

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6014538号
(P6014538)

(45) 発行日 平成28年10月25日 (2016. 10. 25)

(24) 登録日 平成28年9月30日 (2016. 9. 30)

(51) Int. Cl.	F I
GO2B 27/28 (2006.01)	GO2B 27/28 Z
GO2F 1/13 (2006.01)	GO2F 1/13 505
GO2B 5/04 (2006.01)	GO2B 5/04 D
GO2B 5/30 (2006.01)	GO2B 5/30

請求項の数 11 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-79806 (P2013-79806)</p> <p>(22) 出願日 平成25年4月5日 (2013. 4. 5)</p> <p>(65) 公開番号 特開2014-202958 (P2014-202958A)</p> <p>(43) 公開日 平成26年10月27日 (2014. 10. 27)</p> <p>審査請求日 平成27年12月4日 (2015. 12. 4)</p> <p>(出願人による申告) 独立行政法人科学技術振興機構、 先端計測分析技術・機器開発プログラム、産業技術力強 化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 000236436 浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1</p> <p>(74) 代理人 100088155 弁理士 長谷川 芳樹</p> <p>(74) 代理人 100113435 弁理士 黒木 義樹</p> <p>(74) 代理人 100124291 弁理士 石田 悟</p> <p>(74) 代理人 100174399 弁理士 寺澤 正太郎</p> <p>(72) 発明者 井上 卓 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学モジュール、光観察装置、及び光照射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

s 偏光成分を反射して p 偏光成分を透過する光分岐面を有し、 p 偏光成分を含む入射光を前記光分岐面に受ける偏光ビームスプリッタと、

前記光分岐面を透過した前記入射光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第1の偏光素子と、

前記第1の偏光素子を通過した前記入射光を変調して第1の変調光を生成するとともに、前記第1の変調光を前記第1の偏光素子へ反射する第1の反射型空間光変調器と、

前記第1の偏光素子を再び通過し、前記光分岐面において反射された前記第1の変調光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第2の偏光素子と、

前記第2の偏光素子を通過した前記第1の変調光を変調して第2の変調光を生成するとともに、前記第2の変調光を前記第2の偏光素子へ反射する第2の反射型空間光変調器と、を備え、

前記第2の変調光は、前記第2の偏光素子を再び通過した後、前記光分岐面を透過して出力されることを特徴とする、光学モジュール。

【請求項2】

前記偏光ビームスプリッタが、

前記入射光を受ける光入射面と、

前記第2の変調光を出力する光出射面と、

前記第1の偏光素子と光学的に結合された第1の面と、

前記第 2 の偏光素子と光学的に結合された第 2 の面とを有することを特徴とする、請求項 1 に記載の光学モジュール。

【請求項 3】

前記光入射面と前記第 1 の面とが第 1 の方向に並んで配置されており、前記光出射面と前記第 2 の面とが、前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向に並んで配置されていることを特徴とする、請求項 2 に記載の光学モジュール。

【請求項 4】

前記光入射面と光学的に結合された第 3 の偏光素子を更に備え、前記第 3 の偏光素子は、前記入射光が p 偏光成分を含むように前記入射光の偏光面を回転させることを特徴とする、請求項 2 または 3 に記載の光学モジュール。

10

【請求項 5】

s 偏光成分を反射して p 偏光成分を透過する光分岐面を有し、s 偏光成分を含む入射光を前記光分岐面に受ける偏光ビームスプリッタと、

前記光分岐面において反射された前記入射光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第 1 の偏光素子と、

前記第 1 の偏光素子を通過した前記入射光を変調して第 1 の変調光を生成するとともに、前記第 1 の変調光を前記第 1 の偏光素子へ反射する第 1 の反射型空間光変調器と、

前記第 1 の偏光素子を再び通過し、前記光分岐面を透過した前記第 1 の変調光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第 2 の偏光素子と、

前記第 2 の偏光素子を通過した前記第 1 の変調光を変調して第 2 の変調光を生成するとともに、前記第 2 の変調光を前記第 2 の偏光素子へ反射する第 2 の反射型空間光変調器と、を備え、

20

前記第 2 の変調光は、前記第 2 の偏光素子を再び通過した後、前記光分岐面において反射されて出力されることを特徴とする、光学モジュール。

【請求項 6】

前記偏光ビームスプリッタが、

前記入射光を受ける光入射面と、

前記第 2 の変調光を出力する光出射面と、

前記第 1 の偏光素子と光学的に結合された第 1 の面と、

前記第 2 の偏光素子と光学的に結合された第 2 の面と

を有することを特徴とする、請求項 5 に記載の光学モジュール。

30

【請求項 7】

前記光入射面と前記光出射面とが第 1 の方向に並んで配置されており、

前記第 1 の面と前記第 2 の面とが、前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向に並んで配置されていることを特徴とする、請求項 6 に記載の光学モジュール。

【請求項 8】

前記光入射面と光学的に結合された第 3 の偏光素子を更に備え、

前記第 3 の偏光素子は、前記入射光が s 偏光成分を含むように前記入射光の偏光面を回転させることを特徴とする、請求項 6 または 7 に記載の光学モジュール。

40

【請求項 9】

前記偏光ビームスプリッタと前記第 1 の反射型空間光変調器との間、もしくは前記偏光ビームスプリッタと前記第 2 の反射型空間光変調器との間のうちいずれか一方に配置された 2 分の 1 波長板を更に備えることを特徴とする、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の光学モジュール。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載された光学モジュールと、

観察対象物が載置される載置台と、

前記観察対象物からの光を前記入射光として前記偏光ビームスプリッタに導く第 1 の導光光学系と、

前記偏光ビームスプリッタから出射された前記第 2 の変調光を導光する第 2 の導光光学

50

系と、

前記第2の導光光学系によって導かれた前記第2の変調光を撮像する撮像装置とを備えることを特徴とする、光観察装置。

【請求項11】

請求項1～9のいずれか一項に記載された光学モジュールと、照射対象物が載置される載置台と、前記偏光ビームスプリッタに入射する前記入射光を出力する光源と、前記偏光ビームスプリッタから出射された前記第2の変調光を前記照射対象物に導く導光光学系と

を備えることを特徴とする、光照射装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学モジュール、光観察装置、及び光照射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

非特許文献1には、2個の位相変調型の空間光変調器(Spatial Light Modulator; SLM)を用いたレンズレス光相関器が記載されている。この文献に記載された光相関器は、レーザ光を出力するHe-Neレーザ光源と、該レーザ光を変調する第1の反射型SLMと、第1の反射型SLMに対して平行に配置され、第1の反射型SLMから出力された光を更に変調する第2の反射型SLMと、第2の反射型SLMから出力された光を撮像するCCDカメラとを備えている。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】Xu Zeng, Takashi Inoue, Norihiro Fukuchi, and Jian Bai, "Parall ellensless optical correlator based on two phase-only spatial light modulators", OPTICSEXRESS, Volume 19, Number 13, pp.12594-12604, 20 June 2011

