

(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
2018年4月19日(19.04.2018)

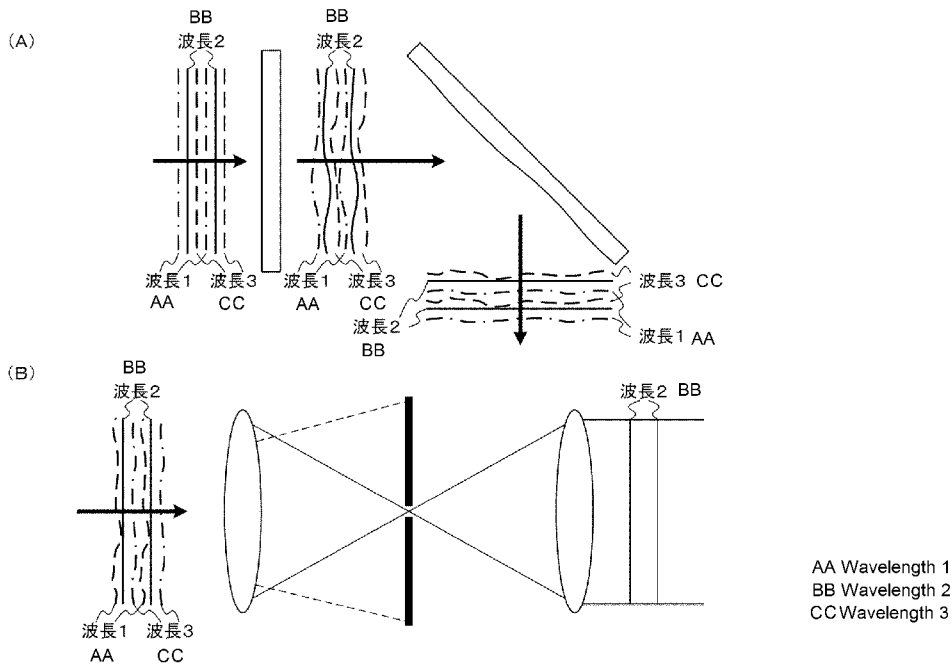


(10) 国際公開番号
WO 2018/070206 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 3/12 (2006.01) G01J 3/40 (2006.01)
G01J 3/36 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/034067
- (22) 国際出願日: 2017年9月21日(21.09.2017)
- (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 2016-201022 2016年10月12日(12.10.2016) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 黄 晨暉 (HUANG Chenhui); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 田能村 昌宏 (TANOMURA Masahiro); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 下坂 直樹 (SHIMOSAKA Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,

(54) Title: SPECTROSCOPIC DEVICE AND IMAGING DEVICE

(54) 発明の名称: 分光装置及び撮像装置



(57) Abstract: In order to provide a spectroscopic device and the like capable of achieving high-speed spectrum, this spectroscopic device is provided with: a modulation means for converting a wavefront shape of light according to a wavelength; and a demodulation means for changing a phase of the light of a selected wavelength into a predetermined state, from among lights the wavefront shapes of which have been modulated.

(57) 要約: 高速な分光が可能なる分光装置等を提供する。分光装置は、波長に応じて光の波面形状を変換する変調手段と、波面形状を変換された光のうち、選択された波長の光の位相を所定の状態となるように変化させる復調手段とを備える。



WO 2018/070206 A1

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,
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))

明 細 書

発明の名称：分光装置及び撮像装置

技術分野

[0001] 本発明は、分光装置及び撮像装置に関する。

背景技術

[0002] ハイパースペクトルイメージングと呼ばれる、数十波長以上の多数の波長の画像を取得する技術が用いられつつある。ハイパースペクトルイメージング技術では、所望の波長帯の光を分光することで波長毎の画像が得られる。

[0003] ハイパースペクトルイメージング技術の一例が特許文献1に記載されている。特許文献1には、走査型投影表示装置等が記載されている。特許文献1に記載の走査型投影表示装置は、異なる波長領域の光が重ね合わされて入射した画像の1次元像を出射するスリット部材と、スリットからの出射光を走査して、二次元像をなす走査画像を生成する走査鏡を少なくとも備える。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2015-55819号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ハイパースペクトルイメージング等においては、分光された個々の波長に関する画像の取得に長い時間が必要となる場合がある。すなわち、特許文献1に記載の技術等に対して、分光された画像の取得に要する時間等の更なる高速化が求められている。

[0006] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであって、高速な分光が可能な分光装置等を提供することを主たる目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様における分光装置は、波長に応じて光の波面形状を変換する変調手段と、波面形状を変換された光のうち、選択された特定の波長の光

の位相を所定の状態となるように変化させる復調手段とを備える。

[0008] また、本発明の一態様における撮像装置は、二次元の画像に関する光を第1の平行光とするコリメータと、第1の平行光のうち、特定の波長の光の位相を平行光となるように変化させる分光装置と、分光装置から出射する第2の平行光を結像させるピンホール光学系と、第2の平行光を撮像するイメージセンサとを備える。

発明の効果

[0009] 本発明によると、高速な分光が可能な分光装置等を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施形態における分光装置を示す図である。

[図2]本発明の実施形態における撮像装置を示す図である。

[図3]本発明の実施形態における分光装置による分光方法の概念を示す図である。

[図4]本発明の実施形態における撮像装置の具体的な構成例を示す図である。

[図5]本発明の実施形態における分光装置が備える変調部の一例である拡散板を示す図である。

[図6]変調部にて区別される波面形状の差異の条件を示す例である。

[図7]変調部である拡散板の構成例を示す図である。

[図8]変調部における変換によって各々の画素の光が他の画素に入り込まないための条件を示す図である。

[図9]復調部の調整が行われる際に用いられる構成の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 本発明の実施形態について、添付の図面を参照して説明する。なお、以下の説明では、「平面波」は、光の位相が等しい面（すなわち波面）が平面状である光を示す。本発明の実施形態においては、平面波には、実用上、平面波として扱うことが可能な程度の位相のずれや誤差を含む波（光）が含まれてもよい。また、本発明の実施形態において、「平行光」は、光線が平行に

進む光をあらわす。平行光には、実用上、平行光として扱うことが可能な程度のずれや誤差を含む光が含まれてもよい。

[0012] (分光装置の原理)

次に、本実施形態における分光装置が用いる分光手法の原理について説明する。本実施形態における分光装置は、一つの観点では、補償光学の原理を用いて分光する。すなわち、本実施形態における分光装置100は、補償光学の原理が分光の技術に適用されたものであると考えることができる。

[0013] 図3を用いて、本実施形態における分光装置が用いる分光手法の原理の詳細を説明する。分光の対象となる白色光等の平面波は、散乱板を透過することによって、例えば波長毎に波面が異なる波に変換される。図3(A)に示す例では、散乱板を透過した平面波に含まれる波長1から3の3つの波長の光の波面が、散乱板によってそれぞれ異なる形状に変換されている。

[0014] このように波長毎に波面が変換された光が、例えば特定の波長に対して波面の各々の箇所における光路長の差をなくすような形状の鏡面を有する鏡に反射することで、当該波長の波面が平面波へ戻る。図3(A)では、波長1から3の3つの波長の光のうち、波長2の光が平面波へ戻る例が示されている。

[0015] 波長毎の波面の形状は、例えば波面形状センサを用いて測定される。波面の各々の箇所における光路長の差をなくすような形状を有する鏡は、形状可変ミラー等の空間光変調器(Spatial Light Modulator: SLM)を適宜制御することで得られる。つまり、波面形状センサによって測定された特定の波長の波面の形状に応じて空間光変調器の鏡面を制御することで、特定の波長の光が平面波へ戻される。また、波長毎に異なる形状の波面に変換された場合には、他の波長の光の波面は平面波とは異なる形状となる。

[0016] そして、ピンホールを含む光学系に上述した特定の波長の波面が平面波となった光を通すことで、平面波以外の波面の光はピンホールによって散乱する。すなわち、平面波となった特定の波長の波面を撮像素子に結像させるこ

とが可能となる。平面波となった特定の波長の波面を撮像素子に結像させることで、当該特定の波長に関する単色の画像を得ることができる。図3（B）に示す例では、波長1から3の3つの異なる波長の光のうち、平面波である波長2の光以外の光がピンホールを含む光学系で散乱している。すなわち、この例では波長2に関する画像が得られる。

[0017] 上記の手順によって、特定の波長に関する単色の画像を得ることが可能となる。そして、複数の所望の波長に対して上記の手順を繰り返すことで、多数の波長に関する画像を得ることが可能となる。

[0018] また、形状可変ミラーは、例えば数kHz（キロヘルツ）の動作周波数にて動作する。すなわち、上述した手順では、例えば空間光変調器として形状可変ミラーが用いられることで、例えば一秒間に数千波長の光の平面波を得ることが可能となる。

[0019] （分光装置及び撮像装置）

続いて、本発明の実施形態について説明する。図1は、本実施形態における分光装置を示す図である。図2は、本実施形態における撮像装置を示す図である。図2に示す撮像装置は、図1に示す分光装置を含む。

