

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-238308

(P2014-238308A)

(43) 公開日 平成26年12月18日(2014.12.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 J 3/22 (2006.01)	G O 1 J 3/22	2 G O 2 O
G O 1 J 3/36 (2006.01)	G O 1 J 3/36	2 G O 5 4
G O 1 J 3/10 (2006.01)	G O 1 J 3/10	
G O 1 N 21/75 (2006.01)	G O 1 N 21/75	A

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2013-120520 (P2013-120520)	(71) 出願人	504137912
(22) 出願日	平成25年6月7日 (2013.6.7)		国立大学法人 東京大学
			東京都文京区本郷七丁目3番1号
		(71) 出願人	000001007
			キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100076428
			弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二

最終頁に続く

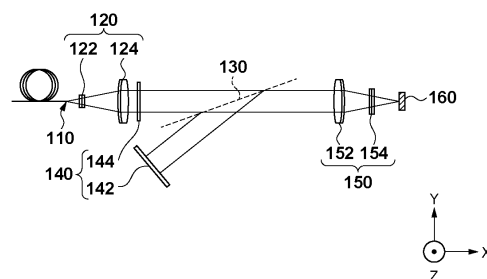
(54) 【発明の名称】 分光装置、検出装置、光源装置、反応装置及び測定装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】分光装置の小型化、高分解能化及び高効率化を実現するのに有利な技術を提供する。

【解決手段】所定の波長を含む光を分光する分光装置であって、前記光が入射するスリット110と、前記スリットからの光をコリメートする第1光学系120と、前記第1光学系からの光を回折する透過型回折素子130と、前記透過型回折素子で回折された光を反射する第1ミラーと、前記第1ミラーで反射され、前記透過型回折素子で回折された光を反射する第2ミラーとを含み、前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間において前記透過型回折素子を介して光を往復させるように配置される。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

所定の波長を含む光を分光する分光装置であって、
前記光が入射するスリットと、
前記スリットからの光をコリメートする第 1 光学系と、
前記第 1 光学系からの光を回折する透過型回折素子と、
前記透過型回折素子で回折された光を反射する第 1 ミラーと、前記第 1 ミラーで反射され、前記透過型回折素子で回折された光を反射する第 2 ミラーとを含み、前記第 1 ミラーと前記第 2 ミラーとの間において前記透過型回折素子を介して光を往復させる第 2 光学系と、を有し、

10

前記透過型回折素子に入射する光の入射角度と前記透過型回折素子から射出する光の射出角度とが等しくなるように、前記第 1 光学系と前記透過型回折素子が配置され、

前記透過型回折素子で回折されて前記第 1 ミラーに向かう光の光路と、前記第 1 ミラーで反射されて前記透過型回折素子に向かう光の光路とが、1 つの第 1 平面に存在し、且つ、前記第 1 平面内で互いに重なり合わないように、前記第 1 ミラーが配置され、

前記透過型回折素子で回折されて前記第 2 ミラーに向かう光の光路と、前記第 2 ミラーで反射されて前記透過型回折素子に向かう光の光路とが、1 つの第 2 平面に存在し、且つ、前記第 2 平面内で互いに重なり合わないように、前記第 2 ミラーが配置されていることを特徴とする分光装置。

20

【請求項 2】

前記第 1 光学系は、前記スリットからの光を、前記透過型回折素子の格子の繰り返し方向に第 1 倍率で拡大し、前記繰り返し方向に直交する方向に前記第 1 倍率よりも小さい第 2 倍率で拡大することを特徴とする請求項 1 に記載の分光装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の分光装置と、
前記透過型回折素子を透過する透過回折光の強度を検出する複数の画素を含む検出器と、
前記透過回折光を前記複数の画素に結像する結像光学系と、
を有することを特徴とする検出装置。

30

【請求項 4】

前記複数の画素は、2 次元的に配列されていることを特徴とする請求項 3 に記載の検出装置。

【請求項 5】

前記所定の波長を含む光は、前記検出器で空間的に分離可能な縦モード間隔を有する光コム光源からの光であり、

前記検出器は、前記光コム光源からの光の波長ごとの強度を検出することを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の検出装置。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 に記載の分光装置と、
前記所定の波長を含み、空間的に分離可能な縦モード間隔を有する光を射出する光コム光源と、

