振動することによる光路長のブレも含まれる。制御部 72 による制御について以下に詳細に説明する。

[0059] 本実施形態では、光源 10 が出力するインコヒーレントな光を用いて干渉

画像を取得することから、光路長差を制御して位相ロックおよび位相シフトを行なうことが必要である。何故なら、インコヒーレント光すなわち白色光の場合、光路長差がコヒーレンス長 ΔL_c 以下である場合に干渉が得られるからである。インコヒーレント光の中心波長を λ_0 とし、インコヒーレント光のスペクトル幅を $\Delta\lambda$ とすると、コヒーレンス長 ΔL_c は下記（１）式で表される。ＬＥＤの場合、コヒーレンス長 ΔL_c は $10\mu\text{m}$ 程度である。ハロゲンランプの場合、コヒーレンス長 ΔL_c は $1\mu\text{m}$ 程度である。

[0060] [数1]

$$\Delta L_c = 2 \times 0.441 \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda} \quad \dots(1)$$

[0061] 位相ロックとしては、非特許文献２，３，４に記載された技術（以下「第１位相ロック技術」という。）を用いることができる。これらの非特許文献に記載された位相ロック技術は、光源１０の出力光の波長に比べて十分小さい振幅でミラー４２を正弦波的に高速に振動させ、そのときに光検出器６２から出力される検出信号をミラー４２の振動周波数の１倍波および２倍波で同期検波することで、干渉光の位相を得るというものである。制御部７２は、この得られた位相値を目標値に近づけるべくフィードバック制御することで、位相差をロックすることが可能となる。

[0062] 制御部７２は、光検出器６２からのアナログ信号である検出信号を入力し、 piezo素子４３またはステージ４４を駆動制御するためのアナログ信号を出力する。制御部７２は、内部でアナログ処理をしてもよいしデジタル処理をしてもよい。後者の場合、例えば、制御部７２は、入力した検出信号をＡＤ変換してデジタル信号とし、そのデジタル信号を処理し、その処理により得られたデジタル信号をＤＡ変換してアナログ信号とし、そのアナログ信号を出力してもよい。デジタル信号の処理には、マイクロプロセッサやＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）が用いられてもよい。

[0063] 合波の際の第１分岐光と第２分岐光との間の位相差が $\Delta\phi$ であるとき、光検出器６２が受光する光の強度 V は下記（２）式で表される。受光強度 V は

、何れも未知数であるオフセット成分DCおよび振幅ACを含む。それ故、
 何等かの処理により、DCおよびACを含まない形で位相差 $\Delta\phi$ を抽出する
 必要がある。

[0064] [数2]

$$V = DC + AC \cdot \sin(\Delta\phi) \quad \dots(2)$$

[0065] 光源10の出力光の波長に比べて十分小さい振幅でピエゾ素子43により
 ミラー42を正弦波的に高速に振動させると、光検出器62が受光する光の
 強度Vは下記(3)式で表される。 α は、ミラー42の振動の振幅に応じて
 決まる変調度である。 ω は、振動の角周波数である。 t は時間変数である。

[0066] [数3]

$$V(t) = DC + AC \cdot \sin(\Delta\phi + \alpha \cdot \sin(\omega t)) \quad \dots(3)$$

[0067] この(3)式の右辺をフーリエ級数展開すると、近似式として下記(4)
 式が得られる。 J_1 および J_2 は第一種ベッセル関数である。(4a)式の右
 辺の第2項は振幅 $A_{\omega t}$ および角周波数 ω で振動する。また、(4a)式の右
 辺の第3項は振幅 $A_{2\omega t}$ および角周波数 2ω で振動する。したがって、光検出
 器62から出力される検出信号を角周波数 ω で同期検波することで振幅 $A_{\omega t}$
 を得ることができ、検出信号を角周波数 2ω で同期検波することで振幅 $A_{2\omega t}$
 を得ることができる。

[0068] [数4]

$$V(t) = DC' + A_{\omega} \sin(\omega t) + A_{2\omega} \cos(2\omega t) + \dots \quad \dots(4a)$$

$$A_{\omega} = 2 \cdot AC \cdot J_1(\alpha) \cdot \cos(\Delta\phi) \quad \dots(4b)$$

$$A_{2\omega} = 2 \cdot AC \cdot J_2(\alpha) \cdot \sin(\Delta\phi) \quad \dots(4c)$$

[0069] 振幅 $A_{\omega t}$ と振幅 $A_{2\omega t}$ との比は下記(5)式で表される。また、ACは合波
 光の干渉強度を表しており、その干渉強度ACは下記(6)式で表される。
 ミラー42の振動の振幅が一定であるので、その振幅に基づいて $J_1(\alpha)$ およ
 び $J_2(\alpha)$ を求めることができる。(5)式に基づいて光路長差に応じた位相
 差 $\Delta\phi$ を求めることができ、(6)式に基づいて干渉強度ACをも求めるこ

とができる。制御部 7 2 は、以上のような処理を行なう為に、同期検波回路，加算回路および乗除算回路を含む。

[0070] [数5]

$$\frac{A_{2\omega}}{A_{\omega}} = \frac{2 \cdot AC \cdot J_2(\alpha) \cdot \sin(\Delta\phi)}{2 \cdot AC \cdot J_1(\alpha) \cdot \cos(\Delta\phi)} = \frac{J_2(\alpha)}{J_1(\alpha)} \tan(\Delta\phi) \quad \cdots(5)$$

[0071] [数6]

$$AC^2 = \left(\frac{A_{\omega}}{2 \cdot J_1(\alpha)} \right)^2 + \left(\frac{A_{2\omega}}{2 \cdot J_2(\alpha)} \right)^2 \quad \cdots(6)$$

[0072] 非特許文献 5 に記載された "spatial filtering detector" を用いた位相ロック技術（以下「第 2 位相ロック技術」という。）も採用可能である。この技術では、光検出器 6 2 に替えて、1 次元方向に複数の画素が配列されたラインセンサまたは 1 次元方向に配列された複数の光検出器を用いる。以下では、等間隔に配列された 4 個の光検出器を用いる場合について説明する。測定側光学系および参照側光学系の双方または何れか一方に傾きを与えることで干渉縞が現れるようにし、この状態において 4 個の光検出器の受光強度 $V_1 \sim V_4$ が下記（7）式となるように干渉縞の傾きを調整する。

[0073] [数7]

$$V_1 = DC + AC \cdot \sin(\Delta\phi) \quad \cdots(7a)$$

$$V_2 = DC + AC \cdot \sin(\Delta\phi + \pi/2) = DC - AC \cdot \cos(\Delta\phi) \quad \cdots(7b)$$

$$V_3 = DC + AC \cdot \sin(\Delta\phi + \pi) = DC - AC \cdot \sin(\Delta\phi) \quad \cdots(7c)$$

$$V_4 = DC + AC \cdot \sin(\Delta\phi + 3\pi/2) = DC + AC \cdot \cos(\Delta\phi) \quad \cdots(7d)$$

[0074] 測定側光学系および参照側光学系の双方または何れか一方に傾きを与えるために、例えば、ミラー 3 2 またはミラー 4 2 を傾斜させてもよいし、何れかのレンズを傾けてもよいし、また、所定方向に沿って厚みが異なる楔形状のプリズムを光路上に挿入してもよい。

[0075] この受光強度 $V_1 \sim V_4$ から下記（8）式により A_1 、 A_2 が求められ、下記（9）式により A_1 と A_2 との比が求められる。また、干渉強度 AC は下記（10）

）式で表される。これらの式から、光路長差に応じた位相差 $\Delta\phi$ を求めることができ、干渉強度 AC をも求めることができる。制御部72は、以上のような処理を単純な電気回路系で実現することができる。

[0076] [数8]

$$A_1 = V_1 - V_3 = 2 \cdot AC \cdot \sin(\Delta\phi) \quad \dots(8a)$$

$$A_2 = V_4 - V_2 = 2 \cdot AC \cdot \cos(\Delta\phi) \quad \dots(8b)$$

[0077] [数9]

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{2 \cdot AC \cdot \sin(\Delta\phi)}{2 \cdot AC \cdot \cos(\Delta\phi)} = \tan(\Delta\phi) \quad \dots(9)$$

[0078] [数10]

$$AC^2 = \left(\frac{A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{A_2}{2}\right)^2 \quad \dots(10)$$

[0079] 制御部72は、このようにして光路長差に応じた位相差を求めるとともに干渉強度を求め、光路長差調整部（ピエゾ素子43、ステージ44）による光路長差調整動作を制御して、求めた干渉強度に基づいて光路長差を小さくするとともに、求めた位相差に基づいて光路長差を一定に維持する。なお、光路長差の調整に際して、ピエゾ素子43およびステージ44の何れを制御してもよいが、ステージ44の制御により光路長差を粗調整することができ、ピエゾ素子43の制御により光路長差を微調整することができる。