[0020] 図1に示すとおり、本発明の第1の実施形態における分光装置100は、変調部110と、復調部120とを備える。変調部110は、波長に応じて光の波面形状を変換する。復調部120は、変調部110によって波面形状を変換された光のうち、選択された特定の波長の光の位相を所定の状態となるように変化させる。例えば、復調部120は、変調部110によって波面形状を変換された光のうち、選択された特定の波長の光を揃えて平面波となるように光の位相を変化させる。

[0021] また、図2に示すとおり、本発明の第1の実施形態における撮像装置10は、コリメータ11と、上述した分光装置100と、ピンホール光学系12と、撮像素子13とを有する。コリメータ11は、対象物等の二次元の画像に関する光を平行光とする。分光装置100は、コリメータ11で平行光とされた光が入射すると、選択された特定の波長の光の位相を例えば平行光等

の所定の状態となるように変化させて出射する。ピンホール光学系12は、分光装置100によって平面波とされた光を撮像素子13に結像させる。ピンホール光学系12は、ピンホールを含む。撮像素子13は、平行光とされた特定の波長の光についての画像を撮像する。

[0022] なお、分光装置100又は撮像装置10にて対象とされる光の波長帯は限定されない。分光装置100又は撮像装置10は、可視光の波長帯を対象としてもよいし、赤外光や紫外光の波長帯を対象としてもよい。また、分光装置100又は撮像装置10において、画像（波面）は、撮像素子13の画素等に応じて、例えば二次元の複数の画素に分解される。つまり、変調部110は、撮像素子13の画素等に応じて、例えば二次元の複数の画素を単位に波面を変換する。

[0023] 図4は、本実施形態における分光装置100及び分光装置100を有する撮像装置10の具体的な構成の一例を示す。図4に示すとおり、本実施形態における撮像装置10は、コリメータ11と、上述した分光装置100と、ピンホール光学系12と、撮像素子13とを有する。また、図4に示す例では、分光装置100の変調部110として散乱板111が用いられ、復調部120として形状可変ミラー121が用いられる。また、図4に示す例では、形状可変ミラー121での干渉を避けるため、戻り光を遮断するブロック16が適宜設けられている。

[0024] コリメータ11は、対象に関する二次元の画像に関する光を平行光とする。コリメータ11としては、コリメータレンズ等の既知の手段が用いられる。また、コリメータ11へ入射される二次元の画像は、例えば図4に示すように、レンズ15等によって得られる。図4に示す例では、対象の種類等に応じたレンズ15が適宜用いられる。

[0025] ピンホール光学系12は、少なくともピンホールを含む。ピンホール光学系12は、分光装置100が出射する光のうち、平行光を結像させる。つまり、ピンホール光学系12は、平行光ではない光を散乱させる。言い換えると、ピンホール光学系12は、分光装置100にて平行光とされた波長の光

を選択的に透過させる。

[0026] 撮像素子13は、分光装置100にて平行光とされた波長の光を撮像する。撮像素子13として、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサやCCD (Charge Coupled Device) 等の一般的なイメージセンサが用いられる。

[0027] 変調部110に相当する散乱板111は、物質の色分散（すなわち、光の波長に応じた屈折率の差異）を利用して、波長に応じて波面形状を変換する。すなわち、散乱板111は、波長に応じた光路長が少なくとも一部で異なるような構成を有する。なお、光路長は、光がある媒質を進む際に、光が進む距離と、当該媒質の屈折率との積で表される。

[0028] 図5は、散乱板111が波面形状を変換する場合の例を示す。図5では、散乱板111の断面が示されている。つまり、図5の例では、散乱板111が図の手前から奥へ延在している場合が想定されている。図5では、GRIN (Gradient Index) レンズのアレイ等のマイクロレンズアレイを介して、平行光が予め定められた画素毎に散乱板111へ入射する場合の例が示されている。すなわち、図5に示す例では、光は、マイクロレンズアレイによって細径化されて（画素の面方向に対する大きさに対して十分に小さく絞られて）散乱板111の図5における左側の面へ画素毎に入射する。そして、散乱板111へ入射した光は、散乱板111によって、波面1から n (n は自然数) の異なる波長の各々に対して異なる波面形状となるように変換される。すなわち、散乱板111は、平行光である光の波面形状を、光の波長に応じて異なる歪んだ波面となるように変換する。波面形状が変換された光は、散乱板111の図5における右側の面から出射する。散乱板111の光が入射又は出射する面の輪郭の形状は、散乱板111へ入射する光等に応じて適宜定められる。散乱板111の光が入射又は出射する面は、例えば矩形状とされる。

[0029] 復調部120に相当する形状可変ミラー121は、鏡面の形状を変化させ

ることができる鏡である。形状可変ミラー 1 2 1 は、鏡面の形状を変化させることで、散乱板 1 1 1 によって波面形状が変換された光のうち、選択された波長の光の位相を所定の状態となるように変化させる。すなわち、形状可変ミラー 1 2 1 は、鏡面を光の波面形状に応じた形状とすることで、この場合に、形状可変ミラー 1 2 1 は、選択された波長の光が平行光となるように位相を変化させる。この場合に、他の波長の光は平行光とは異なる波面となる。

[0030] また、形状可変ミラー 1 2 1 は、波長毎の波面形状に応じて鏡面の形状を変化させることで、複数の異なる波長の光が平行光となるように位相を変化させることを可能にする。この場合には、変調部 1 1 0 によって変換された波長毎の波面形状に応じて、形状可変ミラー 1 2 1 の鏡面の形状を例えば順次変化させることで、複数の波長の光の各々が平行光となるように位相を変化させる。

[0031] (分光装置の構成の詳細)

次に、本実施形態における分光装置 1 0 0 の各構成要素の構成及び動作に関する条件の詳細について説明する。以下の説明では、変調部 1 1 0 は散乱板 1 1 1 であり、復調部 1 2 0 は形状可変ミラー 1 2 1 である場合が想定される。

[0032] 最初に、変調部 1 1 0 について説明する。上述のように、変調部 1 1 0 である散乱板 1 1 1 は、入射された二次元の画像に関する平行光の波面形状を波長に応じて変換する。散乱板 1 1 1 は、複数の波長光の各々の波面形状が、形状可変ミラー 1 2 1 によって区別可能になる程度に各々の波面形状を変換する。具体的には、1 つ以上の画素において、複数の波長光のうちの任意の 2 つの波面形状の差異（すなわち、少なくとも 1 つの画素における光路長の差異）の大きさが、形状可変ミラー 1 2 1 の分解能と比較して大きい必要がある。すなわち、図 6 の矢印で示される、2 つの波長光に対する波面形状の差異が 1 つ以上の画素において形状可変ミラー 1 2 1 の分解能よりも大きい場合には、形状可変ミラー 1 2 1 は、2 つの波長光の位相を個々に変化さ

せることが可能となる。

[0033] また、特定の波長光に対する波面形状の画素毎の光路長の差が、形状可変ミラー 1 2 1 の鏡面の可動域よりも大きい場合には、形状可変ミラー 1 2 1 は、当該波長の光が平面波となるように鏡面を変更させることはできない。すなわち、この場合には、形状可変ミラー 1 2 1 によって、当該波長の光が平面波となるように波面の位相を変化させることは困難である。したがって、散乱板 1 1 1 によって波面形状が変換される場合に、対象とされる波長の光の波面の各々について、画素毎の光路長の差は、形状可変ミラー 1 2 1 の可動域に含まれる必要がある。

[0034] 散乱板 1 1 1 による波面形状の変換と、形状可変ミラー 1 2 1 によって区別されうる波長の数との関係の例は以下のようなになる。この例では、形状可変ミラーの光の入射方向に対する分解能が 1 nm (ナノメートル) である場合を想定する。この場合には、2つの波長光の波面形状の光路長に 1 nm 以上の差異があれば、2つの波長光の波面が区別される。

[0035] また、この例では、散乱板 1 1 1 が、厚さが 1 mm (ミリメートル) の石英ガラスであり、340 nm から 900 nm までの波長が計測の対象とされる場合を想定する。この場合に、当該波長帯の光に対する屈折率の差は、340 nm の光に対する屈折率及び 900 nm の光に対する屈折率に基づくとして、約 0.02692 となる。そして、当該波長帯の光に対する光路長の差は、屈折率の差に散乱板 1 1 1 の厚みを乗じることで、 $2.692 * 10^{-5}$ m (メートル) と求められる。なお、“*” は乗算を意味する。上述した光路長の差が形状可変ミラー 1 2 1 の可動域に含まれる場合には、形状可変ミラー 1 2 1 によって区別されうる波長 (以下、「バンド」と称する場合があります) の数は、光路長の差を形状可変ミラー 1 2 1 の分解能で除して、26920 バンドと求められる。

[0036] 散乱板 1 1 1 に用いられる材質は特に制限されない。散乱板 1 1 1 は、例えば光の透過率が高く、かつ色分散が大きな材質にて形成されることが好ましい。散乱板 1 1 1 が色分散の大きな物質にて形成されることで、波長に応