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

近年、SLMを用いて光の強度分布や位相分布を任意に変調し、レーザ加工、観察対象物の照明、レンズレス光相関器等に使用する技術が研究されている。このような技術において、例えば非特許文献1に記載されているように、2個以上のSLMが光学的に直列に配置される場合がある。例えば、一つのSLMに凸レンズ状の位相分布を表示し、別のSLMに凹レンズ状の位相分布を表示すると、平行光の光径を任意に拡大・縮小するビームエキスパンダを構成することができる。或いは、2つのSLMそれぞれに凸レンズ状の位相分布を表示すると、ズームレンズを構成することができる。

【0005】

一般的に、SLMには透過型と反射型とが存在する。上述したように2個のSLMを光学的に直列に配置する場合、透過型SLMを用いることによって構成が簡素になり、光学系全体を小型化することができる。しかしながら、透過型SLMは、反射型SLMと比較して光損失が大きく、SLMの数が多いほど、変調後の光の強度が低下するという問題がある。

40

【0006】

一方、反射型SLMを光学的に直列に配置する場合、従来方式では、変調面の法線に対して傾斜した方向から変調面に光が入射するように、複数の反射型SLMの相対位置および相対角度が調整される(例えば非特許文献1を参照)。このような配置では、複数の反射型SLMを含む光学系全体の構成が複雑となり、小型化が困難となる。

【0007】

50

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、複数のSLMが光学的に直列に配置される光学モジュール、光観察装置、及び光照射装置において、光学系全体の小型化を可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上述した課題を解決するために、本発明による第1の光学モジュールは、s偏光成分を反射してp偏光成分を透過する光分岐面を有し、p偏光成分を含む入射光を光分岐面に受ける偏光ビームスプリッタと、光分岐面を透過した入射光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第1の偏光素子と、第1の偏光素子を通過した入射光を変調して第1の変調光を生成するとともに、第1の変調光を第1の偏光素子へ反射する第1の反射型空間光変調器と、第1の偏光素子を再び通過し、光分岐面において反射された第1の変調光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第2の偏光素子と、第2の偏光素子を通過した第1の変調光を変調して第2の変調光を生成するとともに、第2の変調光を第2の偏光素子へ反射する第2の反射型空間光変調器と、を備え、第2の変調光は、第2の偏光素子を再び通過した後、光分岐面を透過して出力されることを特徴とする。

10

【0009】

また、本発明による第2の光学モジュールは、s偏光成分を反射してp偏光成分を透過する光分岐面を有し、s偏光成分を含む入射光を光分岐面に受ける偏光ビームスプリッタと、光分岐面において反射された入射光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第1の偏光素子と、第1の偏光素子を通過した入射光を変調して第1の変調光を生成するとともに、第1の変調光を第1の偏光素子へ反射する第1の反射型空間光変調器と、第1の偏光素子を再び通過し、光分岐面を透過した第1の変調光の偏光面を回転させる非相反性の光学活性を有する第2の偏光素子と、第2の偏光素子を通過した第1の変調光を変調して第2の変調光を生成するとともに、第2の変調光を第2の偏光素子へ反射する第2の反射型空間光変調器と、を備え、第2の変調光は、第2の偏光素子を再び通過した後、光分岐面において反射されて出力されることを特徴とする。

20

【0010】

これらの光学モジュールでは、一つの偏光ビームスプリッタの周囲に第1及び第2の反射型SLMが配置されている。そして、第1の反射型SLMへの入射光は偏光ビームスプリッタから入射し、変調後の光(第1の変調光)は偏光ビームスプリッタに向けて反射される。同様に、第2の反射型SLMへの入射光は偏光ビームスプリッタから入射し、変調後の光(第2の変調光)は偏光ビームスプリッタに向けて反射される。このような構成により、第1及び第2の反射型SLMの各変調面の法線方向に沿って入射光を入射させ且つ変調光を反射させることができるので、法線に対して傾斜した方向から入射光を入射させる構成(例えば非特許文献1を参照)と比較して、光学系全体の構成を簡素にでき、小型化が可能となる。

30

【0011】

また、偏光ビームスプリッタに代えて通常のビームスプリッタ(ハーフミラー等)を用いる方式も考えられる。しかし、例えば反射型SLMが平行配向ネマティック液晶を用いたものである場合、振動方向が液晶の配向方向と平行である直線偏光成分しか変調されないため、通常のビームスプリッタを用いて変調面の法線方向から光を入射させると、光利用効率(入射光強度と変調光強度との比)が極めて小さく(例えば25%未満に)になってしまう。これに対し、上記の光学モジュールによれば、偏光ビームスプリッタと第1及び第2の偏光素子とを組み合わせることによって、光利用効率を高く維持しつつ、変調面の法線方向から光を好適に入射させることができる。

40

【0012】

また、第1及び第2の光学モジュールは、偏光ビームスプリッタが、入射光を受ける光入射面と、第2の変調光を出力する光射出面と、第1の偏光素子と光学的に結合された第1の面と、第2の偏光素子と光学的に結合された第2の面とを有することを特徴としてもよい。そして、この場合、第1の光学モジュールでは、光入射面と第1の面とが第1の方

50

向に並んで配置され、光出射面と第2の面とが、第1の方向と交差する第2の方向に並んで配置されていることが好ましい。また、第2の光学モジュールでは、光入射面と光出射面とが第1の方向に並んで配置されており、第1の面と第2の面とが第2の方向に並んで配置されていることが好ましい。

【0013】

また、第1の光学モジュールでは、光入射面と光学的に結合された第3の偏光素子が、入射光がp偏光成分を含むように入射光の偏光面を回転させてもよい。また、第2の光学モジュールでは、光入射面と光学的に結合された第3の偏光素子が、入射光がs偏光成分を含むように入射光の偏光面を回転させてもよい。

【0014】

また、第1及び第2の光学モジュールは、偏光ビームスプリッタと第1の反射型空間光変調器との間、もしくは偏光ビームスプリッタと第2の反射型空間光変調器との間のうちいずれか一方に配置された2分の1波長板を更に備えることを特徴としてもよい。

【0015】

また、本発明による光観察装置は、上記いずれかの光学モジュールと、観察対象物が載置される載置台と、観察対象物からの光を入射光として偏光ビームスプリッタに導く第1の導光光学系と、偏光ビームスプリッタから出射された第2の変調光を導光する第2の導光光学系と、第2の導光光学系によって導かれた第2の変調光を撮像する撮像装置とを備えることを特徴とする。

【0016】

また、本発明による光照射装置は、上記いずれかの光学モジュールと、照射対象物が載置される載置台と、偏光ビームスプリッタに入射する入射光を出力する光源と、偏光ビームスプリッタから出射された第2の変調光を照射対象物に導く導光光学系とを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、複数のSLMが光学的に直列に配置される光学モジュール、光観察装置、及び光照射装置において、光学系全体の小型化を可能にできる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の第1実施形態に係る光学モジュールの構成を示す図である。