[0080] 求めた干渉強度に基づいて光路長差を小さくする際に、自動的にステージ44を移動させてもよい。また、利用者に干渉強度を通知して、利用者の操作によりステージ44を移動させてもよい。例えば、画像取得部71もしくは制御部72の表示部、または、これらとは別に設けた表示部に、干渉強度を表示させて、干渉強度を利用者に知らせる。表示部は、ディスプレイ、LEDバー、アナログパネルメーター、デジタルパネルメーターなどの視覚的なものであってもよいし、干渉強度に応じた大きさの音を出力するブザーやスピーカーなどの聴覚的なものであってもよいし、また、干渉強度に応じた大きさの振動を利用者に与えるバイブレータなどの触覚的なものであっても

よい。利用者は、表示部に表示された干渉強度が大きくなるようにステージ 44 を移動させる。

[0081] 干渉強度を大きくする際に、光路長差を最小化することがもっとも重要である。ただし、試料側光学系（第 1 分岐光の光学系）および参照側光学系（第 2 分岐光の光学系）の何れかの結像系のフォーカスや光軸がずれている場合にも干渉強度が小さくなる。したがって、干渉強度を大きくするには、第 1 に光路長差を調整して小さくするとともに、試料側光学系および参照側光学系それぞれの結像系のフォーカスや光軸の調整をも行なう。

[0082] 干渉強度を最大化するアルゴリズムとしては、干渉強度を記録しながら調整機構（光路長差、フォーカス、光軸）のうちの 1 つを一方向に動かして行き、最適な位置を通り過ぎて干渉強度が下がり始めたら調整機構を逆方向に動かし、一方向のスキャン中に得られた最大強度の誤差数%以内の干渉強度が得られた地点を最適値とみなすという方法が考えられる。調整箇所が複数ある場合は、このような最適値の探索をそれぞれの調整箇所について順番に行い、調整が一巡したら必要に応じてもう一巡もしくは数回調整を繰り返すことで、光学系全体としての最適な状態を実現する、というアルゴリズムが考えられる。

[0083] （第 3 実施形態）

図 4 は、第 3 実施形態の干渉観察装置 1 C の構成を示す図である。図 4 に示される第 3 実施形態の干渉観察装置 1 C は、図 3 に示された構成の変形例であり、分岐用ビームスプリッタ 21 から合波用ビームスプリッタ 22 に到る迄の干渉光学系 20 C の構成の点で相違する。すなわち、図 4 に示される第 3 実施形態の干渉観察装置 1 C は、図 3 に示された構成に対し、分岐用ビームスプリッタ 21 が図 3 におけるビームスプリッタ 31 の機能を兼ねる点、合波用ビームスプリッタ 22 が図 3 におけるビームスプリッタ 55 の機能を兼ねる点、光路長差補償板 35 およびミラー 56 を備える点、ならびに、チューブレンズ 53 に替えてレンズ 57 およびレンズ 58 を備える点、で相違する。図 3 に示される構成と比べて、図 4 に示される構成は、ビームスプ

リッタの個数が2つ少ないので、安価にすることができる。

[0084] (第4実施形態)

図5は、第4実施形態の干渉観察装置1Dの構成を示す図である。干渉観察装置1Dは、光源10、レンズ11、レンズ12、分岐用ビームスプリッタ21、合波用ビームスプリッタ22、像反転プリズム36、ビームスプリッタ41、ミラー42、ピエゾ素子43、ステージ44、レンズ51、レンズ52、チューブレンズ53、撮像部(受光部)61、画像取得部71および制御部72を備える。分岐用ビームスプリッタ21から合波用ビームスプリッタ22に到る迄の干渉光学系20Dは、マッハツェンダ干渉計を構成している。

[0085] 図1に示された第1実施形態の干渉観察装置1Aの干渉光学系20Aはビームスプリッタ31およびミラー32を含むのに対して、図5に示される第4実施形態の干渉観察装置1Dの干渉光学系20Dは像反転プリズム36を含む点で相違する。像反転プリズム36は測定側光学系に設けられている。像反転プリズム36は例えばペンタプリズムである。

[0086] 像反転プリズム36は、第1側面36a、第2側面36b、第3側面36cおよび第4側面36dを有する多角柱形状のプリズムである。像反転プリズム36は、分岐用ビームスプリッタ21から到達した第1分岐光を第1側面36aから内部へ透過させ、その第1分岐光を第2側面36bおよび第3側面36cで順次に反射させた後、その第1分岐光を第4側面36dから外部へ透過させて合波用ビームスプリッタ22へ出力する。

[0087] 本実施形態では、第1分岐光は、像反転プリズム36において2回反射されるので、2回の像反転を受ける。第2分岐光は、ビームスプリッタ41およびミラー42それぞれにより反射されて、同様に2回の像反転を受ける。像反転プリズム36は、第1分岐光および第2分岐光それぞれの反射の回数の和を偶数とする光学素子である。第1実施形態の場合と同様に、第1分岐光および第2分岐光それぞれの反射による像反転の回数の和が偶数であるので、合波用ビームスプリッタ22による合波の際の第1分岐光および第2分

岐光それぞれの像の方向が互いに一致し、第1分岐光と第2分岐光とは撮像部61の撮像面の広い範囲において効率よく干渉することができる。

[0088] (第5実施形態)

図6は、第5実施形態の干渉観察装置1Eの構成を示す図である。干渉観察装置1Eは、光源10、レンズ11、レンズ12、分岐用ビームスプリッタ21、合波用ビームスプリッタ22、ビームスプリッタ31、ミラー32、ビームスプリッタ41、ミラー42、ピエゾ素子43、ステージ44、レンズ51、レンズ52、チューブレンズ53、撮像部(受光部)61、画像取得部71および制御部72を備える。本実施形態における分岐用ビームスプリッタ21から合波用ビームスプリッタ22に到る迄の干渉光学系20Eは、マッハツェンダ干渉計を構成しており、第1実施形態における干渉光学系20Aと同様の構成を有する。

[0089] 本実施形態では、光源10および干渉光学系20Eは筐体80により保持されている。また、筐体80には第1取付部81が設けられている。この第1取付部81は、干渉光学系20Eの合波用ビームスプリッタ22から出力された合波光を外部へ出力する開口を有する。これら光源10、干渉光学系20E、筐体80および第1取付部81を含んで干渉光学装置2が構成される。

[0090] また、本実施形態では、チューブレンズ53、撮像部61、ミラー54および第2取付部82を含んで顕微鏡装置3が構成される。第2取付部82は、第1取付部81の開口と光学的に結合される開口を有し、第1取付部81に対して光学的結合が自在である。撮像部61は、干渉光学系20Eから出力された合波光を受光して検出信号を出力する。干渉光学系20Eから出力された合波光は、第1取付部81の開口、第2取付部82の開口、ミラー54およびチューブレンズ53を経て、撮像部61により受光される。この顕微鏡装置3は、市販のものが用いられ得る。すなわち、通常の市販の顕微鏡装置において対物レンズが取り付けられる取付部を上記の第2取付部82とすればよい。

[0091] 本実施形態の干渉観察装置 1 E は、光源 1 0 および干渉光学系 2 0 E を筐体 8 0 により保持して小型化・一体化した干渉光学装置 2 と通常の顕微鏡装置 3 とを組み合わせることで構成することができる。本実施形態では、既存の顕微鏡装置 3 を用いることができるので、干渉観察装置 1 E を安価に構成することができる。

[0092] 本実施形態では、ビームスプリッタ 3 1、観察対象物 9 0、合波用ビームスプリッタ 2 2、第 1 取付部 8 1 の開口および第 2 取付部 8 2 の開口が縦一列に配列されている。したがって、ビームスプリッタ 3 1 の上方に設けられた照明装置で観察対象物 9 0 を照明することで、観察対象物 9 0 の明視野画像を撮像部 6 1 により取得することができる。また、顕微鏡装置 3 が蛍光顕微鏡である場合、合波用ビームスプリッタ 2 2 の下方に設けられた励起照明装置で観察対象物 9 0 を照明し励起することで、観察対象物 9 0 の蛍光画像を撮像部 6 1 により取得することができる。

[0093] なお、本実施形態の構成と同様に、第 1 ～ 第 4 の実施形態の干渉観察装置 1 A ～ 1 D においても、分岐用ビームスプリッタ 2 1 から合波用ビームスプリッタ 2 2 に到るまでの干渉光学系 2 0 A ～ 2 0 D および光源 1 0 を筐体により保持して干渉光学装置とし、この干渉光学装置と顕微鏡装置 3 とを互いに光学的に結合することで構成してもよい。

[0094] (変形例)