40

前記第 2 光学系での往復を繰り返すことで前記第 1 ミラーに入射しなくなる縦モードの光を結像する結像光学系と、

前記結像光学系の結像面に配置され、前記結像光学系によって結像された縦モードの光を取り出す取出部と、

を有することを特徴とする光源装置。

【請求項 7】

前記取出部は、前記光コム光源からの光に含まれる複数の縦モードの光のうち前記所定の波長に対応する縦モードの光が前記結像光学系によって結像される位置に配置された光ファイバーを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の光源装置。

50

【請求項 8】

前記取出部は、前記光コム光源からの光に含まれる複数の縦モードの光のそれぞれが前記結像光学系によって結像される複数の位置に配置された複数の光ファイバーを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の光源装置。

【請求項 9】

前記取出部は、前記光コム光源からの光に含まれる複数の縦モードの光のそれぞれを取り出し、

前記取出部で取り出された複数の縦モードの光のそれぞれを変調する変調部と、

前記変調部で変調された複数の縦モードの光を合成する合成部と、を更に有することを特徴とする請求項 6 に記載の光源装置。

10

【請求項 10】

前記変調部は、前記合成部で合成された光の形状が予め定められた形状となるように、前記取出部で取り出された複数の縦モードの光のそれぞれを変調することを特徴とする請求項 9 に記載の光源装置。

【請求項 11】

前記合成部は、

前記変調部で変調された複数の縦モードの光のそれぞれを反射する第 3 ミラーと、

前記第 3 ミラーで反射された複数の縦モードが合成された光を分離するサーキュレーターと、

を含み、

20

前記第 3 ミラーは、前記変調部で変調された複数の縦モードの光のそれぞれが前記第 3 ミラーに入射するまでの光路に戻るように、前記変調部で変調された複数の縦モードの光のそれぞれを反射し、

前記サーキュレーターは、前記光コム光源と前記スリットとの間に配置されていることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の光源装置。

【請求項 12】

請求項 9 乃至 11 のうちいずれか 1 項に記載の光源装置と、

前記光源装置から射出される光を対象物に照射する光学系と、

前記光学系からの光の照射による前記対象物の反応速度及び反応状態の少なくとも一方を測定する測定部と、を有することを特徴とする反応装置。

30

【請求項 13】

請求項 7 に記載の光源装置と、

前記光源装置から射出される光を対象物に照射する光学系と、

前記光学系から前記対象物に照射された光のうち前記対象物で吸収された光に関する情報を測定する測定部と、を有することを特徴とする測定装置。

【請求項 14】

請求項 6 乃至 8 のうちいずれか 1 項に記載の光源装置と、

前記光源装置で得られる 1 つ又は複数の縦モードの波長が一定となるように、前記光コム光源から射出される光の強度を調整する調整部と、

を有することを特徴とする光源装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分光装置、検出装置、光源装置、反応装置及び測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

分光装置の性能は波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$) の大きさを代表され、特に高分解能分光装置では、10 万を超える分解能が求められている。回折素子 (回折格子) を用いた分光装置の理論的な限界分解能は、各波長の光にどれだけの光路差をつけられるかで一意的に決まる。従って、分光装置において、高い分解能を実現するためには、大型の回折素子が必要

50

となる。例えば、現在では、高繰り返しフェムト秒レーザや高出力チタンサファイヤフェムト秒レーザの発展に伴い、150mmを超える大型、且つ、高効率の透過型回折素子が入手可能である。但し、分光装置の実際の分解能は、分光装置の入射サイズ、結像倍率、光学収差、検出器の分解能にも制約され、また、回折素子を大型化すると収差も生じやすくなるため、回折素子の単純な大型化によって高い分解能を実現することは難しい。このような分光装置に関する技術については、従来から幾つか提案されている（特許文献1乃至5参照）。

【0003】

一方、近年では、時間的に等間隔な光パルス列を出力する光コム光源が注目されている。これらのパルスは、高い位相関係を有し、互いに干渉するため、そのスペクトルは、正確に一定周波数ずつ離れている光が等間隔で配列された櫛状（コム）の構造を有する。このような櫛状のスペクトル構造は、一般に、縦モードと呼ばれている。縦モードは僅かに波長が異なるため、空間的に縦モードを分離するためには、分光装置を用いればよい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-121986号公報