【図2】比較のため、第1実施形態の光学モジュールの光路を直線状に展開したときの等価光路を示す図である。

【図3】第1実施形態の一変形例として、光学モジュールの構成を示す図である。

【図4】本発明の第2実施形態に係る光学モジュールの構成を示す図である。

【図5】第2実施形態の一変形例として、光学モジュールの構成を示す図である。

【図6】本発明の第3実施形態に係る光学モジュールの構成を示す図である。

【図7】光観察装置の構成例を示す図である。

【図8】光照射装置の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、添付図面を参照しながら本発明による光学モジュールの実施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。

【0020】

(第1の実施の形態)

図1は、本発明の第1実施形態に係る光学モジュール1Aの構成を示す図である。なお、理解の容易のため、図1にはXYZ直交座標系が併せて示されている。また、図1では、理解の容易のため、光L2の光軸と光L3の光軸とが離れているが、実際には光L2の光軸と光L3の光軸とは一部で重なっている。光L2及び光L3についても同様である。図

10

20

30

40

50

1 に示されるように、この光学モジュール 1 A は、偏光ビームスプリッタ 1 0 と、第 1 の偏光素子 2 0 と、第 1 の反射型 S L M 3 0 と、第 2 の偏光素子 4 0 と、第 2 の反射型 S L M 5 0 とを備えている。

【 0 0 2 1 】

偏光ビームスプリッタ 1 0 は、光分岐面 1 1 を有する光学部品である。光分岐面 1 1 は、第 1 の方向（本実施形態では X 軸方向）、及び第 1 の方向と交差する第 2 の方向（本実施形態では Y 軸方向）の双方に対して傾斜しており、その傾斜角は例えば 4 5 ° である。光分岐面 1 1 は、これらの方向から入射した光の s 偏光成分を反射し、p 偏光成分を透過する。光分岐面 1 1 は、光学モジュール 1 A の外部から X 軸方向に沿って入射された入射光 L 1 を受ける。この入射光 L 1 は、p 偏光成分を含む光であって、好ましくは p 偏光成分のみから成る直線偏光状態の光である。

10

【 0 0 2 2 】

また、X Y 平面に沿った偏光ビームスプリッタ 1 0 の断面形状は矩形状を呈している。そして、偏光ビームスプリッタ 1 0 は、この断面に現れる光入射面 1 2、光出射面 1 3、第 1 の面 1 4 および第 2 の面 1 5 を有している。光入射面 1 2 は、X 軸方向と交差する平面に沿っており、入射光 L 1 を受ける。光出射面 1 3 は、Y 軸方向と交差する平面に沿っており、変調光 L 3 を出力する。第 1 の面 1 4 は X 軸方向と交差する平面に沿っており、光入射面 1 2 及び第 1 の面 1 4 は X 軸方向に並んで配置されている。第 2 の面 1 5 は Y 軸方向と交差する平面に沿っており、光出射面 1 3 及び第 2 の面 1 5 は Y 軸方向に並んで配置されている。これら 4 つの面のうち、光入射面 1 2 および光出射面 1 3 は光分岐面 1 1

20

【 0 0 2 3 】

第 1 の偏光素子 2 0 は、偏光ビームスプリッタ 1 0 の第 1 の面 1 4 と光学的に結合されている。換言すれば、第 1 の偏光素子 2 0 は、偏光ビームスプリッタ 1 0 の光分岐面 1 1 に対して X 軸方向に並んで配置されている。第 1 の偏光素子 2 0 は、光分岐面 1 1 を透過した入射光 L 1 の偏光面を回転させるための非相反性の光学活性を有する。ここで、非相反性の光学活性とは、順方向に進む光の回転の向きと、逆方向に進む光の回転の向きとが互いに等しい非相反的な偏光特性を意味する。例えば、或る方向から第 1 の偏光素子 2 0 を通過した光の偏光面が所定の向きに 4 5 ° 回転する場合、逆方向から第 1 の偏光素子 2 0 を通過した光の偏光面は、上記の所定の向きに更に 4 5 ° 回転する。この場合、第 1 の偏光素子 2 0 を光が往復すると、その光の偏光面は 9 0 ° 回転することとなる。第 1 の偏光素子 2 0 は、一例ではファラデーロータータによって好適に構成される。

30

【 0 0 2 4 】

なお、光学結晶から成る 2 分の 1 波長板も通過光の偏光面を回転させるものであるが、2 分の 1 波長板では順方向に進む光の回転の向きと逆方向に進む光の回転の向きとが互いに逆である相反性の光学活性を有するため、光が往復すると、その光の偏光面は元に戻ってしまう。したがって、2 分の 1 波長板は、非相反性の光学活性を有しておらず、第 1 の偏光素子 2 0 としては用いられない。

【 0 0 2 5 】

40

第 1 の反射型 S L M 3 0 は、第 1 の偏光素子 2 0 を通過した入射光 L 1 を変調して第 1 の変調光 L 2 を生成するとともに、第 1 の変調光 L 2 を第 1 の偏光素子 2 0 へ反射する。第 1 の反射型 S L M 3 0 としては、位相変調型、強度変調（振幅変調）型、或いは偏光変調型といった種々の S L M が適用される。第 1 の反射型 S L M 3 0 は、一次元又は二次元に配列された複数の領域（画素）を含む変調面 3 1 を有する。第 1 の反射型 S L M 3 0 は、その複数の領域毎に入射光 L 1 の位相、強度等を変調することにより、第 1 の変調光 L 2 を生成する。一例では、第 1 の反射型 S L M 3 0 は、平行配向ネマティック液晶を有する L C O S（Liquid Crystal on Silicon）型の S L M である。第 1 の反射型 S L M 3 0 は、電気アドレス型の液晶素子に限られず、例えば光アドレス型の液晶素子や、可変鏡型の光変調器であってもよい。

50

【 0 0 2 6 】

第2の偏光素子40は、偏光ビームスプリッタ10の第2の面15と光学的に結合されている。換言すれば、第2の偏光素子40は、偏光ビームスプリッタ10の光分岐面11に対してY軸方向に並んで配置されている。第2の面15からは、第1の反射型SLM30から出射されたのち第1の偏光素子20を再び通過し、光分岐面11においてY軸方向に反射された第1の変調光L2が出射される。第2の偏光素子40は、第2の面15から出射される第1の変調光L2の偏光面を回転させるための非相反性の光学活性を有する。なお、非相反性の光学活性の定義は前述した第1の偏光素子20と同様である。第2の偏光素子40は、一例ではファラデーロータータによって好適に構成される。

【 0 0 2 7 】

第2の反射型SLM50は、第2の偏光素子40を通過した第1の変調光L2を変調して第2の変調光L3を生成するとともに、第2の変調光L3を第2の偏光素子40へ反射する。第2の反射型SLM50としては、第1の反射型SLM30と同様に、位相変調型、強度変調（振幅変調）型、或いは偏光変調型といった種々のSLMが適用される。第2の反射型SLM50は、一次元又は二次元に配列された複数の領域（画素）を含む変調面51を有する。第2の反射型SLM50は、その複数の領域毎に第1の変調光L2の位相、強度等を変調することにより、第2の変調光L3を生成する。一例では、第2の反射型SLM50は、平行配向ネマティック液晶を有するLCOS型のSLMである。第2の反射型SLM50は、電気アドレス型の液晶素子に限られず、例えば光アドレス型の液晶素子や、可変鏡型の光変調器であってもよい。