本発明の一側面による干渉観察装置は、上記の実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。

[0095] 上記の実施形態による干渉観察装置は、(1) インコヒーレントな光を出力する光源と、(2) 光源から出力された光を分岐して第 1 分岐光および第 2 分岐光を出力する分岐用ビームスプリッタと、第 1 分岐光と第 2 分岐光とを合波して合波光を出力する合波用ビームスプリッタとを含み、マッハツェンダ干渉計を構成する干渉光学系と、を備える。この干渉観察装置において、干渉光学系は、第 2 分岐光の光路上に第 2 ビームスプリッタおよび第 2 ミラーを含み、分岐用ビームスプリッタから第 2 ビームスプリッタに到達した第 2

分岐光を第2ビームスプリッタで透過または反射させた後に第2ミラーにより反射させ、第2ミラーにより反射されて第2ビームスプリッタに到達した第2分岐光を第2ビームスプリッタで反射または透過させて、分岐用ビームスプリッタから第2ビームスプリッタへの第2分岐光の入力方向と異なる方向へ第2ビームスプリッタから第2分岐光を出力する。第2ミラーの反射面に垂直な方向に第2ミラーが移動自在である。また、干渉光学系は、第1分岐光の光路上に第1分岐光および第2分岐光それぞれの反射の回数の和が偶数となる光学素子を含む。

[0096] 上記の干渉観察装置において、干渉光学系は、第1分岐光の光路上に光学素子として第1ビームスプリッタおよび第1ミラーを含み、分岐用ビームスプリッタから第1ビームスプリッタに到達した第1分岐光を第1ビームスプリッタで透過または反射させた後に第1ミラーにより反射させ、第1ミラーにより反射されて第1ビームスプリッタに到達した第1分岐光を第1ビームスプリッタで反射または透過させて、分岐用ビームスプリッタから第1ビームスプリッタへの第1分岐光の入力方向と異なる方向へ第1ビームスプリッタから第1分岐光を出力するのが好適である。

[0097] 上記の干渉観察装置は、合波光を受光して検出信号を出力する受光部を更に備えるのが好適である。

[0098] 上記の干渉観察装置は、第1分岐光または第2分岐光の光路上に置かれた観察対象物の干渉画像を検出信号に基づいて取得する画像取得部を更に備えるのが好適である。

[0099] 上記の干渉観察装置は、第1分岐光および第2分岐光の何れか一方の光路上に観察対象物が配置され、他方の光路上に光路長・分散補償板が設けられ、光路長・分散補償板が、観察対象物の配置による光路長の変化および分散の影響を補償するのが好適である。

[0100] 上記の干渉観察装置は、光源がインコヒーレントな波長可変光源であり、受光部が光源から出力される各波長の光それぞれについて合波光を受光して検出信号を出力し、各波長についての検出信号に基づいて観察対象物の波長

分散を求めるのが好適である。また、上記の干渉観察装置は、光源がインコヒーレントな白色光源であり、受光部が光源の出力帯域内の各波長の光それぞれについて合波光を受光して検出信号を出力し、各波長についての検出信号に基づいて観察対象物の波長分散を求めるのも好適である。

[0101] 上記の干渉観察装置は、(1) 光源および干渉光学系を保持する筐体と、(2) 筐体に設けられ、干渉光学系から出力された合波光を外部へ出力する開口を有する第1取付部と、(3) 第1取付部の開口と光学的に結合される開口を有する第2取付部と、干渉光学系から出力され第1取付部の開口および第2取付部の開口を経た合波光を受光して検出信号を出力する受光部と、を含む顕微鏡装置と、を備えるのが好適である。

[0102] 第1位相ロック技術および第2位相ロック技術の何れの場合にも、位相ロック用の光検出器62として、複数の画素が2次元配列されたカメラを用いて、何れかの画素から出力される検出信号に基づいて位相ロックを行なってもよい。

[0103] また、撮像部61の何れかの画素から出力される検出信号に基づいて位相ロックを行なってもよい。また、干渉画像取得用の撮像部61および位相ロック用の光検出器62の双方の機能を有する1つの受光素子を用いてもよい。これらの場合には、受光部を1つの受光素子で構成できるので、装置を小型化することができ、光学系を容易に調整することができる。

[0104] また、干渉画像取得用の撮像部61から出力される検出信号に基づいて合波光の干渉強度を求めてもよい。また、撮像部61および光検出器62それぞれから出力される検出信号に基づいて合波光の干渉強度を求めてもよい。

[0105] 撮像部61により撮像された画像に干渉縞が複数現れる状態においては、撮像部61の2次元配列された複数の画素のうち何れかの画素を、ラインセンサまたは1次元配列された複数の光検出器の代替物とみなして、第2位相ロック技術により干渉強度を求めることができる。或いは、第1位相ロック技術と同様に、撮像部61の撮像速度と比べて十分遅い周波数でピエゾ素子を変調して、撮像部61により得られた干渉画像の時間変化から前述のアル

ゴリズムによって干渉強度を計算することもできる。

[0106] また、撮像部 6 1 の何れかの画素からの検出信号を高速に読み出すことで、干渉強度のモニタリングに限らず位相ロックまでをも行うこととしてもよい。近年の CCD カメラや CMOS カメラの技術革新により 1 k H z を超えるフレームレートが実現されており、このようなフレームレートは、第 1 位相ロック技術および第 2 位相ロック技術の何れの場合においても、位相情報を導出するのに十分な速度である。

[0107] また、干渉光学系における分岐から合波までの第 1 分岐光の光路および第 2 分岐光の光路の双方または何れか一方に、印加電圧値によって屈折率または幾何学的厚みが増加する液晶素子（例えば、液晶レンズ）やプリズムを挿入してもよく、この場合にも干渉光学系における分岐から合波までの第 1 分岐光の光路と第 2 分岐光の光路との間の光路長差を調整することができる。

実施例

[0108] 図 4 に示された構成の干渉観察装置 1 C を用いた実施例について説明する。本実施例では、光源 1 0 として波長 5 8 0 n m の L E D を用いた。レンズ 1 2 は、およそレンズ 5 1, 5 2 の前側焦点面に光が集光するようにした。参照側光学系ではビームスプリッタ 1 個分だけ多くガラスを光が透過するので、物体側光学系に光路長差補償板 3 5 としてビームスプリッタと同じ大きさのガラス板を挿入した。レンズ 5 1, 5 2 として倍率 2 0 倍の対物レンズを用いた。

[0109] 撮像部 6 1 として CCD エリアイメージセンサを搭載したカメラを用いた。また、光検出器 6 2 としてフォトダイオードを用いた。分岐用ビームスプリッタ 2 1 からレンズ 5 1, 5 2 に到る迄の全ての光学素子は、その位置での L E D 光のビーム径を十分にカバーできる大きさの開口とした。

[0110] 観察対象物として、乾燥固定したコンフルエントな H e L a 細胞を用いた。観察時は、この細胞の上に純水を数滴たらし、その上にカバーガラスをかぶせ、下方から対物レンズ 5 1 で細胞を観察した。

[0111] ピエゾ素子 4 3 によるミラー 4 2 の振動の角周波数 ω を 2.3 k H z とした

。制御部 7 2 により、光検出器 6 2 から出力された検出信号のうち 2.3 kHz 成分および 4.6 kHz 成分を同期検波した。この同期検波結果に基づいて上記 (5) 式から位相差 $\Delta\phi$ を求め、この位相差 $\Delta\phi$ に基づいて piezo 素子 4 3 によるミラー 4 2 の振動の中心位置をフィードバック制御して、位相ロックおよび位相シフトを行なった。

[0112] 図 7 および図 8 は、位相シフトおよび位相ロックを行なって取得された干渉画像を示す図である。図 7 (a) に示される干渉画像 $I_1(x, y)$ に対し、図 7 (b) に示される干渉画像 $I_2(x, y)$ は $\pi/2$ だけ位相が異なり、図 8 (a) に示される干渉画像 $I_3(x, y)$ は π だけ位相が異なり、図 8 (b) に示される干渉画像 $I_4(x, y)$ は $3\pi/2$ だけ位相が異なる。これらの干渉画像 $I_1 \sim I_4$ から下記 (11) 式で定量位相画像 $\Psi(x, y)$ が求められた。なお、 x 、 y は、各画像における位置を示す変数である。この $\Psi(x, y)$ を位相アンラッピングし、ゼルニケ多項式を用いたシェーディング補正の計算によって背景の歪み成分を平坦化すると、図 9 に示される定量位相画像が得られた。

[0113] [数11]

$$\psi(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{I_1(x, y) - I_3(x, y)}{I_4(x, y) - I_2(x, y)} \right) \quad \dots(11)$$

産業上の利用可能性

[0114] 本発明の一側面は、マッハツェンダ干渉計の光学系を用いて光路長差を調整する機能を有し空間分解能が高い画像の取得が可能で小型化が容易な干渉観察装置として利用可能である。