【特許文献2】特開2006-162509号公報

【特許文献3】特開平1-292221号公報

【特許文献4】特開2011-257140号公報

【特許文献5】特開昭59-165017号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、縦モードを実際に分離するためには、非常に高い分解能を有する分光装置が必要となり、また、分離した縦モードを更に光源として使用可能とする分光装置を実現することは極めて困難である。例えば、一般的に入手可能な光コム光源の縦モード間隔は、光周波数で1GHz程度であり、このような光コム光源の縦モードを分離するためには、光周波数が300THzであることから、少なくとも30万を超える分解能の分光装置が必要となる。かかる分解能を実現するためには、300mmを超える反射型回折素子を用いて分光装置を構成しなければならないため、分光装置の大型化を招くこととなる。

【0006】

一方、縦モードを分離する（取り出す）ことが可能となれば、連続波光源や任意の波形の光を生成可能な光源を実現することができる。従って、分光装置の絶対効率（分光装置へのインプット（入射光の光量）とアウトプット（所定の分解能で分光された光の光量）との比）が非常に重要となる。但し、従来の分光装置において、一般的に検出精度の観点から信号とノイズの比率改善を重視され、出力の絶対値が重視されることは稀であり、分光装置の絶対効率を向上させるための技術（構成など）はあまり知られていない。

【0007】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、分光装置の小型化、高分解能化及び高効率化を実現するのに有利な技術を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての分光装置は、所定の波長を含む光を分光する分光装置であって、前記光が入射するスリットと、前記スリットからの光をコリメートする第1光学系と、前記第1光学系からの光を回折する透過型回折素子と、前記透過型回折素子で回折された光を反射する第1ミラーと、前記第1ミラーで反射され、前記透過型回折素子で回折された光を反射する第2ミラーとを含み、前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間において前記透過型回折素子を介して光を往復させる第2光学系と、を有し、前記透過型回折素子に入射する光の入射角度と前記透過型回折素子から射出する光

の射出角度とが等しくなるように、前記第 1 光学系と前記透過型回折素子が配置され、前記透過型回折素子で回折されて前記第 1 ミラーに向かう光の光路と、前記第 1 ミラーで反射されて前記透過型回折素子に向かう光の光路とが、1 つの第 1 平面に存在し、且つ、前記第 1 平面内で互いに重なり合わないように、前記第 1 ミラーが配置され、前記透過型回折素子で回折されて前記第 2 ミラーに向かう光の光路と、前記第 2 ミラーで反射されて前記透過型回折素子に向かう光の光路とが、1 つの第 2 平面に存在し、且つ、前記第 2 平面内で互いに重なり合わないように、前記第 2 ミラーが配置されていることを特徴とする。

【0009】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、例えば、分光装置の小型化、高分解能化及び高効率化を実現するのに有利な技術を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】本発明の一側面としての検出装置の構成を示す概略図である。

【図 2】図 1 に示す検出装置の第 1 ミラーと第 2 ミラーとの間を往復する光の光路を説明するための図である。

【図 3】図 1 に示す検出装置の第 1 ミラーと第 2 ミラーとの間を往復する光の光路を説明するための図である。

20

【図 4】図 1 に示す検出装置の透過型回折素子をリトロ配置とする必要性や利点を説明するための図である。

【図 5】図 1 に示す検出装置で検出されるフリンジの一例を示す図である。

【図 6】図 1 に示す検出装置における透過型回折素子での回折回数と分解能との関係を示す図である。

【図 7】本発明の一側面としての光源装置の構成を示す概略図である。

【図 8】本発明の一側面としての光源装置の構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

30

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0013】

< 第 1 の実施形態 >

図 1 は、本発明の一側面としての検出装置 100 の構成を示す概略図である。検出装置 100 は、スリット 110 と、第 1 光学系 120 と、透過型回折素子 130 と、第 2 光学系 140 と、結像光学系 150 と、検出器 160 とを有する。検出装置 100 において、スリット 110、第 1 光学系 120、透過型回折素子 130 及び第 2 光学系 140 は、後述するように、検出対象である光源から射出される所定の波長を含む光を分光する分光装置を構成する。