【 0 0 2 8 】

なお、反射型SLM30、50がLCOS型のSLMである場合、振動方向が液晶の配向方向と平行である直線偏光成分しか変調されないため、偏光素子20、40による回転後の偏光面の角度に合わせて反射型SLM30、50を配置するとよい。

【 0 0 2 9 】

以上の構成を備える光学モジュール1Aの動作について、図1を参照しつつ説明する。X軸方向に沿って偏光ビームスプリッタ10の光入射面12に入射した入射光L1は、光分岐面11を透過し、第1の面14から出射される。次に、入射光L1は第1の偏光素子20を通過する。このとき、入射光L1の偏光面は、第1の偏光素子20によってp偏光面から所定の向きに例えば45°回転する。その後、入射光L1は、第1の反射型SLM30によって変調されて第1の変調光L2と成り、同時に第1の偏光素子20に向けて反射される。第1の変調光L2は、第1の偏光素子20を再び通過する。このとき、第1の変調光L2の偏光面は、第1の偏光素子20によって上記所定の向きに例えば45°回転する。その結果、第1の変調光L2はs偏光成分を主に含む（或いは、s偏光成分のみから成る）こととなる。これにより、第1の変調光L2は、光分岐面11において反射され、第2の面15から出射される。

【 0 0 3 0 】

続いて、第1の変調光L2は第2の偏光素子40を通過する。このとき、第1の変調光L2の偏光面は、第2の偏光素子40によってs偏光面から所定の向きに例えば45°回転する。その後、第1の変調光L2は、第2の反射型SLM50によって変調されて第2の変調光L3と成り、同時に第2の偏光素子40に向けて反射される。第2の変調光L3は、第2の偏光素子40を再び通過する。このとき、第2の変調光L3の偏光面は、第2の偏光素子40によって上記所定の向きに例えば45°回転する。その結果、第2の変調光L3はp偏光成分を主に含む（或いは、p偏光成分のみから成る）こととなる。これにより、第2の変調光L3は、光分岐面11を透過し、光出射面13から光学モジュール1Aの外部へ出力される。

【 0 0 3 1 】

以上に説明した本実施形態の光学モジュール1Aによって得られる効果について説明する。光学モジュール1Aでは、一つの偏光ビームスプリッタ10の周囲に2つの反射型SLM30、50が配置されている。そして、第1の反射型SLM30への入射光（入射光

10

20

30

40

50

L 1) は偏光ビームスプリッタ 10 から入射し、変調後の光 (第 1 の変調光 L 2) は偏光ビームスプリッタ 10 に向けて反射される。同様に、第 2 の反射型 SLM 50 への入射光 (第 1 の変調光 L 2) は偏光ビームスプリッタ 10 から入射し、変調後の光 (第 2 の変調光 L 3) は偏光ビームスプリッタ 10 に向けて反射される。このような構成により、反射型 SLM 30, 50 の各変調面 31, 51 の法線方向に沿って光を入射及び反射させることができるので、光軸の調整が容易であり、SLM への入射効率、および SLM からの出射効率を高めることができる。したがって、この光学モジュール 1A によれば、光利用効率を高めることができる。また、入射光 L 1 の光軸と出射光 (第 2 の変調光 L 3) の光軸とが斜めではなく直角であるため、他の光学系との接続を容易にすることができ、また収差の発生を低減することができる。更に、一部の光路において光を往復させるので、光学系全体の構成を簡素にでき、小型化が可能となる。なお、図 2 は、比較のため、光学モジュール 1A の光路を直線状に展開したときの等価光路を示す図である。図 2 に示された構成と比較して、本実施形態の光学モジュール 1A が小型に構成されていることがわかる。

10

【0032】

また、本実施形態とは異なる方式として、偏光ビームスプリッタ 10 に代えて通常のビームスプリッタ (ハーフミラー等) を用いる方式も考えられる。しかし、例えば反射型 SLM 30, 50 が平行配向ネマティック液晶を用いたものである場合、振動方向が液晶の配向方向と平行である直線偏光成分しか変調されないため、通常のビームスプリッタを用いて変調面の法線方向から光を入射させると、光利用効率が極めて小さく (例えば 25% 未満に) になってしまう。これに対し、本実施形態の光学モジュール 1A によれば、偏光ビームスプリッタ 10 と第 1 及び第 2 の偏光素子 20, 40 とを組み合わせることで、光利用効率を高く維持しつつ、変調面 31, 51 の法線方向から入射光 L 1 及び第 1 の変調光 L 2 を好適に入射させることができる。

20

【0033】

(第 1 の変形例)

図 3 は、上記実施形態の一変形例として、光学モジュール 1B の構成を示す図である。この光学モジュール 1B は、図 1 に示された光学モジュール 1A の構成に加えて、第 3 の偏光素子 60 を更に備えている。第 3 の偏光素子 60 は、偏光ビームスプリッタ 10 の光入射面 12 と光学的に結合されており、入射光 L 1 が p 偏光成分を含むように、入射光 L 1 の偏光面を回転させる。なお、第 3 の偏光素子 60 としては、第 1 及び第 2 の偏光素子 20, 40 と同様に、非相反性の光学活性を有する偏光素子として、例えばファラデーローテータを適用することができる。本変形例によれば、入射光 L 1 の偏光面を調整して、光分岐面 11 を好適に透過させることができる。

30

【0034】

また、図 3 に示される光学モジュール 1B は、上記実施形態の光学モジュール 1A の構成に加えて、相反性の光学活性を有する偏光素子である 1/2 波長板 16 を更に備えている。本変形例では、1/2 波長板 16 は偏光ビームスプリッタ 10 と第 1 の反射型 SLM 30 との間の光路上に配置されており、図には偏光ビームスプリッタ 10 と第 1 の偏光素子 20 との間の光路上に配置された例が示されている。

【0035】

この例において、偏光ビームスプリッタ 10 の光分岐面 11 を透過した入射光 L 1 は、1/2 波長板 16 を通過する。このとき、入射光 L 1 の偏光面は、1/2 波長板 16 によって p 偏光面から或る回転方向に 90° 回転する。その後、入射光 L 1 は、第 1 の偏光素子 20 と第 1 の反射型 SLM 30 との間を往復して第 1 の変調光 L 2 となり、1/2 波長板 16 を再び通過する。このとき、第 1 の変調光 L 2 の偏光面は、1/2 波長板 16 によって上記とは逆の向きに 90° 回転する。その結果、偏光ビームスプリッタ 10 に入射するときの第 1 の変調光 L 2 の偏光面は、s 偏光成分を主に含む (或いは、s 偏光成分のみから成る) こととなる。これにより、第 1 の変調光 L 2 は、光分岐面 11 において反射され、第 2 の面 15 から出射される。