符号の説明

[0115] 1 A ~ 1 E …干渉観察装置、2 …干渉光学装置、3 …顕微鏡装置、10 …光源、11, 12 …レンズ、20 A ~ 20 E …干渉光学系、21 …分岐用ビームスプリッタ、22 …合波用ビームスプリッタ、31 …第1ビームスプリッタ、32 …第1ミラー、35 …光路長差補償板、36 …像反転プリズム、41 …第2ビームスプリッタ、42 …第2ミラー、43 …piezo 素子、44 …ステージ、45 …ステージ、51, 52 …レンズ、53 …チューブレンズ

、 5 4 …ミラー、 5 5 …ビームスプリッタ、 5 6 …ミラー、 5 7, 5 8 …レンズ、 6 1 …撮像部（受光部）、 6 2 …光検出器（受光部）、 7 1 …画像取得部、 7 2 …制御部、 8 0 …筐体、 8 1 …第 1 取付部、 8 2 …第 2 取付部、 9 0 …観察対象物（サンプル）、 9 1 …光路長・分散補償板。

請求の範囲

[請求項1]

インコヒーレントな光を出力する光源と、

前記光源から出力された光を分岐して第1分岐光および第2分岐光を出力する分岐用ビームスプリッタと、前記第1分岐光と前記第2分岐光とを合波して合波光を出力する合波用ビームスプリッタとを含み、マッハツェンダ干渉計を構成する干渉光学系と、

を備え、

前記干渉光学系は、

前記第2分岐光の光路上に第2ビームスプリッタおよび第2ミラーを含み、前記分岐用ビームスプリッタから前記第2ビームスプリッタに到達した前記第2分岐光を前記第2ビームスプリッタで透過または反射させた後に前記第2ミラーにより反射させ、前記第2ミラーにより反射されて前記第2ビームスプリッタに到達した前記第2分岐光を前記第2ビームスプリッタで反射または透過させて、前記分岐用ビームスプリッタから前記第2ビームスプリッタへの前記第2分岐光の入力方向と異なる方向へ前記第2ビームスプリッタから前記第2分岐光を出力し、前記第2ミラーの反射面に垂直な方向に前記第2ミラーが移動自在であり、

前記第1分岐光の光路上に前記第1分岐光および前記第2分岐光それぞれの反射の回数の和が偶数となる光学素子を含む、

干渉観察装置。

[請求項2]

前記干渉光学系は、前記第1分岐光の光路上に前記光学素子として第1ビームスプリッタおよび第1ミラーを含み、前記分岐用ビームスプリッタから前記第1ビームスプリッタに到達した前記第1分岐光を前記第1ビームスプリッタで透過または反射させた後に前記第1ミラーにより反射させ、前記第1ミラーにより反射されて前記第1ビームスプリッタに到達した前記第1分岐光を前記第1ビームスプリッタで反射または透過させて、前記分岐用ビームスプリッタから前記第1ビ

ームスプリッタへの前記第 1 分岐光の入力方向と異なる方向へ前記第 1 ビームスプリッタから前記第 1 分岐光を出力する、

請求項 1 に記載の干渉観察装置。

[請求項3] 前記合波光を受光して検出信号を出力する受光部を更に備える、
請求項 1 または 2 に記載の干渉観察装置。

[請求項4] 前記第 1 分岐光または前記第 2 分岐光の光路上に置かれた観察対象物の干渉画像を前記検出信号に基づいて取得する画像取得部を更に備える、

請求項 3 に記載の干渉観察装置。

[請求項5] 前記第 1 分岐光および前記第 2 分岐光の何れか一方の光路上に前記観察対象物が配置され、他方の光路上に光路長・分散補償板が設けられ、

前記光路長・分散補償板が、前記観察対象物の配置による光路長の変化および分散の影響を補償する、

請求項 4 に記載の干渉観察装置。

[請求項6] 前記光源がインコヒーレントな波長可変光源であり、
前記受光部が前記光源から出力される各波長の光それぞれについて前記合波光を受光して前記検出信号を出力し、

各波長についての前記検出信号に基づいて前記観察対象物の波長分散を求める、

請求項 4 に記載の干渉観察装置。

[請求項7] 前記光源がインコヒーレントな白色光源であり、
前記受光部が前記光源の出力帯域内の各波長の光それぞれについて前記合波光を受光して前記検出信号を出力し、

各波長についての前記検出信号に基づいて前記観察対象物の波長分散を求める、

請求項 4 に記載の干渉観察装置。

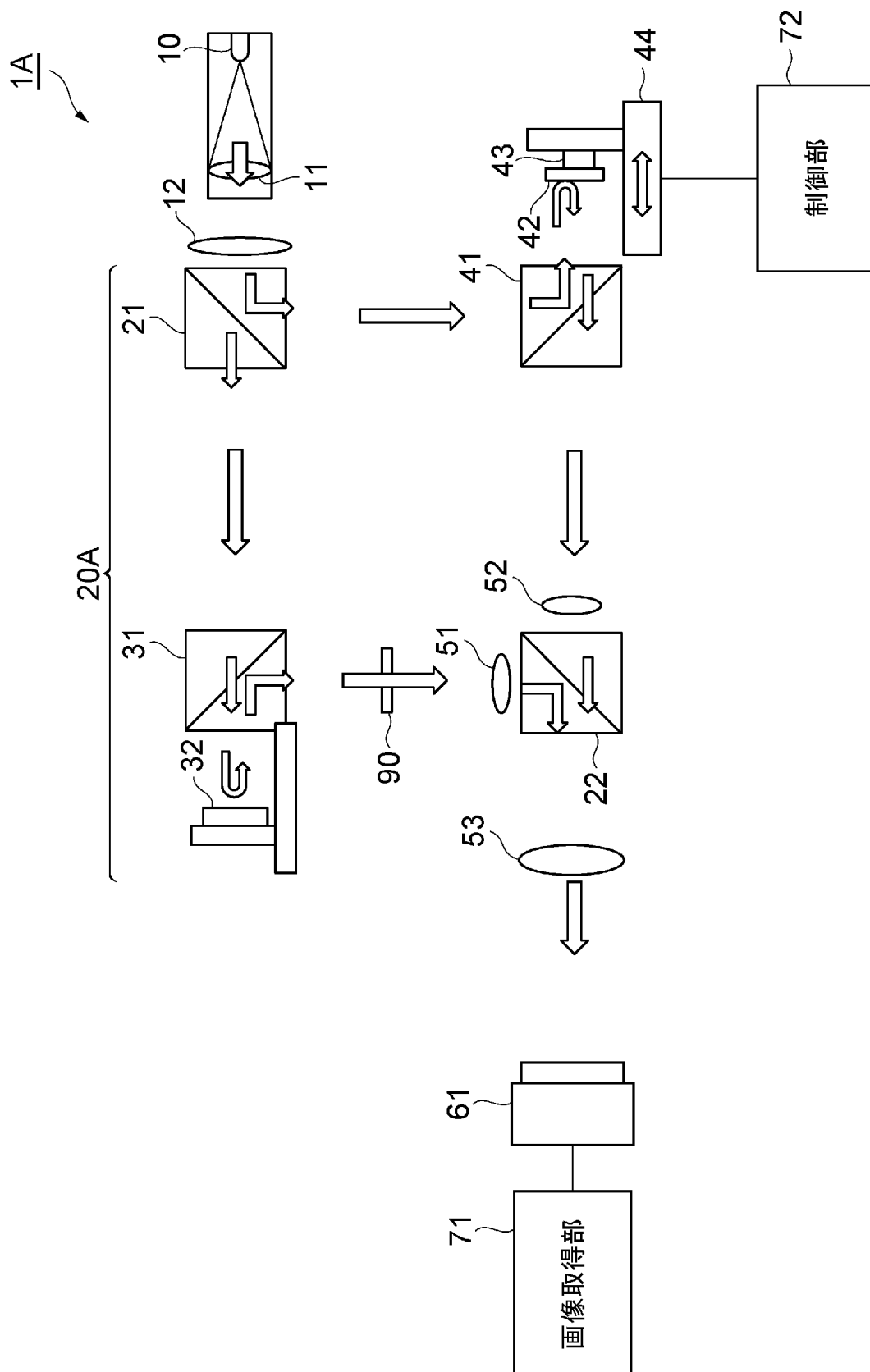
[請求項8] 前記光源および前記干渉光学系を保持する筐体と、

前記筐体に設けられ、前記干渉光学系から出力された前記合波光を外部へ出力する開口を有する第 1 取付部と、

前記第 1 取付部の開口と光学的に結合される開口を有する第 2 取付部と、前記干渉光学系から出力され前記第 1 取付部の開口および前記第 2 取付部の開口を経た前記合波光を受光して検出信号を出力する受光部と、を含む顕微鏡装置と、