じた光路長の差異が大きくなる。すなわち、波長毎の波面形状の差異が大きくなる。そして、より多数の波長の光が区別可能となる。

[0037] 色分散が大きな材質は、一般に波長によって異なる。可視光線が主な対象とされる場合には、例えば石英ガラスが用いられる。また、近赤外線又は中赤外線が主な対象とされる場合には、例えば CaF_2 （フッ化カルシウム）が用いられる。中赤外線又は遠赤外線が主な対象とされる場合には、例えば ZnSe （セレン化亜鉛）が用いられる。

[0038] また、多数の波長の光が異なる波面形状に変換されるように、散乱板111の構成には様々な例が考えられる。散乱板111が多数の波長の光を異なる波面形状に変換することで、復調部120によって多数の波長の光の位相が揃えられる。すなわち、散乱板111が多数の波長の光を異なる波面形状に変換することで、多数の波長の画像の取得が可能となる。

[0039] 一例として、散乱板111の面は、部位に応じて厚さが変えられてもよい。すなわち、散乱板111の面には、凹凸が形成されてもよい。散乱板111の面は、例えば画素毎等の散乱板111の面の部位に応じて厚さが変えられる。散乱板111の厚さが変わると、波長毎の光路長の差異が変化する。例えば散乱板111の厚みが大きくなると、波長毎の光路長の差異の大きさが散乱板111の厚みに応じて大きくなる。したがって、散乱板111の面の厚さが部位によって変えられることで、散乱板111の部位に応じた波長毎の光路長の差異が大きくなる。

[0040] また、散乱板111は、同一又は異なる材質の複数の層が組み合わせられて形成されてもよい。この場合には、散乱板111は、例えば同一又は異なる材質の複数の層が貼り合わされる等にて形成されてもよいし、同一又は異なる材質の複数の層が間隔を空けて設けられることで形成されてもよい。

[0041] 散乱板111が複数の層が組み合わせられて形成される場合には、複数の層の各々は、例えば色分散の性質が異なる材質であることが好ましい。色分散の性質が異なる複数の材質が組み合わせられることで、散乱板111がひとつの材質で形成される場合と比較して、波長毎の光路差の差異が大きくなる。

その結果として、波長毎の波面形状の差異が大きくなる。したがって、より多くの波長の画像の取得が可能となる。

[0042] 更に、複数の層が組み合わされて散乱板 1 1 1 が形成される場合においても、散乱板 1 1 1 は、面の部位によって厚さが変えられてもよい。この場合には、散乱板 1 1 1 を形成する各々の層の厚さが面の部位に応じて変えられてもよい。

[0043] また、散乱板 1 1 1 は、波長に応じて光の進行方向を少なくとも一部で変えるような構成を有してもよい。より詳しくは、散乱板 1 1 1 の面や散乱板 1 1 1 を形成する各々の層の面は、部位に応じて、散乱板 1 1 1 に入射される平行光の進行方向と垂直な方向とは異なる方向へ向かって延在するような形状でもよい。言い換えると、散乱板 1 1 1 の面は、平面状の形状とは異なる形状とされてもよい。例えば、散乱板 1 1 1 の面の少なくとも一つは、散乱板 1 1 1 に入射される平行光の進行方向に対して斜めとなる方向へ向かって延在するような形状でもよい。散乱板 1 1 1 の面は、面の部位毎に延在する方向が異なってもよい。なお、この場合において、散乱板 1 1 1 の面には、散乱板 1 1 1 を形成する複数の層の各々の面が含まれる。

[0044] 散乱板 1 1 1 の面の延在方向が平行光の進行方向に垂直な方向とは異なる方向を向くような形状であることで、散乱板 1 1 1 を通過する光の進行方向（すなわち、光線のベクトルの向き）が変えられる。また、散乱板 1 1 1 の面の延在方向が散乱板 1 1 1 の面の各々において互いに変えられることで、散乱板 1 1 1 の面の各々の部位を通過する光の進行方向が変えられる。例えば、散乱板 1 1 1 を通過する光の進行方向が散乱板 1 1 1 の面の画素毎に変えられる。また、光の進行方向の変化は、波長に応じて異なる。すなわち、散乱板 1 1 1 が上述のような構成とされることで、波面の各々の部位における光の進行方向が波長毎に変化する。すなわち、散乱板 1 1 1 の面が入射方向に対して斜め方向の向きに延在することで、散乱板 1 1 1 の面が入射方向に対して垂直となる方向の向きのみ延在する場合と比較して、波長毎の波面形状には大きな差異が与えられる。そして、この結果として、形状可変ミ

ラー 1 2 1 によって位相が揃えられる波長の数を増やすことが可能となる。

[0045] また、散乱板 1 1 1 の面（散乱板 1 1 1 を形成する複数の層の各々の面を含む）では、面の粗さが部位に応じて変えられてもよい。

[0046] 散乱板 1 1 1 の面や散乱板 1 1 1 を構成する複数の層の各々の面は、更にこれらの構造が組み合わされてもよい。すなわち、散乱板 1 1 1 の面は、部位によって面が延在する向きが異なってもよいし、部位によって厚さが異なってもよい。また、異なる材質の複数の散乱板が組み合わされて散乱板 1 1 1 が形成される場合には、各々について、面の部位によって面が延在する向きが異なってもよい。この場合には、面の部位によって各々の厚さが異なってもよい。

[0047] 図 7 の（A）から（C）の各々は、散乱板 1 1 1 の具体的な構成例の断面図を示す。図 7（A）は、散乱板 1 1 1 が材質 1 の 1 つの材質にて形成されている例を示す。また、図 7（B）は、散乱板 1 1 1 が材質 1 及び 2 の 2 つの異なる材質の層にて形成されている例を示す。同様に、図 7（C）は、散乱板 1 1 1 が材質 1 から 3 の 3 つの異なる材質の層にて形成されている例を示す。なお、図 7 の例では、平行光が、各々の散乱板 1 1 1 の左側から、散乱板 1 1 1 の左側の面に垂直となるように入射する場合を想定する。

[0048] 図 7（A）では、散乱板 1 1 1 の 1 つの面の形状が、平面状の形状とは異なる形状とされている。すなわち、図 7（A）の例では、散乱板 1 1 1 の 1 つの面の一部の形状が平行光の進行方向に対して斜めの方向を向くように形成されている。また、図 7（A）の例では、散乱板 1 1 1 の 1 つの面の一部の厚みが他の部分とは異なるように形成されている。一例として、図 7（A）の例では、散乱板 1 1 1 の図中下側の部分は、他の部分と比較して大きな厚みとされている。

[0049] また、図 7（B）及び（C）の例では、散乱板 1 1 1 の異なる材質の層が接する面の形状が、図 7（A）の例と同様に、平面状とは異なる形状とされている。このような形状とすることで、複数の波長の各々において、画素毎の光路長や光の進行方向に差異を与えることが可能となる。

- [0050] なお、図7の例では、材質1から3の各々の材質は特に制限されないが、例えばそれぞれ色分散が異なる材質が用いられる。上述のように、色分散が異なる材質が散乱板に用いられることで、波長毎の波面形状の差異を大きくすることが可能となる。
- [0051] なお、図7の各々の例では、散乱板111の断面図が示されている。しかしながら、各々の散乱板111の面等は、図中の奥行き方向に関しても上述した様々な構造を有してもよい。
- [0052] また、散乱板111によって、1つの画素の光が他の画素に入り込む程度に波面形状が変換されると、画素間でのクロストークが生じる可能性がある。これを回避するためには、各々の画素の光が他の画素に入り込まないように各々の画素の光の進行方向が定められる必要がある。
- [0053] 図8は、各々の画素における光の進行方向の条件に関する図である。復調部120が形状可変ミラー121である場合において、散乱板111での1つの画素の幅が c であり、散乱板111の形状可変ミラー121側の面から形状可変ミラー121の鏡面までの距離が s である場合を想定する。この場合に、散乱板111によって進行方向が変えられた場合における各々の画素の光の進行方向に対する角度 θ は、 $\tan(\theta) = c/s$ との関係を満たす必要がある。なお、この場合において、各々の画素へ入射する光は、例えばGRINレンズを用いたマイクロレンズアレイ等によって細径化されていることが想定される。
- [0054] 次に、復調部120について説明する。復調部120である形状可変ミラー121は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) や電磁的手法によって、鏡面の形状を変化させることが可能な鏡である。鏡面の形状が変化することで、形状可変ミラー121は、波面の位相を変化させる。
- [0055] 本実施形態では、形状可変ミラー121として、例えば以下のような形状可変ミラーが用いられる。形状可変ミラー121は、例えば、MEMSアクチュエータによって鏡の表面形状が変化する形状可変ミラーである。この場