40

【0036】

50

本変形例では、第1の反射型SLM30に入射する際の入射光L1の偏光面を90°回転させている。これにより、第1の反射型SLM30に入射する直前の入射光L1の偏光面の角度を任意に制御することができる。したがって、例えば第1及び第2の反射型SLM30, 50が液晶型SLMである場合に、第1の反射型SLM30の液晶の配向方向を任意に設定することができる。これにより、例えば第1の反射型SLM30の液晶の配向方向と第2の反射型SLM50の液晶の配向方向とを揃える(互いに平行にする)ことが可能となり、第1及び第2の反射型SLM30, 50のそれぞれに入力される変調データを共通化することが可能になる。

【0037】

なお、1/2波長板16は、第1の偏光素子20と第1の反射型SLM30との間の光路上に配置されてもよく、或いは、偏光ビームスプリッタ10と第2の反射型SLM50との間(偏光ビームスプリッタ10と第2の偏光素子40との間、もしくは第2の偏光素子40と第2の反射型SLM50との間)の光路上に配置されてもよい。1/2波長板16が偏光ビームスプリッタ10と第2の反射型SLM50との間の光路上に配置される場合、第2の反射型SLM50に入射する直前の第1の変調光L2の偏光面の角度を任意に制御することができ、上述した効果を同様に奏することができる。

【0038】

(第2の実施の形態)

図4は、本発明の第2実施形態に係る光学モジュール1Cの構成を示す図である。なお、理解の容易のため、図4にはXYZ直交座標系が併せて示されている。また、図4では、理解の容易のため、光L4の光軸と光L5の光軸とが離れているが、実際には光L4の光軸と光L5の光軸とは一部で重なっている。光L5及び光L6についても同様である。図4に示されるように、この光学モジュール1Cは、偏光ビームスプリッタ70と、第1の偏光素子22と、第1の反射型SLM32と、第2の偏光素子42と、第2の反射型SLM52とを備えている。

【0039】

偏光ビームスプリッタ70は、光分岐面71を有する光学部品である。光分岐面71は、第1の方向(本実施形態ではX軸方向)、及び第1の方向と交差する第2の方向(本実施形態ではY軸方向)の双方に対して傾斜しており、その傾斜角は例えば45°である。光分岐面71は、これらの方向から入射した光のs偏光成分を反射し、p偏光成分を透過する。光分岐面71は、光学モジュール1Cの外部からX軸方向に沿って入射された入射光L4を受ける。この入射光L4は、s偏光成分を含む光であって、好ましくはs偏光成分のみから成る直線偏光状態の光である。

【0040】

本実施形態の偏光ビームスプリッタ70としては、第1実施形態の偏光ビームスプリッタ10と同じものが使用され得るが、偏光ビームスプリッタ10とは光分岐面の向きが異なっている。具体的には、XY平面に沿った偏光ビームスプリッタ70の断面形状は矩形状を呈しており、偏光ビームスプリッタ70は、この断面に現れる光入射面72、光出射面73、第1の面74および第2の面75を有している。光入射面72は、X軸方向と交差する平面に沿っており、入射光L4を受ける。光出射面73はX軸方向と交差する平面に沿っており、光入射面72及び光出射面73はX軸方向に並んで配置されている。第1の面74は、Y軸方向と交差する平面に沿っている。第2の面75はY軸方向と交差する平面に沿っており、第1の面74及び第2の面75はY軸方向に並んで配置されている。これら4つの面のうち、光入射面72および第1の面74は光分岐面71の一方の面側に配置されており、光出射面73および第2の面75は光分岐面71の他方の面側に配置されている。

【0041】

第1の偏光素子22は、偏光ビームスプリッタ70の第1の面74と光学的に結合されている。換言すれば、第1の偏光素子22は、偏光ビームスプリッタ70の光分岐面71に対してY軸方向に並んで配置されている。第1の偏光素子22は、光分岐面71を透過

10

20

30

40

50

した入射光 L 4 の偏光面を回転させるための非相反性の光学活性を有する。なお、非相反性の光学活性の定義は、第 1 実施形態の第 1 の偏光素子 2 0 と同様である。第 1 の偏光素子 2 2 は、一例ではファラデーローテータによって好適に構成される。

【 0 0 4 2 】

第 1 の反射型 S L M 3 2 は、第 1 の偏光素子 2 2 を通過した入射光 L 4 を変調して第 1 の変調光 L 5 を生成するとともに、第 1 の変調光 L 5 を第 1 の偏光素子 2 2 へ反射する。第 1 の反射型 S L M 3 2 としては、位相変調型、強度変調（振幅変調）型、或いは偏光変調型といった種々の S L M が適用される。第 1 の反射型 S L M 3 2 は、一次元又は二次元に配列された複数の領域（画素）を含む変調面 3 3 を有する。第 1 の反射型 S L M 3 2 は、その複数の領域毎に入射光 L 4 の位相、強度等を変調することにより、第 1 の変調光 L 5 を生成する。一例では、第 1 の反射型 S L M 3 2 は、平行配向ネマティック液晶を有する L C O S 型の S L M である。第 1 の反射型 S L M 3 2 は、電気アドレス型の液晶素子に限られず、例えば光アドレス型の液晶素子や、可変鏡型の光変調器であってもよい。

10

【 0 0 4 3 】

第 2 の偏光素子 4 2 は、偏光ビームスプリッタ 7 0 の第 2 の面 7 5 と光学的に結合されている。換言すれば、第 2 の偏光素子 4 2 は、第 1 の偏光素子 2 2 との間に偏光ビームスプリッタ 7 0 の光分岐面 7 1 が位置するように、光分岐面 7 1 に対して Y 軸方向に並んで配置されている。第 2 の面 7 5 からは、第 1 の反射型 S L M 3 2 から出射されたのち第 1 の偏光素子 2 2 を再び通過し、光分岐面 7 1 を透過した第 1 の変調光 L 5 が出射される。第 2 の偏光素子 4 2 は、第 2 の面 7 5 から出射される第 1 の変調光 L 5 の偏光面を回転させるための非相反性の光学活性を有する。なお、非相反性の光学活性の定義は第 1 実施形態の第 1 の偏光素子 2 0 と同様である。第 2 の偏光素子 4 2 は、一例ではファラデーローテータによって好適に構成される。

20

【 0 0 4 4 】

第 2 の反射型 S L M 5 2 は、第 2 の偏光素子 4 2 を通過した第 1 の変調光 L 5 を変調して第 2 の変調光 L 6 を生成するとともに、第 2 の変調光 L 6 を第 2 の偏光素子 4 2 へ反射する。第 2 の反射型 S L M 5 2 としては、第 1 の反射型 S L M 3 2 と同様に、位相変調型、強度変調（振幅変調）型、或いは偏光変調型といった種々の S L M が適用される。第 2 の反射型 S L M 5 2 は、一次元又は二次元に配列された複数の領域（画素）を含む変調面 5 3 を有する。第 2 の反射型 S L M 5 2 は、その複数の領域毎に第 1 の変調光 L 5 の位相、強度等を変調することにより、第 2 の変調光 L 6 を生成する。一例では、第 2 の反射型 S L M 5 2 は、平行配向ネマティック液晶を有する L C O S 型の S L M である。なお、第 2 の反射型 S L M 5 2 は、電気アドレス型の液晶素子に限られず、例えば光アドレス型の液晶素子や、可変鏡型の光変調器であってもよい。