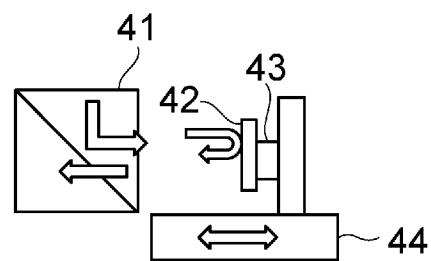
を備える請求項 1 ～ 7 の何れか 1 項に記載の干渉観察装置。

[図1]

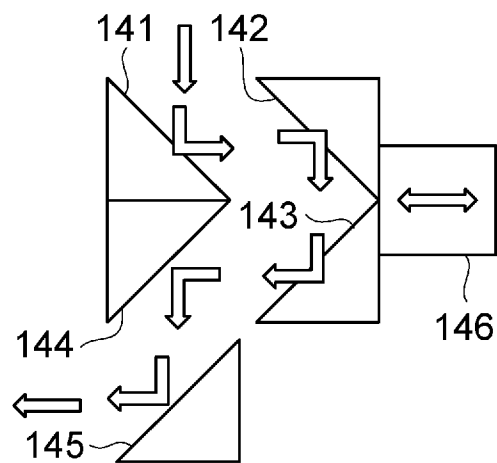


[図2]

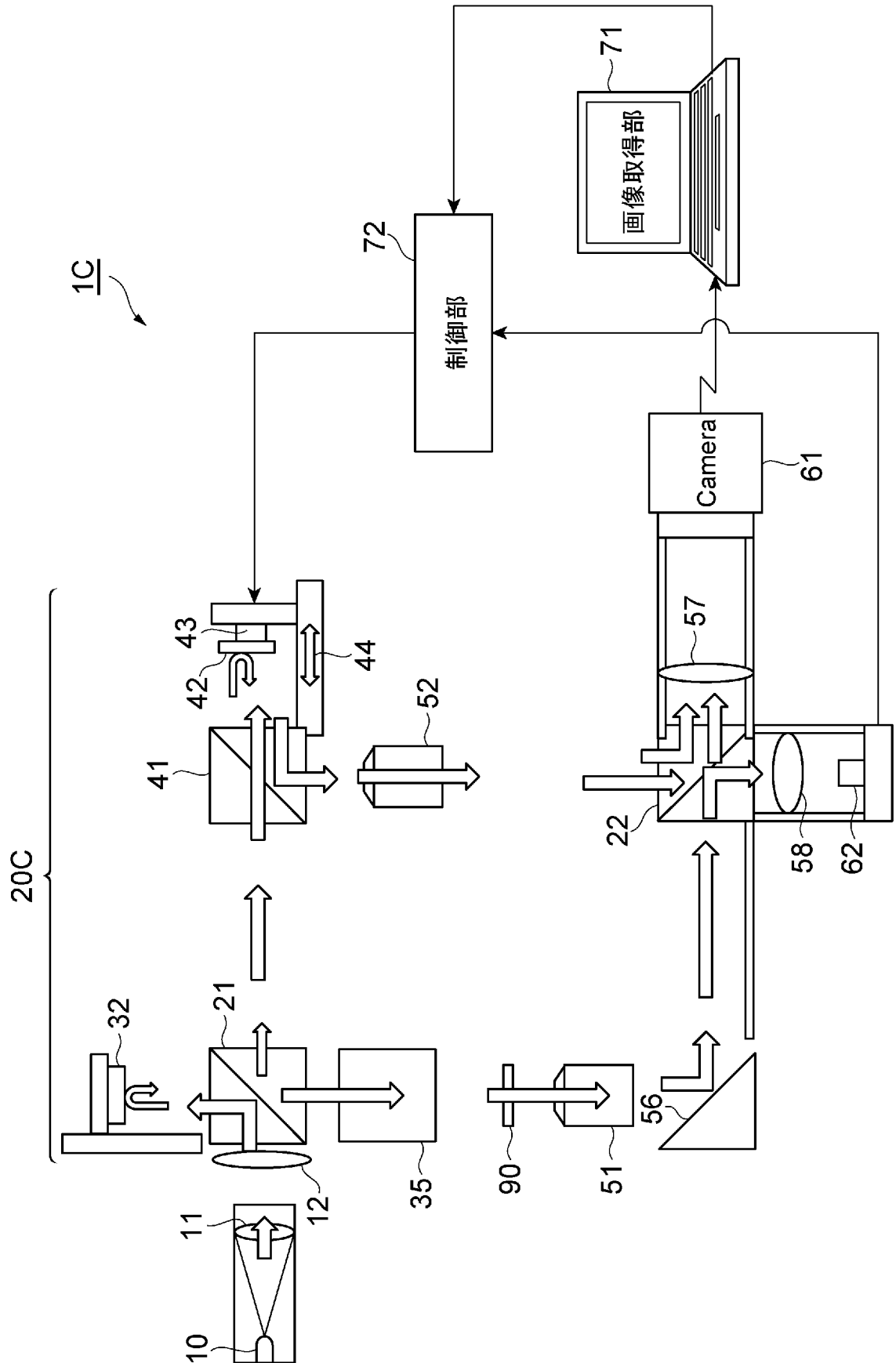
(a)



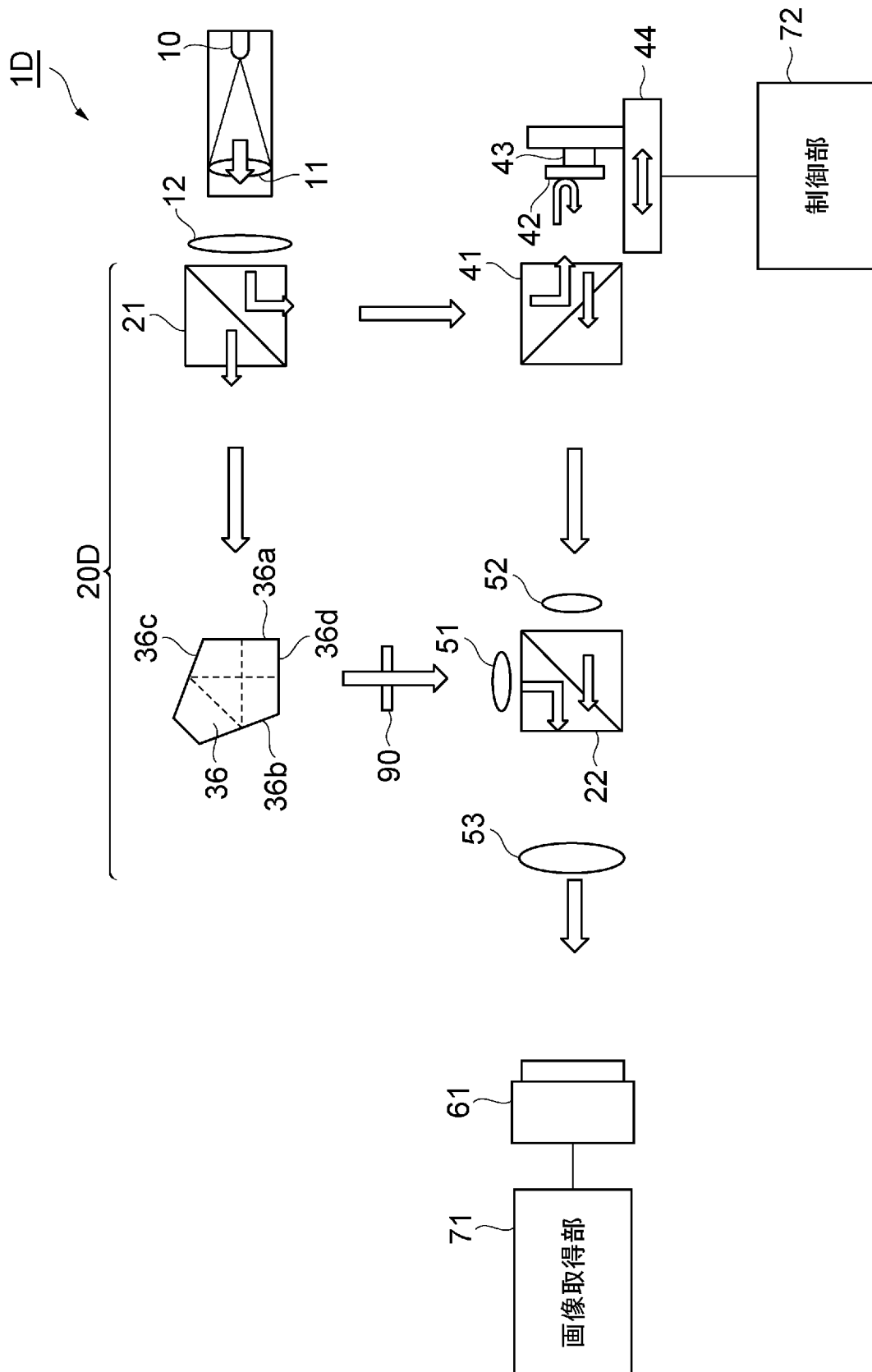
(b)