合には、鏡面は1辺が4 mmの正形状であり、アクチュエータの数は144である。また、アクチュエータ間の距離は0.33 mmとなり、分解能（最短の動作距離）は1 nmである。アクチュエータの動作周波数は最大で8 kHzである。アクチュエータの作動距離（すなわち、鏡面が平面状となる場合に鏡面に垂直となる方向へのアクチュエータの移動距離）及びアクチュエータの間隔に基づいて鏡面の形状が求められる。

[0056] 復調部120が形状可変ミラー121である場合には、形状可変ミラー121の動作周波数に応じて、単位時間当たりに分光可能な波長数が定められる。上述のように、形状可変ミラー121の動作周波数が8 kHzである場合には、1秒間で8000バンドの処理が可能となる。例えば、二次元の画像に対して250バンドの分光が必要とされる場合には、約0.03秒で分光が行われる。すなわち、本実施形態における分光装置100では、復調部120として例えば形状可変ミラー121が用いられることで、形状可変ミラー121の動作周波数に応じた高速な分光が可能となる。

[0057] なお、復調部120は、形状可変ミラー121とは異なる種類の空間光変調器等にて実現されてもよい。例えば、復調部120として、液晶を用いた空間光変調器が用いられる。この場合には、液晶の制御によって、波長に応じて位相に遅延が与えられる。特定の波長光の波面に応じた遅延が与えられることで、当該特定の波長の光の位相が揃えられる。

[0058] また、復調部120は、位相シフト干渉法に基づく手法を用いて実現されてもよい。この場合には、予め求められた散乱板111による波長毎の位相の変化に基づいて、散乱板111による位相の変換に関する伝達関数が求められる。そして、この伝達関数に基づいて、散乱板111によって波長毎に波面形状が変換された光を撮像し、撮像された画像に対して、選択された特定の波長光の位相を変化させる処理が行われる。一連の処理は、PC (Personal Computer) 等の情報処理装置にて実現される。

[0059] すなわち、復調部120は、変調部110によって波長に応じて波面形状が変換された光のうち、選択された波長の光が平面波となるように位相を変

化させることが可能であればよい。この場合には、復調部 120 は、形状可変ミラー 121 とは異なる機構によって実現されてもよい。復調部 120 として用いられる機構は、必要とされる動作速度等やその他の条件に応じて適宜定められればよい。復調部 120 は、形状可変ミラー 121 のように、多数のバンドを高速に扱える機構であることが好ましい。

[0060] (復調部 120 の調整手順)

本実施形態における分光装置 100 では、特定の波長の光の位相を揃えるために、例えば復調部 120 として形状可変ミラー 121 が用いられる場合には波長に応じた形状可変ミラー 121 の鏡面の形状を定める必要がある。そして、形状可変ミラー 121 の鏡面の形状を定める際には、波長毎の波面形状の把握が必要となる。変調部 110 である散乱板 111 にて変換される波面形状は、波長毎に以下の手順にて求められる。図 9 は、復調部 120 の調整に際して用いられる構成の例を示す。

[0061] まず、平行光である特定の波長の単色光が散乱板 111 へ入射する。単色光は、例えば白色光をレンズ 15-1 等を介して分光光度計 17 へ入射する等によって得られる。そして、このように得られた単色光がレンズ 15-2 等を介してコリメータ 11 へ入射される等によって、平行光である単色光が得られる。平行光である単色光が散乱板 111 へ入射されると、単色光は、散乱板 111 によって波長に応じた波面形状へ変換される。

[0062] 続いて、波面形状が変換された単色光は、波面形状センサ 18 へ導入される。図 9 に示す例では、単色光は形状可変ミラー 121 を介して波面形状センサ 18 へ導入される。この例では、形状可変ミラー 121 は平面となるように制御される。なお、波面形状が変換された単色光は、形状可変ミラー 121 を介さずに直接に波面形状センサ 18 へ導入されてもよい。そして、波面形状センサ 18 によって、散乱板 111 によって変換された単色光の波面形状が求められる。

[0063] そして、波面形状が求められると、求められた波面形状に基づいて、当該単色光の波長の光を平面波とするような形状可変ミラー 121 の鏡面の形状

が求められる。この場合には、形状可変ミラー 1 2 1 の鏡面の形状は、既知の手法を用いて求められる。

[0064] 上述の動作が他の波長の単色光に対して行われることで、当該他の波長の単色光を平面波とするような形状可変ミラー 1 2 1 の鏡面の形状が求められる。他の波長の単色光は、分光光度計 1 7 の回折波長を変える等によって得られる。すなわち、上述の動作が複数の波長に対して繰返し行われることで、所望の複数の波長に対して形状可変ミラー 1 2 1 の鏡面の形状を定められる。

[0065] なお、異なる散乱板 1 1 1 が用いられる場合には、形状可変ミラー 1 2 1 の鏡面の形状が散乱板 1 1 1 の各々に対して求められる。また、復調部 1 2 0 として形状可変ミラー 1 2 1 以外の機構が用いられる場合において、復調部 1 2 0 が特定の波長の光の位相を変化させる際には、上述のように得られた波面形状に関する情報が適宜用いられる。

[0066] 以上のとおり、本実施形態における分光装置 1 0 0 は、散乱板 1 1 1 等の変調部 1 1 0 にて波長毎に波面形状が変換された光のうち、特定の波長の光の位相を復調部 1 2 0 が例えば平行光等の所定の状態となるように変化させる。このようにすることで、本実施形態における分光装置 1 0 0 は、特定の波長に対する画像の取得を可能とする。

[0067] また、復調部 1 2 0 には、形状可変ミラー 1 2 1 等が用いられる。形状可変ミラー 1 2 1 は、数 kHz の動作周波数での動作が可能である。すなわち、復調部 1 2 0 に形状可変ミラー 1 2 1 が用いられることで、分光装置 1 0 0 は、例えば一秒間に数千バンドの光の平面波を得ることを可能とする。

[0068] これに対して、既知のハイパースペクトルイメージング技術では、分光に際して、特定の波長を選択するフィルタの交換や、回折格子によって分光された光の走査等の動作が必要となる場合がある。波長毎の画像の取得に際してこれらの動作が必要となる場合には、1 つの波長の画像の取得に数秒程度の時間を要する場合がある。また、これらの動作のための機構が必要となる場合がある。

- [0069] すなわち、本実施形態における分光装置100は、高速な分光を可能とする。また、本実施形態における分光装置100を有する撮像装置10は、ハイパースペクトルイメージングのための多数の波長に対する画像を高速に得ることを可能とする。
- [0070] (分光装置及び撮像装置の適用例)
上述した分光装置100及び分光装置100を備える撮像装置10は、種々の分野へ適用される。
- [0071] 一例として、撮像装置10は、既存のハイパースペクトルイメージングのための装置と同様に用いられる。撮像装置10は、例えば衛星や航空機等に搭載されて、環境の調査等に用いられる。
- [0072] また、上述のように、撮像装置10は、ハイパースペクトルイメージングのための多数の波長に対する画像を高速に得ることを可能とする。そのため、撮像装置10は、高速な画像の取得が必要とされる用途に関して用いられる。
- [0073] 例えば、重要な施設の警備等に撮像装置10が用いられることで、目標物の迅速かつ詳細な識別や、識別された情報に基づく迅速な対策の立案が可能となる。
- [0074] 別の例として、化学プラント等の火災や工場等からの汚染物質の排出の調査等に関して撮像装置10が用いられることで、火災の発生箇所の特定、有毒な物質の拡散状況の観測や予測が可能となる。
- [0075] また、生命科学や食品科学等の分野に撮像装置10が用いられることで、細胞や微生物の内部で生じる化学反応等の詳細な分析が容易になる。特に、撮像装置10によって、これらの化学反応の時間的な経過の分析が容易になる。これと類似して、内視鏡等として撮像装置10が用いられる場合には、疾患や切除部位の検出や生体内の状態の高速な診断が可能となる。これによって、患者の苦痛の軽減が可能となる。
- [0076] 更に、赤外線検知が可能な撮像装置10が自動車等に搭載されることで、人体の放射波長特性に基づいた、運転中の周囲の人物の認識が可能となる。

。

[0077] この他に、撮像装置 10 が既存のハイパースペクトルイメージングのための装置と同様に用いられる場合においても、画像が高速に得られることで、運用の自由度が高められる。

[0078] また、分光装置 100 は、一般的な分光装置として用いられる。この場合においても、高速な分光が行われることで、処理の効率化が可能となる。

[0079] 以上、実施形態を参照して本発明を説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。また、各実施形態における構成は、本発明のスコープを逸脱しない限りにおいて、互いに組み合わせることが可能である。

[0080] この出願は、2016年10月12日に提出された日本出願特願2016-201022を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

[0081] この発明の一部又は全部は、以下の付記のようにも表されるが、以下に限られない。

(付記1)

波長に応じて光の波面形状を変換する変調手段と、
前記波面形状を変換された光のうち、選択された波長の光の位相を所定の状態となるように変化させる復調手段とを備える分光装置。

(付記2)

前記復調手段は、前記選択された波長の光の位相を平行光となるように変化させる、付記1に記載の分光装置。

(付記3)