30

【 0 0 4 5 】

以上の構成を備える光学モジュール 1 C の動作について、図 4 を参照しつつ説明する。X 軸方向に沿って偏光ビームスプリッタ 7 0 の光入射面 7 2 に入射した入射光 L 4 は、光分岐面 7 1 において Y 軸方向へ反射され、第 1 の面 7 4 から出射される。次に、入射光 L 4 は第 1 の偏光素子 2 2 を通過する。このとき、入射光 L 4 の偏光面は、第 1 の偏光素子 2 2 によって s 偏光面から所定の向きに例えば 4 5 ° 回転する。その後、入射光 L 4 は、第 1 の反射型 S L M 3 2 によって変調されて第 1 の変調光 L 5 と成り、同時に第 1 の偏光素子 2 2 に向けて反射される。第 1 の変調光 L 5 は、第 1 の偏光素子 2 2 を再び通過する。このとき、第 1 の変調光 L 5 の偏光面は、第 1 の偏光素子 2 2 によって上記所定の向きに例えば 4 5 ° 回転する。その結果、第 1 の変調光 L 5 は p 偏光成分を主に含む（或いは、p 偏光成分のみから成る）こととなる。これにより、第 1 の変調光 L 5 は、光分岐面 7 1 を透過し、第 2 の面 7 5 から出射される。

40

【 0 0 4 6 】

続いて、第 1 の変調光 L 5 は第 2 の偏光素子 4 2 を通過する。このとき、第 1 の変調光 L 5 の偏光面は、第 2 の偏光素子 4 2 によって p 偏光面から所定の向きに例えば 4 5 ° 回転する。その後、第 1 の変調光 L 5 は、第 2 の反射型 S L M 5 2 によって変調されて第 2

50

の変調光 L 6 と成り、同時に第 2 の偏光素子 4 2 に向けて反射される。第 2 の変調光 L 6 は、第 2 の偏光素子 4 2 を再び通過する。このとき、第 2 の変調光 L 6 の偏光面は、第 2 の偏光素子 4 2 によって上記所定の向きに例えば 45° 回転する。その結果、第 2 の変調光 L 6 は s 偏光成分を主に含む（或いは、s 偏光成分のみから成る）こととなる。これにより、第 2 の変調光 L 6 は、光分岐面 7 1 において X 軸方向へ反射され、光出射面 7 3 から光学モジュール 1 C の外部へ出力される。

【0047】

以上に説明した本実施形態の光学モジュール 1 C によれば、前述した第 1 実施形態の光学モジュール 1 A と同様の効果が得られる。すなわち、光学モジュール 1 C では、一つの偏光ビームスプリッタ 7 0 の周囲に 2 つの反射型 SLM 3 2, 5 2 が配置されている。そして、第 1 の反射型 SLM 3 2 への入射光（入射光 L 4）は偏光ビームスプリッタ 7 0 から入射し、変調後の光（第 1 の変調光 L 5）は偏光ビームスプリッタ 7 0 に向けて反射される。同様に、第 2 の反射型 SLM 5 2 への入射光（第 1 の変調光 L 5）は偏光ビームスプリッタ 7 0 から入射し、変調後の光（第 2 の変調光 L 6）は偏光ビームスプリッタ 7 0 に向けて反射される。このような構成により、反射型 SLM 3 2, 5 2 の各変調面 3 3, 5 3 の法線方向に沿って光を入射及び反射させることができるので、光軸の調整が容易であり、SLM への入射効率、および SLM からの出射効率を高めることができ、光利用効率を高めることができる。また、入射光 L 4 の光軸と出射光（第 2 の変調光 L 6）の光軸とが斜めではなく直角であるため、他の光学系との接続を容易にすることができ、また収差の発生を低減することができる。更に、一部の光路において光を往復させるので、光学系全体の構成を簡素にでき、小型化が可能となる。

【0048】

また、本実施形態においても、ハーフミラー等の通常のビームスプリッタではなく偏光ビームスプリッタ 7 0 と第 1 及び第 2 の偏光素子 2 2, 4 2 とを組み合わせた構成を備えることによって、光利用効率を高く維持しつつ、変調面 3 3, 5 3 の法線方向から入射光 L 4 及び第 1 の変調光 L 5 を好適に入射させることができる。

【0049】

（第 2 の変形例）

図 5 は、上記実施形態の一変形例として、光学モジュール 1 D の構成を示す図である。この光学モジュール 1 D は、図 4 に示された光学モジュール 1 C の構成に加えて、第 3 の偏光素子 6 2 を更に備えている。第 3 の偏光素子 6 2 は、偏光ビームスプリッタ 7 0 の光入射面 7 2 と光学的に結合されており、入射光 L 4 が s 偏光成分を含むように、入射光 L 4 の偏光面を回転させる。なお、第 3 の偏光素子 6 2 としては、第 1 及び第 2 の偏光素子 2 2, 4 2 と同様に、非相反性の光学活性を有する偏光素子として、例えばファラデーローテータを適用することができる。本変形例によれば、入射光 L 4 の偏光面を調整して、光分岐面 7 1 において好適に反射させることができる。

【0050】

また、図 5 に示される光学モジュール 1 D は、上記実施形態の光学モジュール 1 C の構成に加えて、相反性の光学活性を有する偏光素子である 1/2 波長板 7 6 を更に備えている。本変形例では、1/2 波長板 7 6 は偏光ビームスプリッタ 7 0 と第 1 の反射型 SLM 3 2 との間の光路上に配置されており、図には偏光ビームスプリッタ 7 0 と第 1 の偏光素子 2 2 との間の光路上に配置された例が示されている。

【0051】

この例において、偏光ビームスプリッタ 7 0 の光分岐面 7 1 を反射した入射光 L 4 は、1/2 波長板 7 6 を通過する。このとき、入射光 L 4 の偏光面は、1/2 波長板 7 6 によって s 偏光面から或る回転方向に 90° 回転する。その後、入射光 L 4 は、第 1 の偏光素子 2 2 と第 1 の反射型 SLM 3 2 との間を往復して第 1 の変調光 L 5 となり、1/2 波長板 7 6 を再び通過する。このとき、第 1 の変調光 L 5 の偏光面は、1/2 波長板 7 6 によって上記とは逆の向きに 90° 回転する。その結果、偏光ビームスプリッタ 7 0 に入射するときの第 1 の変調光 L 5 の偏光面は、p 偏光成分を主に含む（或いは、p 偏光成分のみ

から成る)こととなる。これにより、第1の変調光L5は、光分岐面71を透過し、第2の面75から出射される。

【0052】

本変形例では、第1の反射型SLM32に入射する際の入射光L4の偏光面を90°回転させている。これにより、第1の反射型SLM32に入射する直前の入射光L4の偏光面の角度を任意に制御することができる。したがって、例えば第1及び第2の反射型SLM32, 52が液晶型SLMである場合に、第1の反射型SLM32の液晶の配向方向を任意に設定することができる。これにより、例えば第1の反射型SLM32の液晶の配向方向と第2の反射型SLM52の液晶の配向方向とを揃える(互いに平行にする)ことが可能となり、第1及び第2の反射型SLM32, 52のそれぞれに入力される変調データを共通化することが可能になる。