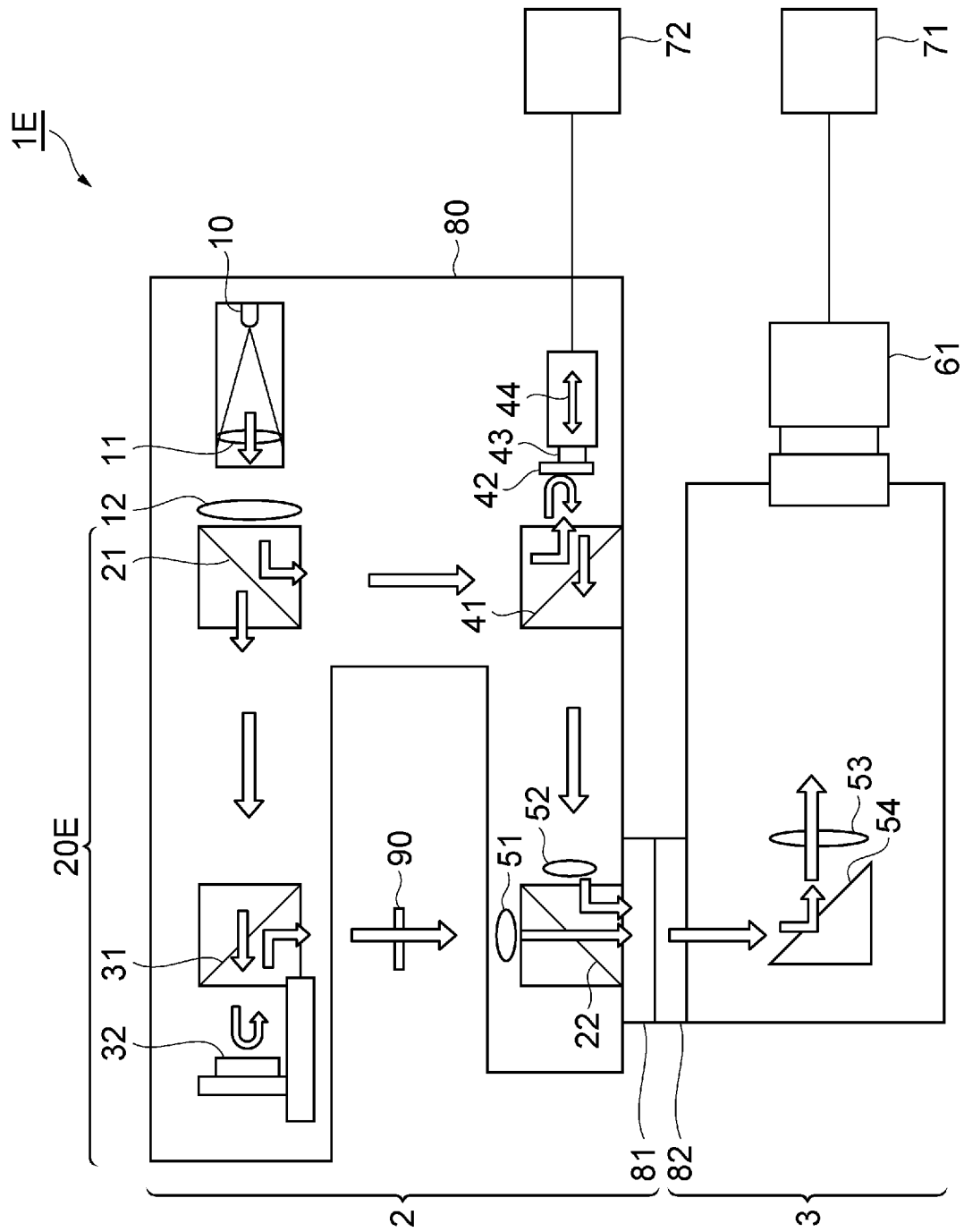
[図4]



[図5]

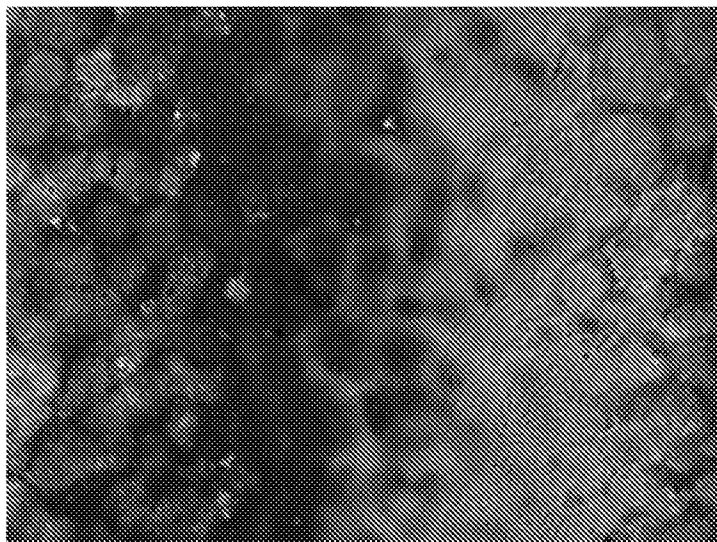


[図6]

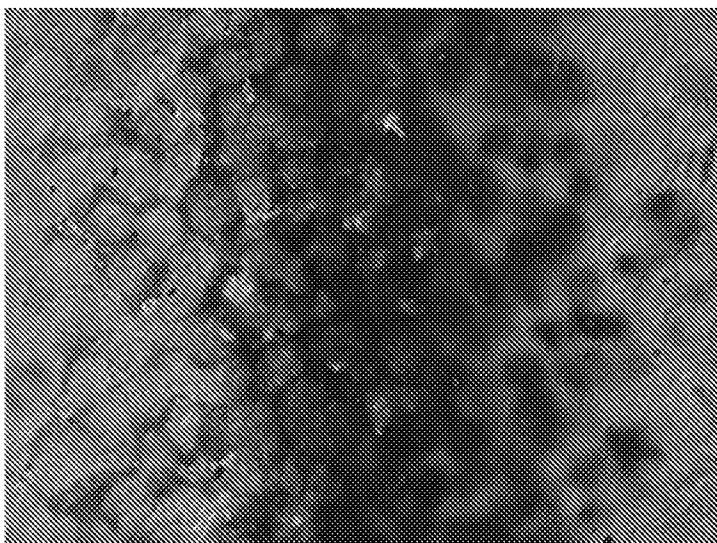


[図7]

(a)

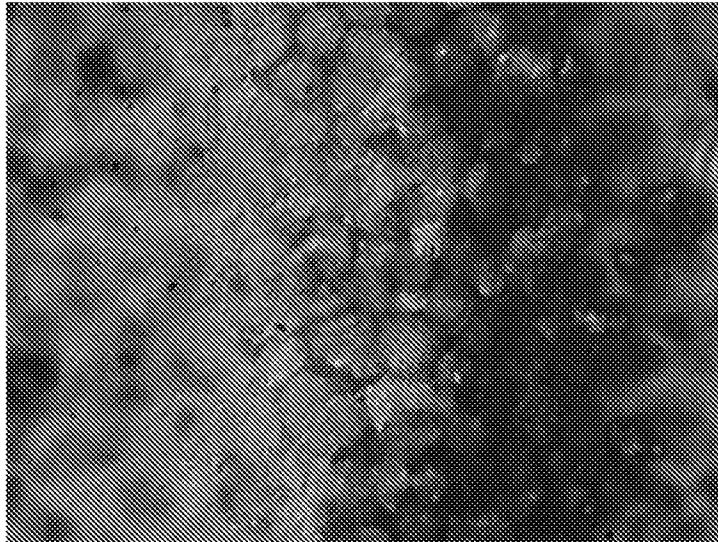


(b)