前記変調手段は、波長毎の光路長が少なくとも一部で異なる散乱板である、付記1又は2に記載の分光装置。

(付記4)

前記散乱板は、前記光の進行方向に対する厚さが異なる部位を含む、付記

3に記載の分光装置。

(付記5)

前記散乱板の前記光が入射又は出射する面に凹凸が形成されている、付記3又は4に記載の分光装置。

(付記6)

前記散乱板は、波長に応じて前記光の進行方向を少なくとも一部で変化させる、付記3から5のいずれか一項に記載の分光装置。

(付記7)

前記散乱板は、前記光が入射又は出射する面が前記光の進行方向に対して斜めとなる方向に延在する部位を含む、付記3から6のいずれか一項に記載の分光装置。

(付記8)

前記散乱板は複数の層を有する、付記3から7のいずれか一項に記載の分光装置。

(付記9)

前記複数の層の少なくとも一つの層は、他の層と異なる材料で形成されている、付記8に記載の分光装置。

(付記10)

前記復調手段は空間光変調器である、付記1から9のいずれか一項に記載の分光装置。

(付記11)

前記空間光変調器は形状可変ミラーである、付記10に記載の分光装置。

(付記12)

前記空間光変調器は液晶空間光変調素子である、付記10に記載の分光装置。

(付記13)

前記復調手段は、位相シフト干渉法に基づいて前記位相を所定の状態となるように変化させる、付記1から9のいずれか一項に記載の分光装置。

(付記 1 4)

二次元の画像に関する光を第 1 の平行光とするコリメータと、
前記第 1 の平行光のうち、特定の波長の光の位相を平行光となるように変化させる付記 1 から 1 3 のいずれか一項に記載の分光装置と、
前記分光装置から出射する第 2 の平行光を結像させるピンホール光学系と、
、
前記第 2 の平行光を撮像するイメージセンサとを備える撮像装置。

符号の説明

[0082]	1 0 0	分光装置
	1 1 0	変調部
	1 2 0	復調部
	1 0	撮像装置
	1 1	コリメータ
	1 2	ピンホール光学系
	1 3	撮像素子
	1 5	レンズ
	1 6	ブロック

請求の範囲

- [請求項1] 波長に応じて光の波面形状を変換する変調手段と、
前記波面形状を変換された光のうち、選択された波長の光の位相を所定の状態となるように変化させる復調手段とを備える分光装置。
- [請求項2] 前記復調手段は、前記選択された波長の光の位相を平行光となるように変化させる、請求項1に記載の分光装置。
- [請求項3] 前記変調手段は、波長毎の光路長が少なくとも一部で異なる散乱板である、請求項1又は2に記載の分光装置。
- [請求項4] 前記散乱板は、前記光の進行方向に対する厚さが異なる部位を含む、請求項3に記載の分光装置。
- [請求項5] 前記散乱板の前記光が入射又は出射する面に凹凸が形成されている、請求項3又は4に記載の分光装置。
- [請求項6] 前記散乱板は、波長に応じて前記光の進行方向を少なくとも一部で変化させる、請求項3から5のいずれか一項に記載の分光装置。
- [請求項7] 前記散乱板は、前記光が入射又は出射する面が前記光の進行方向に対して斜めとなる方向に延在する部位を含む、請求項3から6のいずれか一項に記載の分光装置。
- [請求項8] 前記散乱板は複数の層を有する、請求項3から7のいずれか一項に記載の分光装置。
- [請求項9] 前記複数の層の少なくとも一つの層は、他の層と異なる材料で形成されている、請求項8に記載の分光装置。
- [請求項10] 前記復調手段は空間光変調器である、請求項1から9のいずれか一項に記載の分光装置。
- [請求項11] 前記空間光変調器は形状可変ミラーである、請求項10に記載の分光装置。
- [請求項12] 前記空間光変調器は液晶空間光変調素子である、請求項10に記載の分光装置。
- [請求項13] 前記復調手段は、位相シフト干渉法に基づいて前記位相を所定の状

態となるように変化させる、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の分光装置。

[請求項14]

二次元の画像に関する光を第 1 の平行光とするコリメータと、

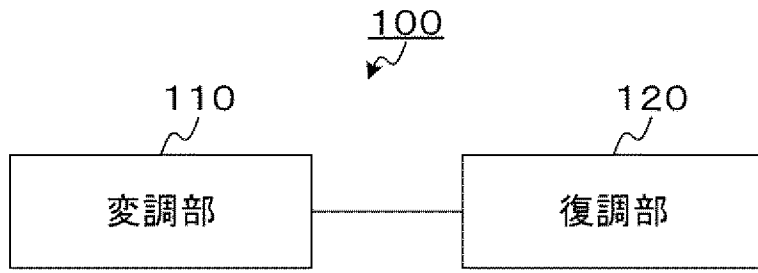
前記第 1 の平行光のうち、特定の波長の光の位相を平行光となるように変化させる請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の分光装置と