40

【0014】

図 1 を参照するに、光源から射出された光は、例えば、6 μm のモードフィールド径を有するシングルモードファイバーを介して、検出装置 100 に導かれる。本実施形態では、シングルモードファイバーの射出口がスリット、即ち、光源からの光が入射するスリット 110 (スリット状の開口部や光透過部が設けられた部材) として機能する。シングルモードファイバーからの光 (スリット 110 からの光) は、第 1 光学系 120 に入射する。

【0015】

第 1 光学系 120 は、シリンドリカルレンズ 122 と、アクロマチックシリンドリカルレンズ 124 とを含み、スリット 110 からの光をコリメートするコリメート光学系であ

50

る。シリンドリカルレンズ 1 2 2 は、光の進行方向に直交する断面において非対称な（即ち、直交する 2 方向に異なる）拡大率を有する。第 1 光学系 1 2 0 により、スリット 1 1 0 からの光を、透過型回折素子 1 3 0 の格子の繰り返し方向に第 1 倍率で拡大し、透過型回折素子 1 3 0 の格子の繰り返し方向に直交する方向に第 1 倍率よりも小さい第 2 倍率で拡大されるとともにコリメートされる。アクロマチックシリンドリカルレンズ 1 2 4 は、例えば、分散が低い材料からなるレンズ及び分散が高い材料からなるレンズの 2 種類のレンズを組み合わせで構成され、結像収差を低減する機能を有する。

【0016】

本実施形態では、スリット 1 1 0 からの光は、第 1 光学系 1 2 0 を介して、縦（透過型回折素子 1 3 0 の格子の繰り返し方向に直交する方向）1 mm、幅（透過型回折素子 1 3 0 の格子の繰り返し方向）2.5 mm の光にコリメートされる。また、第 1 光学系 1 2 0 は、透過型回折素子 1 3 0 に対して、コリメートされた光を斜めに入射させる。

10

【0017】

透過型回折素子 1 3 0 は、第 1 光学系 1 2 0 からの光を回折する回折格子である。透過型回折素子 1 3 0 は、例えば、90% 以上の回折効率を有し、格子の繰り返し方向のサイズが 180 mm である回折格子で構成される。本実施形態では、透過型回折素子 1 3 0 には、第 1 光学系 1 2 0 からの光が、 $m = 2d \cdot \sin$ で表される式から得られる角度（入射角度）で入射される。ここで、 λ は所定の波長、 d は透過型回折素子 1 3 0 の格子ピッチ、 m は 1 以上の整数（次数）である。上述の式は、透過型回折素子 1 3 0 に入射する光の入射角度と透過型回折素子 1 3 0 から射出する光の射出角度とが等しくなるように、第 1 光学系 1 2 0 と透過型回折素子 1 3 0 が配置されていることを意味する。換言すれば、透過型回折素子 1 3 0 は、リトロ配置となっている。

20

【0018】

第 2 光学系 1 4 0 は、透過型回折素子 1 3 0 で回折された光を反射する第 1 ミラー 1 4 2 と、第 1 ミラー 1 4 2 で反射され、更に、透過型回折素子 1 3 0 で回折された光を反射する第 2 ミラー 1 4 4 とを含む。第 2 光学系 1 4 0 は、第 1 ミラー 1 4 2 と第 2 ミラー 1 4 4 との間において透過型回折素子 1 3 0 を介して光を往復させる（即ち、第 1 光学系 1 2 0 からの光を透過型回折素子 1 3 0 で何度も回折させるための）光学系である。

【0019】

第 1 ミラー 1 4 2 及び第 2 ミラー 1 4 4 は、検出対象である光源からの光に対して高い反射率を有する平面ミラーで構成される。ここで、透過型回折素子 1 3 0 で回折されて第 1 ミラー 1 4 2 に向かう光の光路を第 1 光路、第 1 ミラー 1 4 2 で反射されて透過型回折素子 1 3 0 に向かう光の光路を第 2 光路とする。この場合、第 1 ミラー 1 4 2 は、第 1 光路と第 2 光路とが、1 つの第 1 平面に存在し、且つ、かかる第 1 平面内で互いに重なり合わないように、配置される。また、透過型回折素子 1 3 0 で回折されて第 2 ミラー 1 4 4 に向かう光の光路を第 3 光路、第 2 ミラー 1 4 4 で反射されて透過型回折素子 1 3 0 に向かう光路を第 4 光路とする。この場合、第 2 ミラー 1 4 4 は、第 3 光路と第 4 光路とが、1 つの第 2 平面に存在し、且つ、かかる第 2 平面内で互いに重なり合わないように、配置される。