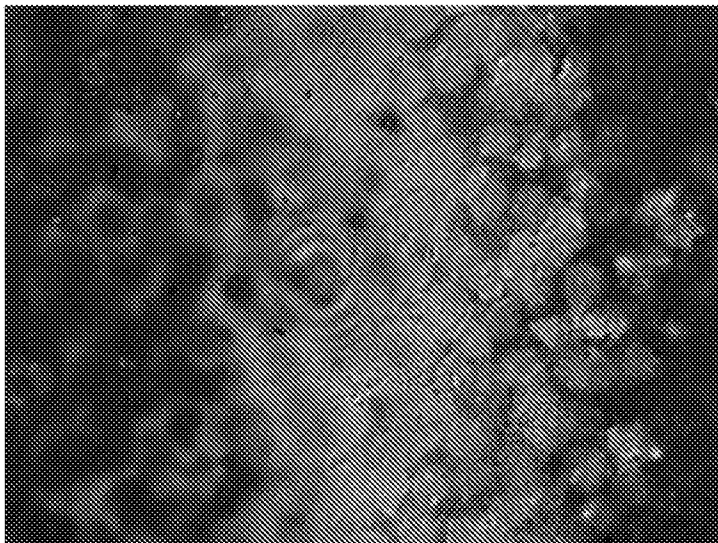


[図8]

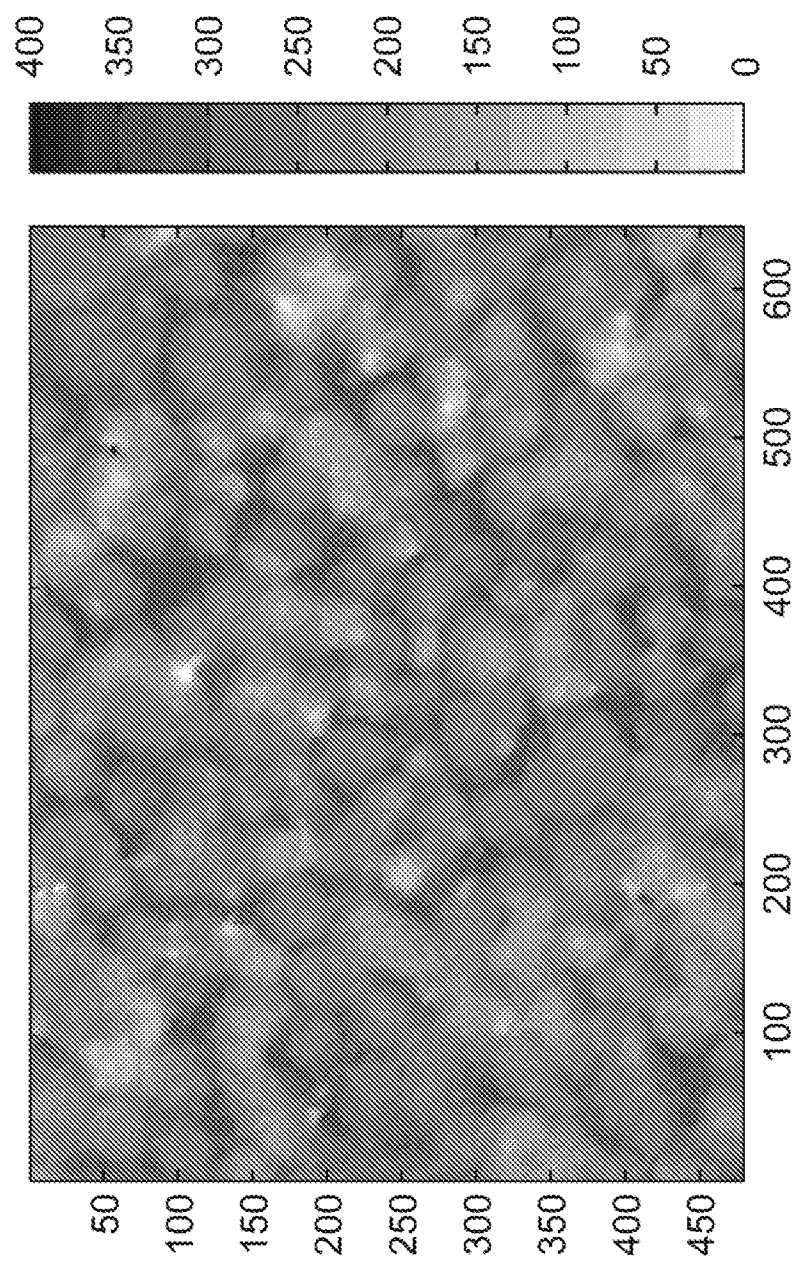
(a)



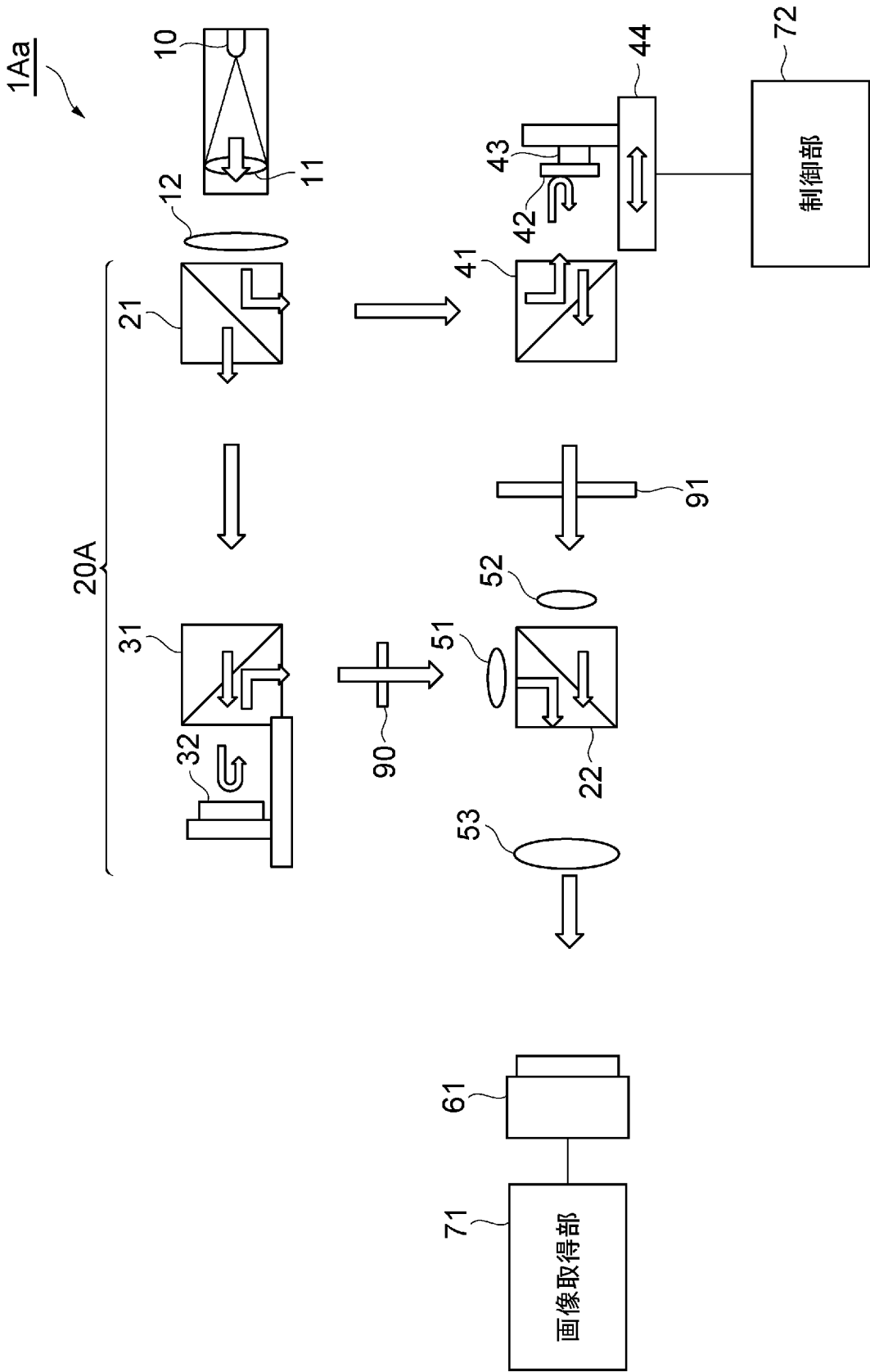
(b)