、

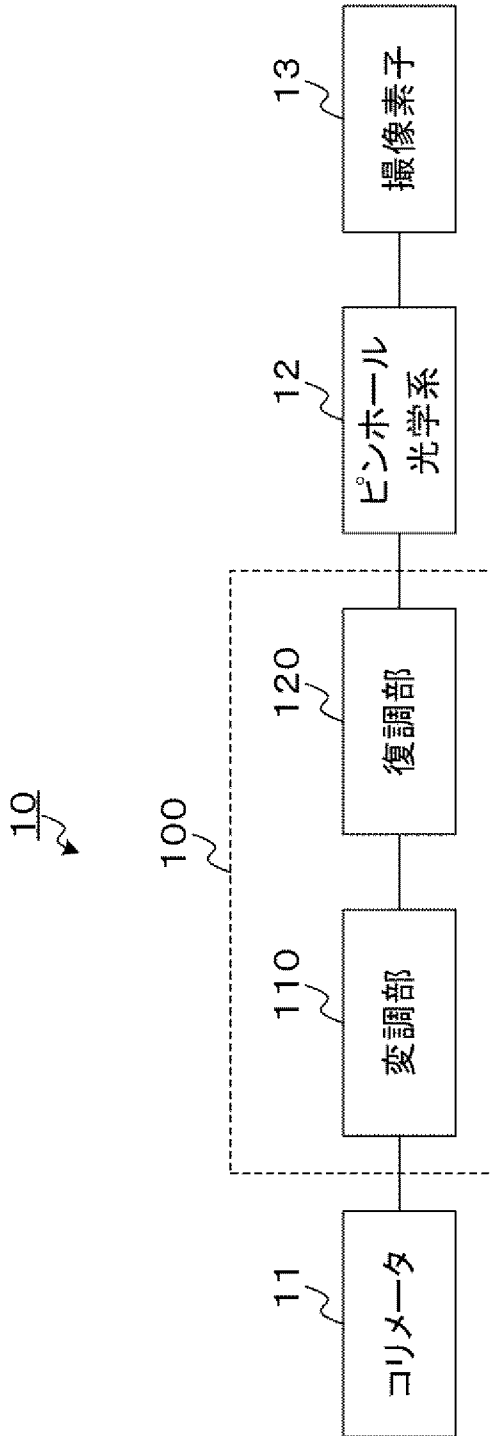
前記分光装置から出射する第 2 の平行光を結像させるピンホール光学系と、

前記第 2 の平行光を撮像するイメージセンサとを備える撮像装置。

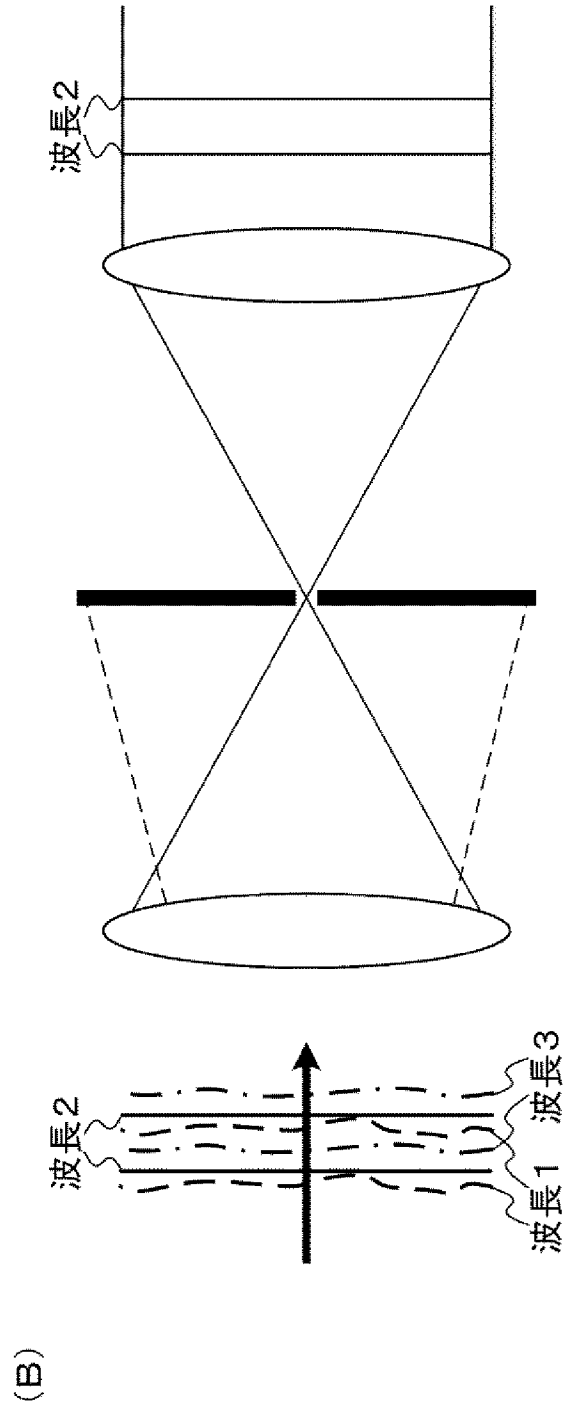
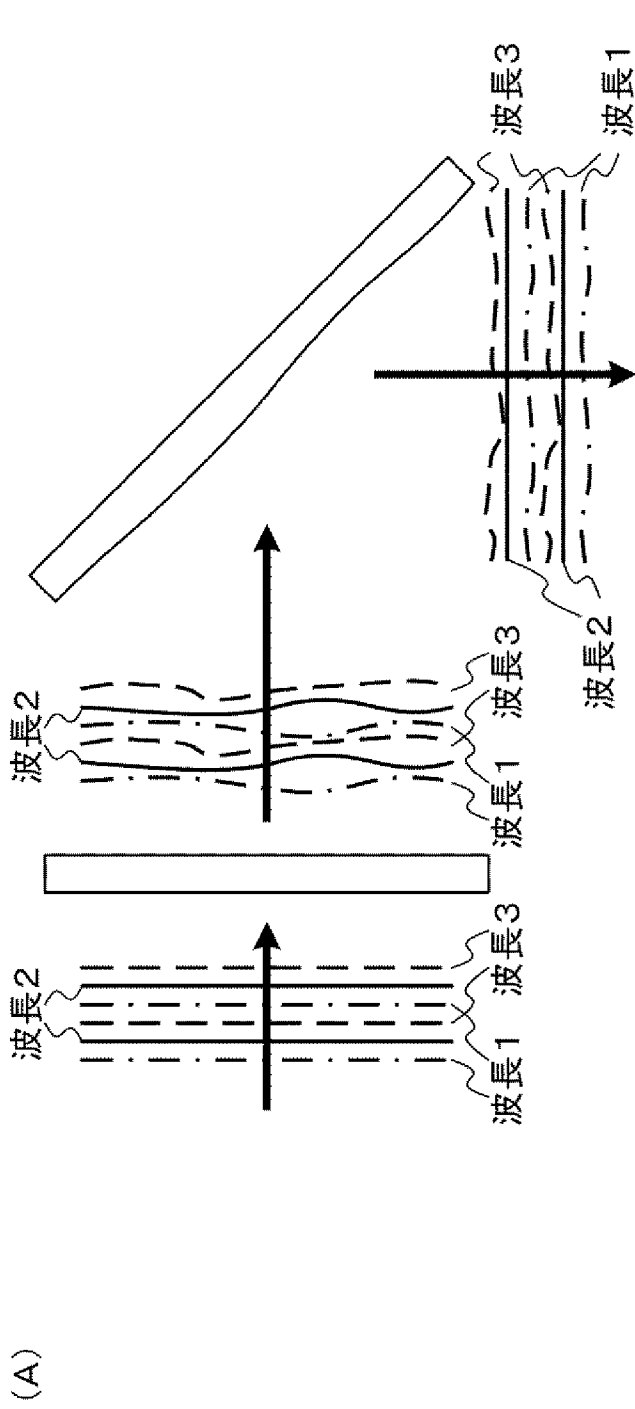
[図1]



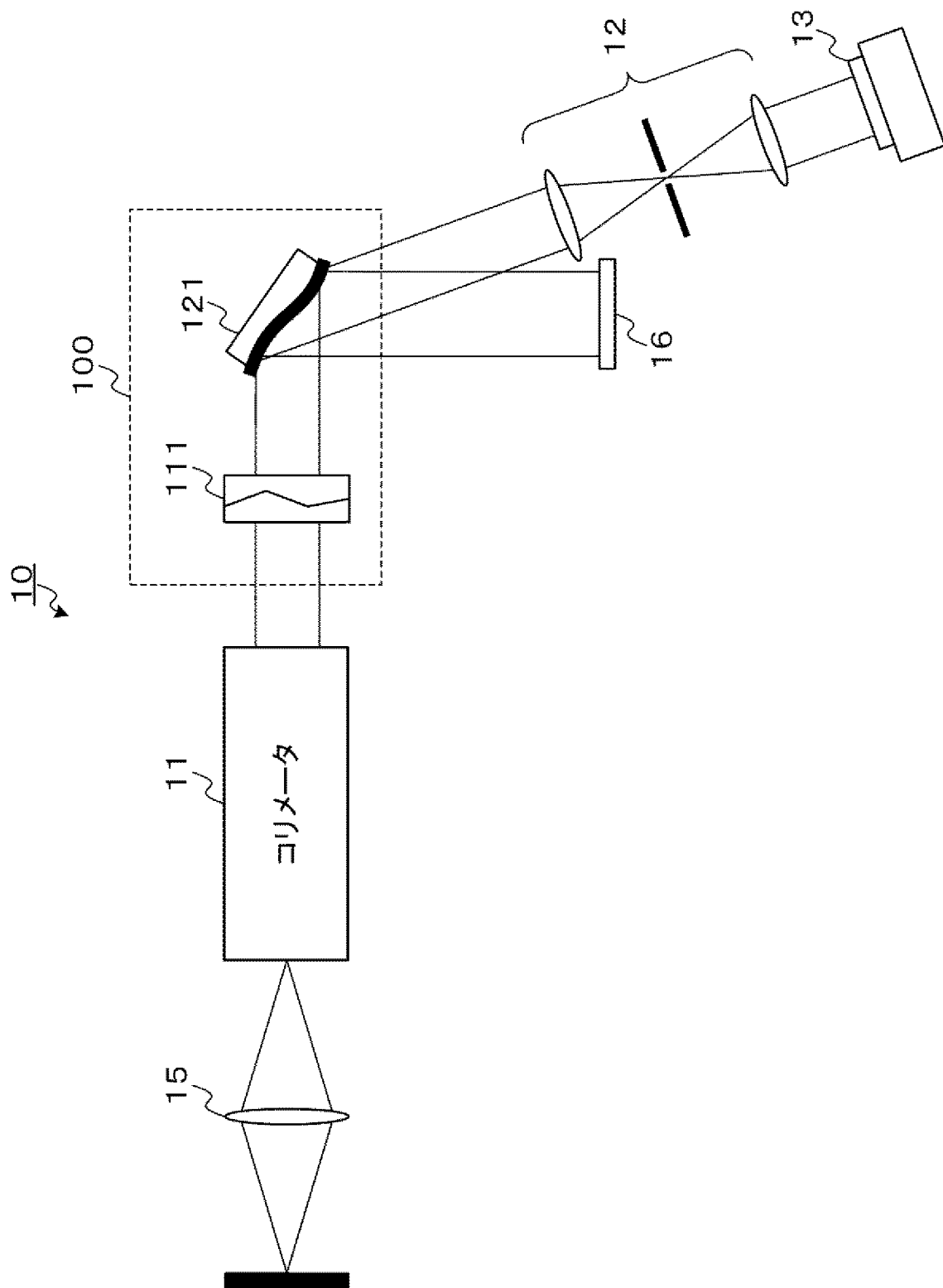
[図2]