10

【0053】

なお、1/2波長板76は、第1の偏光素子22と第1の反射型SLM32との間の光路上に配置されてもよく、或いは、偏光ビームスプリッタ70と第2の反射型SLM52との間(偏光ビームスプリッタ70と第2の偏光素子42との間、もしくは第2の偏光素子42と第2の反射型SLM52との間)の光路上に配置されてもよい。1/2波長板76が偏光ビームスプリッタ70と第2の反射型SLM52との間の光路上に配置される場合、第2の反射型SLM52に入射する直前の第1の変調光L5の偏光面の角度を任意に制御することができ、上述した効果を同様に奏することができる。

【0054】

20

(第3の実施の形態)

図6は、本発明の第3実施形態に係る光学モジュール1Eの構成を示す図である。図6に示されるように、この光学モジュール1Eは、図1に示された光学モジュール1Aを2つ組み合わせ構成されている。すなわち、一方の光学モジュール1Aの光出射面13と、他方の光学モジュール1Aの光入射面12とが光学的に結合されており、一方の光学モジュール1Aから出力された第2の変調光L3が、他方の光学モジュール1Aへ入射光L1として入力される。

【0055】

本実施形態のように、光学モジュールは、前述した各実施形態および各変形例の光学モジュール1A~1Dが多段に組み合わせられて構成されてもよい。その場合、同一の構成を備える光学モジュール同士を組み合わせてもよく、互いに異なる構成を備える光学モジュール同士を組み合わせてもよい。これにより、3個以上のSLMを光学的に直列に配置することが可能となる。

30

【0056】

本発明による光学モジュールは、上述した実施形態に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上述した各実施形態および各変形例では、偏光ビームスプリッタとして断面矩形状(キューブ型)のものを例示したが、本発明では、例えばプレート型といった様々な形状の偏光ビームスプリッタを適用することができる。

【0057】

また、上述した各実施形態および各変形例では、偏光ビームスプリッタへの入射光の光軸に対して出射光(第2の変調光)の光軸が90°若しくは0°を成しているが、これらの光軸がその他の角度を成すようにSLMや偏光素子を配置してもよい。

40

【0058】

また、上述した各実施形態および各変形例では、上記のように断面矩形状(キューブ型)の偏光ビームスプリッタを用いているが、キューブ型の偏光ビームスプリッタの光分岐面はプレート型のものと比較して平面度が低く、光分岐面に形状歪みが存在し、反射光に波面収差を加えることがある。また、SLMの変調面も同様に、歪みによって変調光に波面収差を生じせしめる場合がある。これらのように、本発明の光学モジュールにおいて収差を発生させる要因がある場合、その収差を予め求めておき、この収差を除去し得るような位相変調パターンを各SLMの所望の位相変調パターンに加えるとよい。これにより、

50

収差に影響され難い変調動作を実現することができる。

【 0 0 5 9 】

また、上述した各実施形態および各変形例において、光学モジュールの用途によっては、S L Mと偏光ビームスプリッタとの間隔調整を要する場合がある。そのような場合、光軸方向における偏光ビームスプリッタとの間隔を可変にする移動手段をS L Mに設けることが望ましい。

【 0 0 6 0 】

また、上述した各実施形態および各変形例の光学モジュールの用途としては、観察対象物からの光を撮像する光観察装置が挙げられる。図7は、光観察装置2Aの構成例を示す図である。この光観察装置2Aは、上述した各実施形態および各変形例の光学モジュール（図には第1実施形態の光学モジュール1Aを例示）、観察対象物84が載置される載置台87、観察対象物84からの光を入射光L1（またはL4）として偏光ビームスプリッタ10（または70）に導く第1の導光光学系85、偏光ビームスプリッタ10（または70）から出射された第2の変調光L3（またはL6）を導光する第2の導光光学系86、第2の導光光学系86によって導かれた第2の変調光L3（またはL6）を撮像する撮像装置88を備えている。第1の導光光学系85は、例えば、対物レンズなどから構成される。また、第2の導光光学系86は、例えば、結像レンズやリレーレンズといった光学素子によって構成される。さらに、撮像装置88は、CCDイメージセンサやCMOSイメージセンサなどの撮像素子によって構成される。あるいは、第2の導光光学系86がビームスキャナとリレーレンズ、結像レンズで構成され、撮像装置88がピンホールと単一光検出器で構成されていても良い。

【 0 0 6 1 】

また、上述した各実施形態および各変形例の光学モジュールの別の用途としては、照射対象物に光を照射する光照射装置が挙げられる。図8は、光照射装置2Bの構成例を示す図である。この光照射装置2Bは、上述した各実施形態および各変形例の光学モジュール（図には第1実施形態の光学モジュール1Aを例示）、照射対象物94を載置する載置台97、偏光ビームスプリッタ10（または70）に入射する入射光L1（またはL4）を出力する光源93、偏光ビームスプリッタ10（または70）から出射された第2の変調光L3（またはL6）を照射対象物94に導く導光光学系95を備える。光源93としては、半導体レーザ素子などのレーザ光源やLEDやSLD、ランプ系の光源などが挙げられる。また、導光光学系95としては、対物レンズなどが挙げられる。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 2 】

1A, 1B, 1C, 1D, 1E ... 光学モジュール、10, 70 ... 偏光ビームスプリッタ、11, 71 ... 光分岐面、12, 72 ... 光入射面、13, 73 ... 光出射面、14, 74 ... 第1の面、15, 75 ... 第2の面、16, 76 ... 1/2波長板、20, 22 ... 第1の偏光素子、30, 32 ... 第1の反射型S L M、31, 33 ... 変調面、40, 42 ... 第2の偏光素子、50, 52 ... 第2の反射型S L M、51, 53 ... 変調面、60, 62 ... 第3の偏光素子、L1, L4 ... 入射光、L2, L5 ... 第1の変調光、L3, L6 ... 第2の変調光。