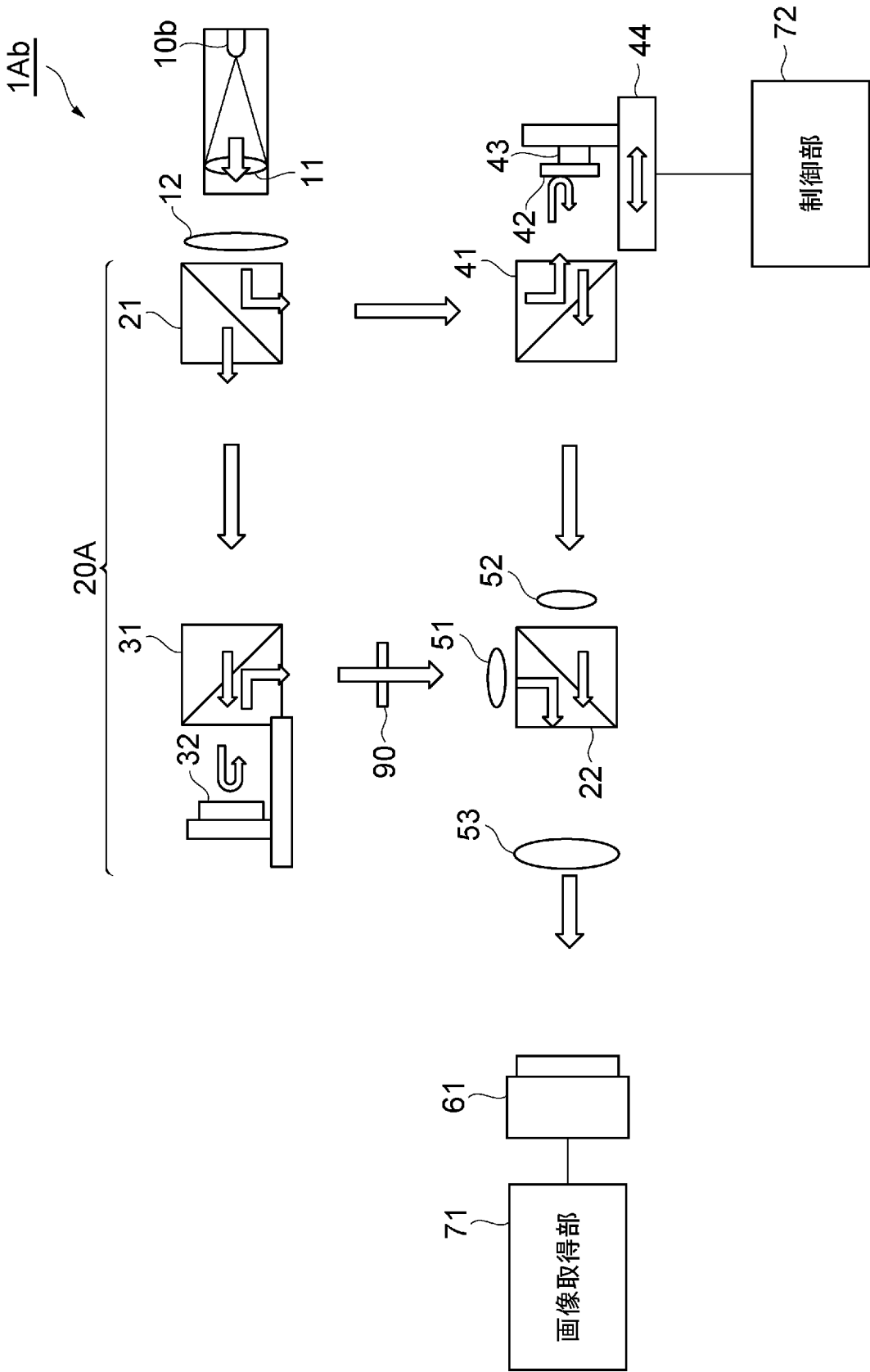
[図9]



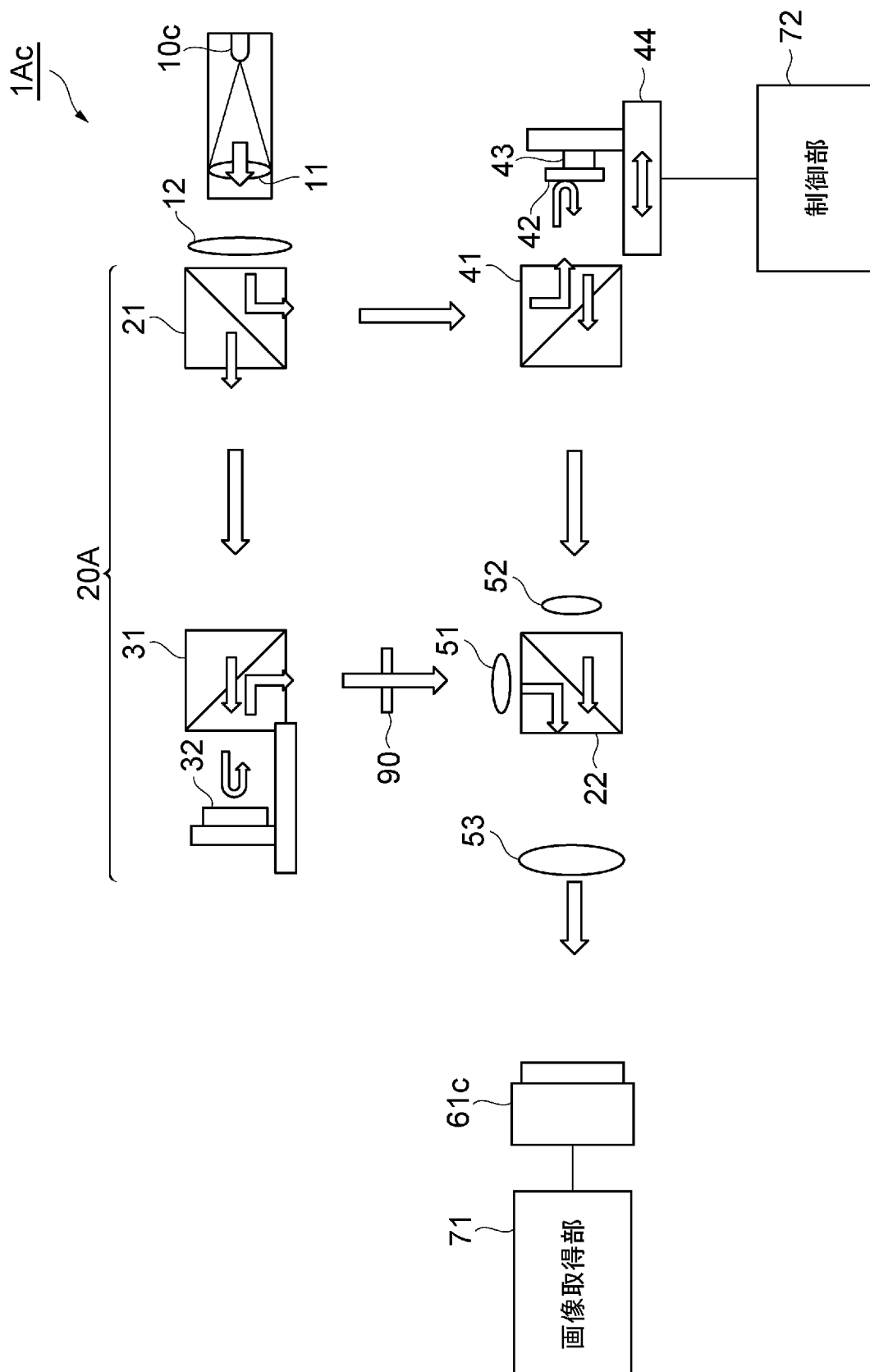
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/084917

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B9/02(2006.01)i, G01N21/45(2006.01)i, G02B21/00(2006.01)i

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)

G01B9/00-11/30, G01N21/45, G02B21/00, G01J9/02

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 10-232204 A (Biophotonics Information Laboratories, Ltd.),	1-4
Y	02 September 1998 (02.09.1998), paragraphs [0028], [0037] to [0051]; fig. 9 to 10 (Family: none)	5-8
Y	JP 2001-4538 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 January 2001 (12.01.2001), paragraph [0133]; fig. 1 (Family: none)	5

☒ 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 February 2016 (04.02.16)

Date of mailing of the international search report
16 February 2016 (16.02.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/084917

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-132838 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 12 July 2012 (12.07.2012), paragraphs [0062] to [0064] (Family: none)	6-7
Y	JP 2009-116082 A (NSK Ltd.), 28 May 2009 (28.05.2009), paragraphs [0028] to [0029] (Family: none)	8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01B9/02(2006.01)i, G01N21/45(2006.01)i, G02B21/00(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. G01B9/00-11/30, G01N21/45, G02B21/00, G01J9/02

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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）

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
X Y	JP 10-232204 A（株式会社生体光情報研究所）1998.09.02, 段落[0028], [0037]-[0051], 第9-10図（ファミリーなし）	1-4 5-8
Y	JP 2001-4538 A（松下電器産業株式会社）2001.01.12, 段落[0133], 第1図（ファミリーなし）	5
Y	JP 2012-132838 A（日本電信電話株式会社）2012.07.12, 段落[0062]-[0064]（ファミリーなし）	6-7

☒ 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。

* 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

の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

04.02.2016

国際調査報告の発送日

16.02.2016

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）

岸 智史

2 S

3603

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

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	JP 2009-116082 A (日本精工株式会社) 2009. 05. 28, 段落[0028]-[0029] (ファミリーなし)	8