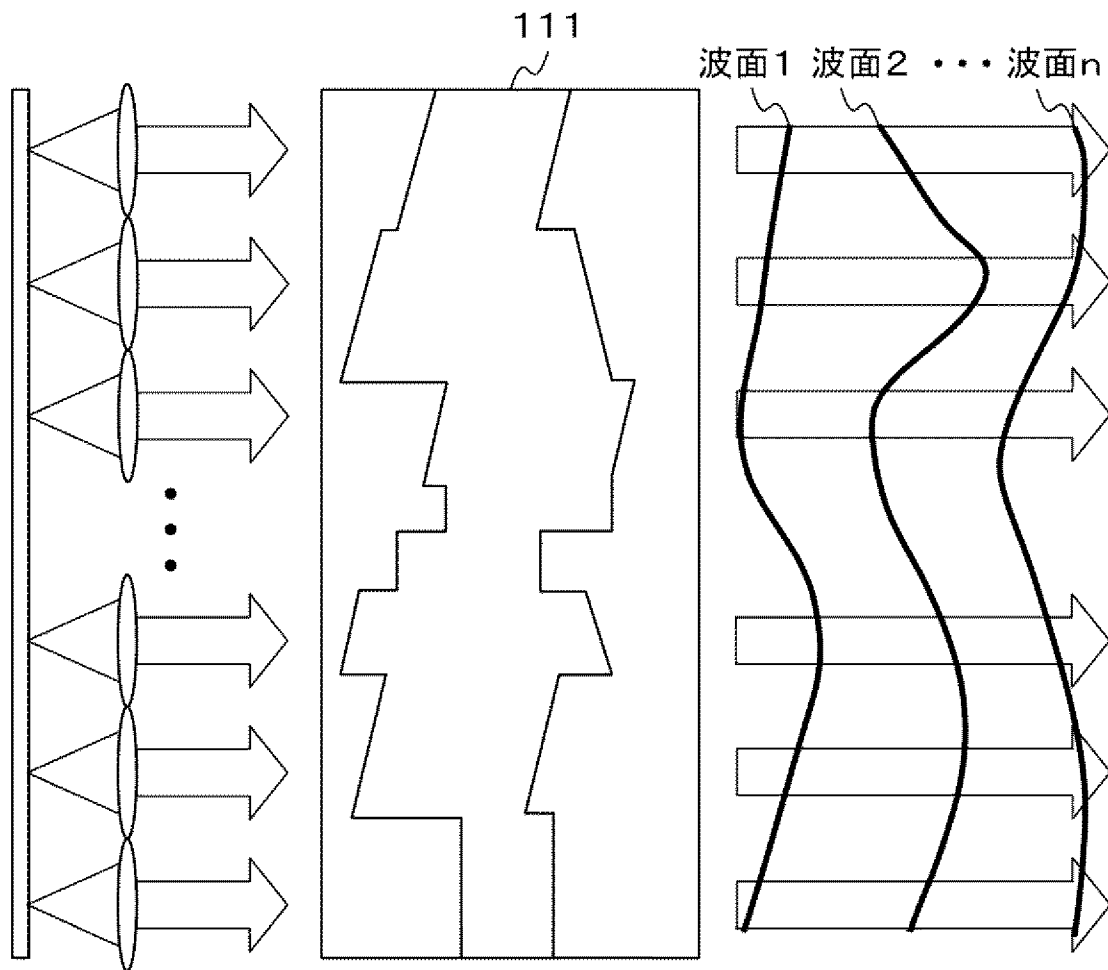
[図3]



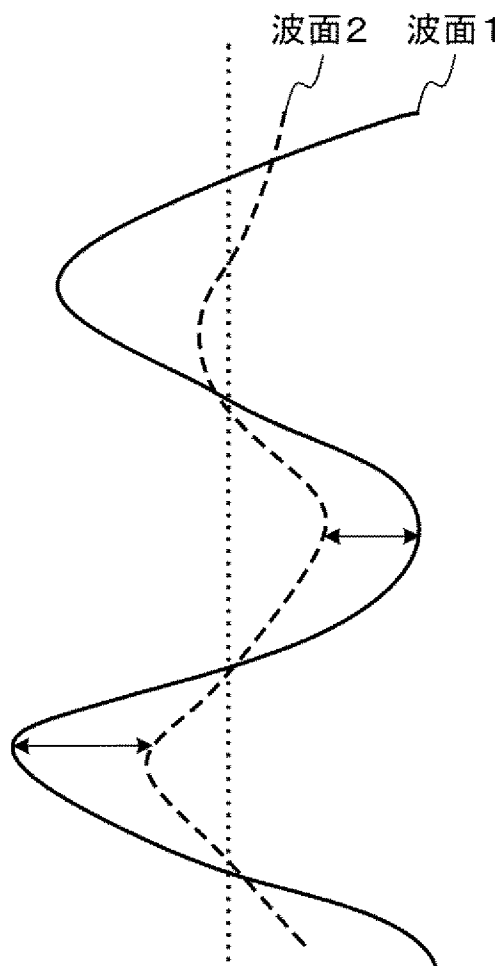
[図4]



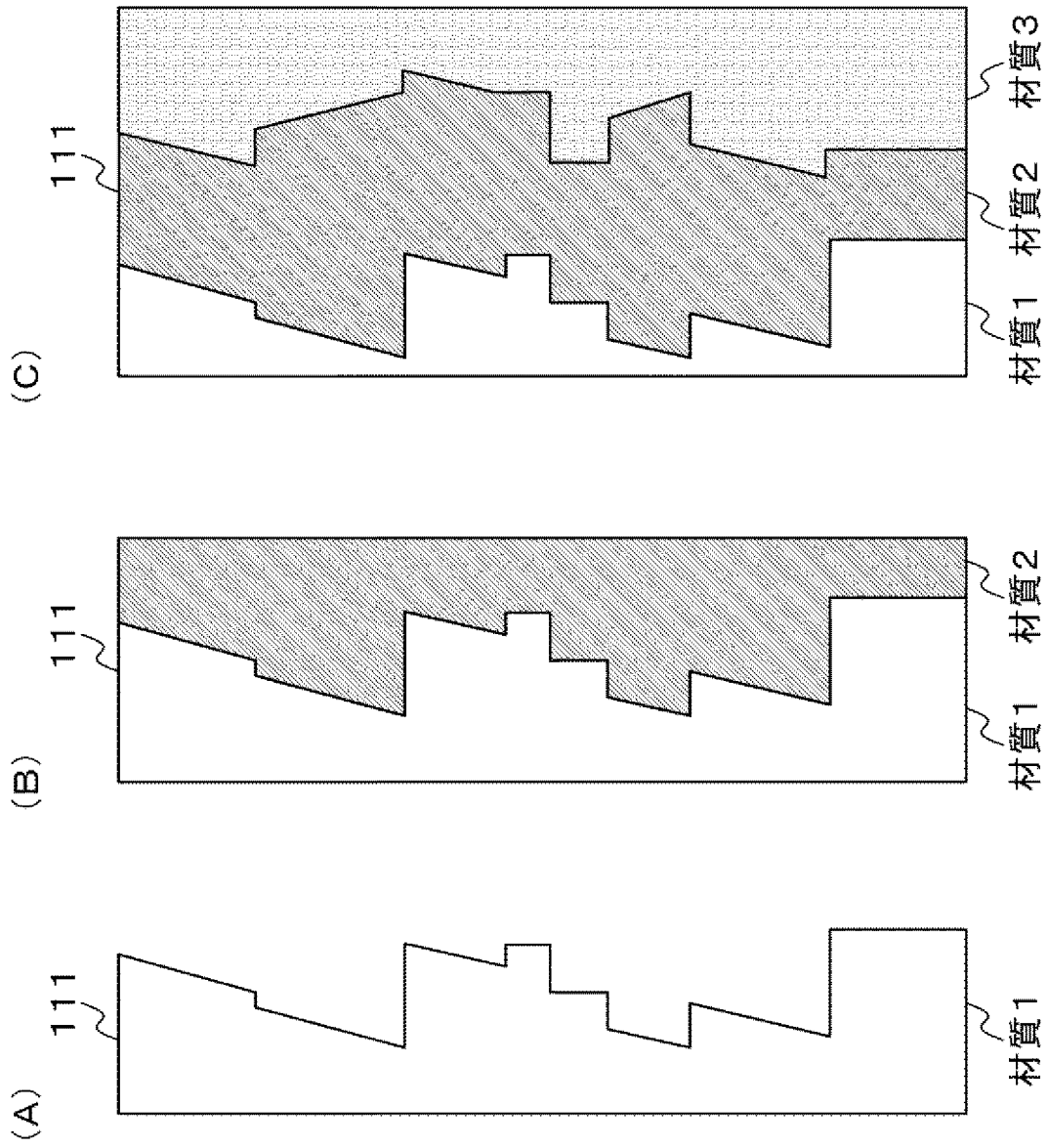
[図5]