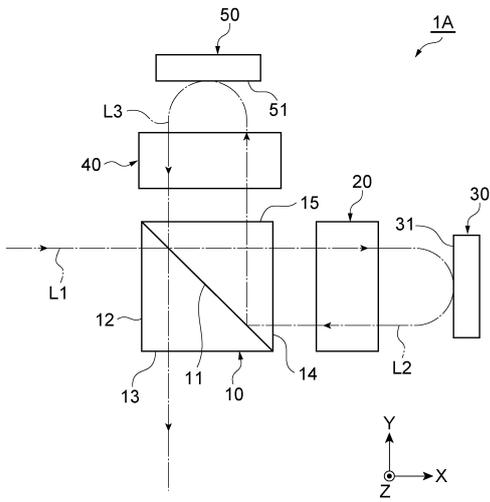
10

20

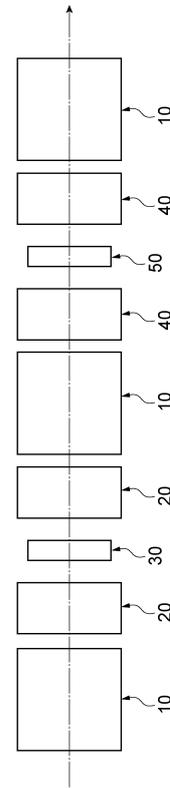
30

40

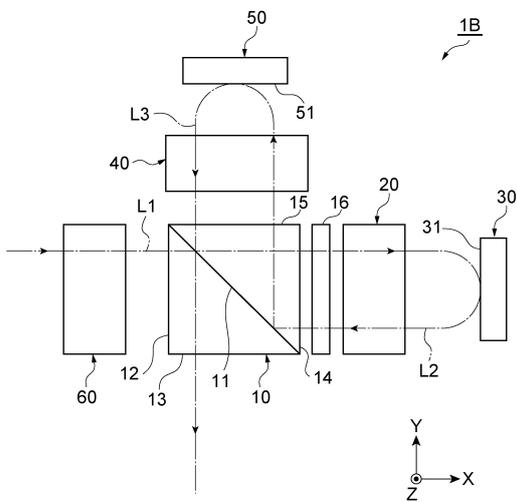
【図1】



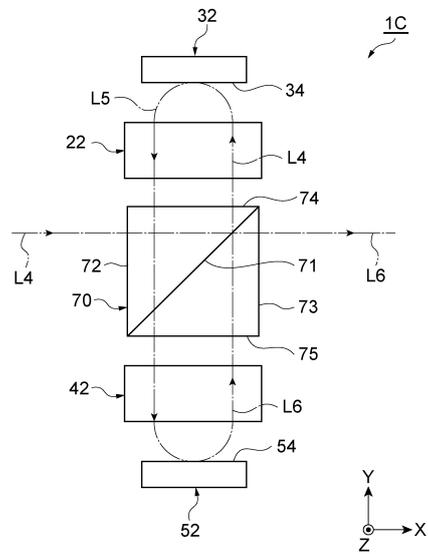
【図2】



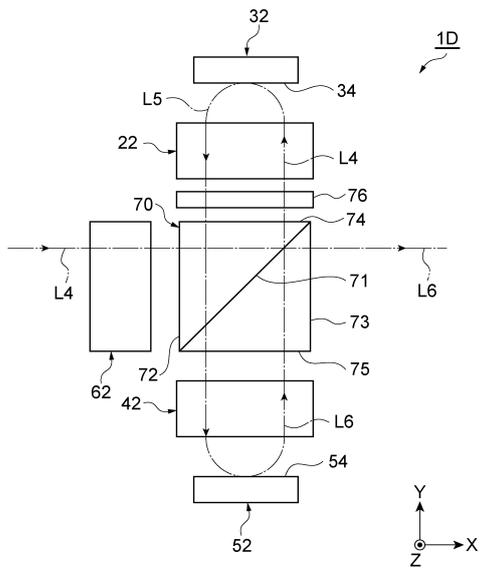
【図3】



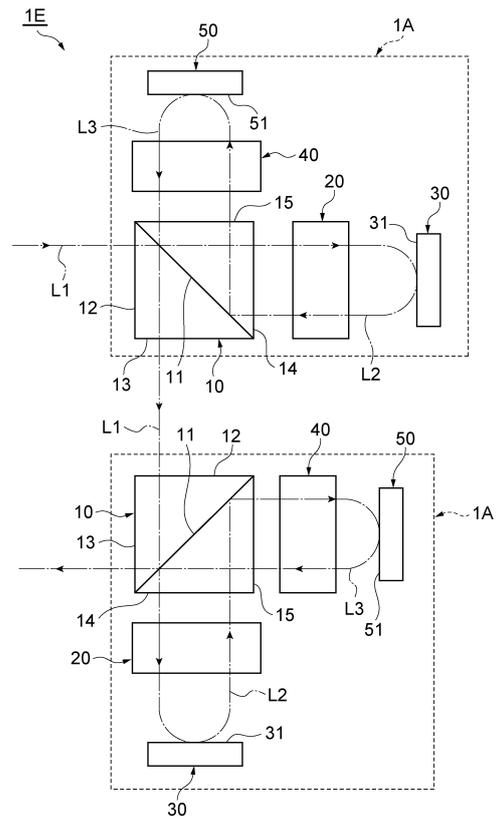
【図4】



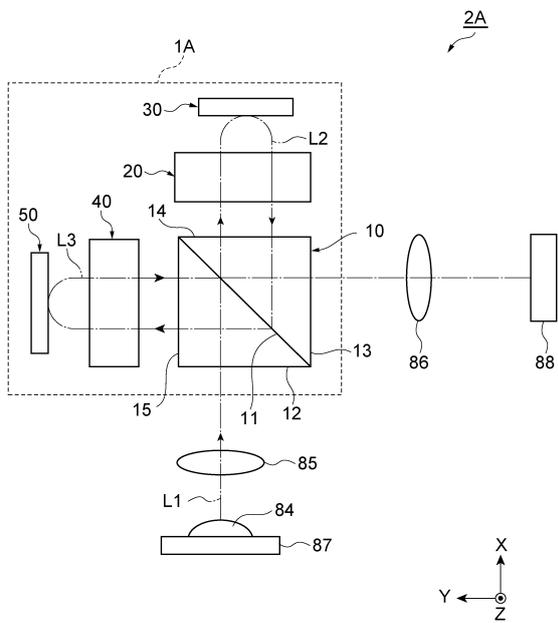
【図5】



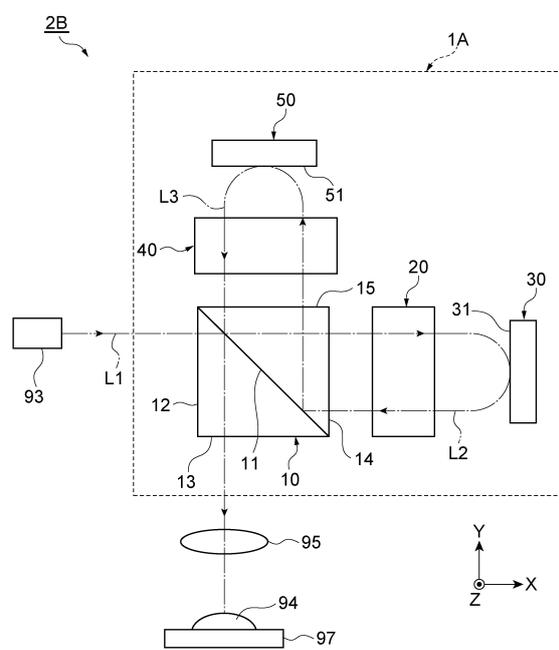
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

審査官 右田 昌士

- (56)参考文献 特開2008-276043(JP,A)
特開2000-19455(JP,A)
国際公開第2008/105312(WO,A1)
特開昭64-79722(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	27/28		
G02F	1/13	505	
G02B	5/00	-	5/136
G02B	5/30		
G02B	9/00	-	21/36
G01N	21/62	-	21/74
B23K	26/00	-	26/42
G02F	1/09		