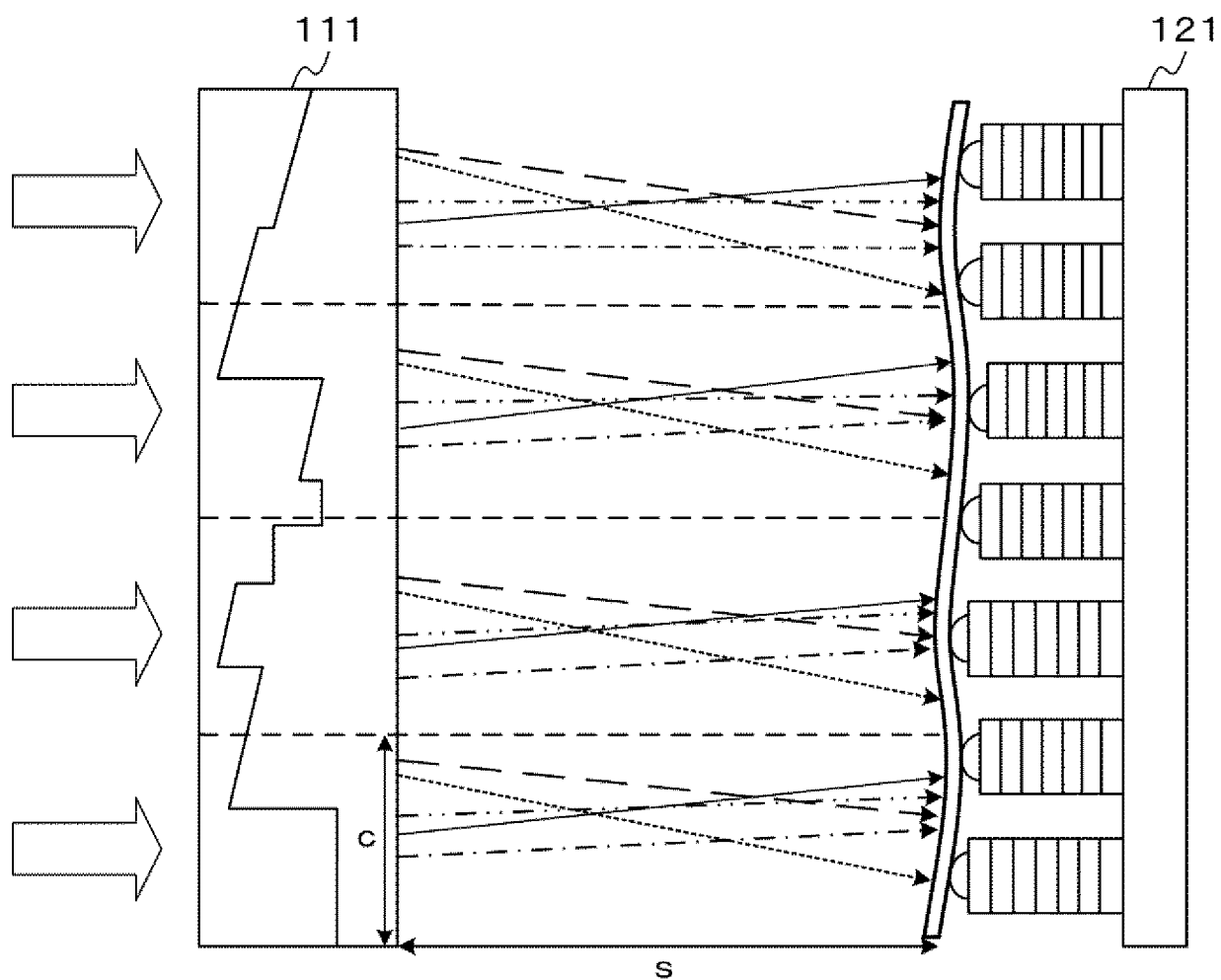
[図6]



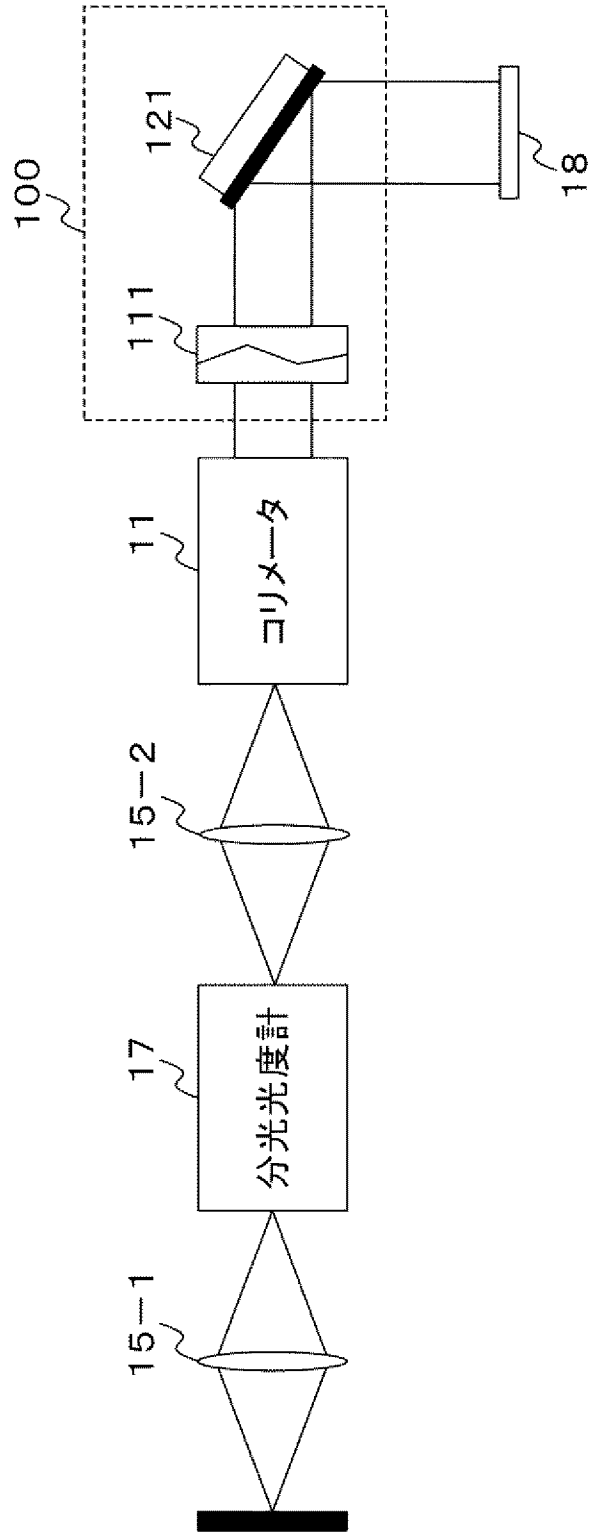
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/034067

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01J3/12(2006.01) i, G01J3/36(2006.01) i, G01J3/40(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)

G01J3/00-3/52, G01J4/00-4/04, G01J7/00, G01J9/00

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 1971-2017

Registered utility model specifications of Japan 1996-2017

Published registered utility model applications of Japan 1994-2017

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.
A	JP 2002-544553 A (CAMPUS TECHNOLOGIES AG) 24 December 2002 & WO 00/70302 A1	1-14
A	JP 2011-53150 A (NIKON CORP.) 17 March 2011 (Family: none)	1-14
A	JP 2005-512075 A (ZYGO CORP.) 28 April 2005 & US 2003/0160968 A1 & WO 03/050470 A2	1-14

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

Date of mailing of the international search report

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/JP2017/034067

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-36471 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 09 February 2001 (Family: none)	1-14
A	JP 2016-168192 A (CANON INC.) 23 September 2016 (Family: none)	1-14
A	WO 2016/056147 A1 (OLYMPUS CORP.) 14 April 2016 & US 2017/0176732 A1	1-14
A	JP 2002-525596 A (ISIS INNOVATION LIMITED) 13 August 2002 & US 6570143 B1 & WO 00/17612 A1	1-14
A	JP 2009-526984 A (ONERA) 23 July 2009 & US 2009/0051928 A1 & WO 2007/093748 A2 & FR 2897426 A1 & CA 2641943 A1 & CN 101384888 A	1-14
A	US 2003/0053052 A1 (BRAUN et al.) 20 March 2003 (Family: none)	1-14
A	CN 102818631 A (SHANGHAI INSTITUTE OF OPTICS AND FINE MECHANICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 12 December 2012 (Family: none)	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01J3/12(2006.01)i, G01J3/36(2006.01)i, G01J3/40(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, G01J9/00

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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/JST7580 (JDreamIII), Scopus, IEEE Xplore

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	JP 2002-544553 A (キャンパス テクノロジーズ アーゲー) 2002.12.24 & WO 00/70302 A1	1-14
A	JP 2011-53150 A (株式会社ニコン) 2011.03.17 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 2005-512075 A (ザイゴ コーポレーション) 2005.04.28 & US 2003/0160968 A1 & WO 03/050470 A2	1-14

☑ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 17.11.2017	国際調査報告の発送日 28.11.2017
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) 塚本 丈二 電話番号 03-3581-1101 内線 3258
	2W 3304

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
A	JP 2001-36471 A (三菱電機株式会社) 2001. 02. 09 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 2016-168192 A (キヤノン株式会社) 2016. 09. 23 (ファミリーなし)	1-14
A	WO 2016/056147 A1 (オリンパス株式会社) 2016. 04. 14 & US 2017/0176732 A1	1-14
A	JP 2002-525596 A (アイシス イノベーション リミテッド) 2002. 08. 13 & US 6570143 B1 & WO 00/17612 A1	1-14
A	JP 2009-526984 A (オーエヌウエールア) 2009. 07. 23 & US 2009/0051928 A1 & WO 2007/093748 A2 & FR 2897426 A1 & CA 2641943 A1 & CN 101384888 A	1-14
A	US 2003/0053052 A1 (BRAUN et al.) 2003. 03. 20 (ファミリーなし)	1-14
A	CN 102818631 A (中国科学院上海光学精密机械研究所) 2012. 12. 12 (ファミリーなし)	1-14