30

【0020】

結像光学系 1 5 0 は、アクロマチックシリンドリカルレンズ 1 5 2 と、シリンドリカルレンズ 1 5 4 とを含み、透過型回折素子 1 3 0 で回折されずに透過する 0 次光（透過回折光）を、検出器 1 6 0（の検出面）に結像する。アクロマチックシリンドリカルレンズ 1 5 2 及びシリンドリカルレンズ 1 5 4 のそれぞれは、例えば、アクロマチックシリンドリカルレンズ 1 2 4 及びシリンドリカルレンズ 1 2 2 と同様な構成を有し、当業界で周知のいかなる構成をも適用することが可能である。

40

【0021】

検出器 1 6 0 は、例えば、2 次元的に配列された複数の画素を有する CCD センサで構成され、透過型回折素子 1 3 0 を透過する 0 次光、即ち、結像光学系 1 5 0 によって結像された 0 次光の強度を検出する。

50

【0022】

検出装置100では、第1光学系120でコリメートされた光を、第2光学系140（第1ミラー142及び第2ミラー144）によって、透過型回折素子130で何度も回折させる。これにより、透過型回折素子130で光を回折するたびに、透過型回折素子130を透過する0次光が取り出される。そして、かかる0次光を、結像光学系150を介して、検出器160に集光（分光）し、その強度を検出器160で検出する。

【0023】

図2及び図3を参照して、第1ミラー142と第2ミラー144との間を往復する光の光路について説明する。図2及び図3は、それぞれ、透過型回折素子130、第1ミラー142及び第2ミラー144の近傍を示すXY平面図及びXZ平面図である。

10

【0024】

図2及び図3を参照するに、第1光学系120でコリメートされた光は、第2ミラー144の上部を通過して透過型回折素子130に入射する。この際、透過型回折素子130が垂直に配置されているため、第1光学系120からの光は、上述したように、透過型回折素子130に対して斜めに、即ち、Z方向に角度を有する（打ち下げられた）状態で入射する。透過型回折素子130に入射した光は、透過型回折素子上の点 P_A で回折され、1次回折光が第1ミラー142に入射し、第1ミラー上の点 P_B で反射される。この際、1次回折光が第1ミラー142に対して打ち下げられた状態で入射するため、第1ミラー上の点 P_B で反射された光も透過型回折素子130に対して打ち下げられた状態で入射する。従って、第1ミラー上の点 P_B で反射された光は、透過型回折素子上の点 P_A とは異なる（Z方向に変位した）点 P_C に入射する。そして、透過型回折素子130に入射した光は、透過型回折素子上の点 P_C で回折され、1次回折光が第2ミラー144に入射し、第2ミラー上の点 P_D で反射される。この際、1次回折光が第2ミラー144に対して打ち下げられた状態で入射するため、第2ミラー上の点 P_D で反射された光も透過型回折素子130に対して打ち下げられた状態で入射する。従って、第2ミラー上の点 P_D で反射された光は、透過型回折素子上の点 P_C とは異なる（Z方向に変位した）点 P_E に入射する。これを繰り返すことで、第1光学系120からの光は、点 P_A 、点 P_B 、点 P_C 、点 P_D 、点 P_E 、点 P_F 、点 P_G 、・・・の順に、Z方向に変位しながら進む。

20

【0025】

一方、透過型回折素子130で回折されずに透過する0次光が、透過型回折素子130での回折回数に応じて、0次光 TL_0 、 TL_1 、 TL_2 、 TL_3 、・・・として現れ、結像光学系150を介して、検出器160で検出される。なお、0次光 TL_0 、 TL_1 、 TL_2 、 TL_3 、・・・の添え字は、「透過型回折素子130で回折された回数」を表している。従って、透過型回折素子130での回折のたびに、透過型回折素子130を透過する0次光 TL_0 、 TL_1 、 TL_2 、 TL_3 、・・・がZ方向に分離されていることがわかる。また、透過型回折素子130を透過する0次光 TL_0 、 TL_1 、 TL_2 、 TL_3 、・・・は、互いに平行であるが、その間隔は、透過型回折素子130、第1ミラー142及び第2ミラー144の位置関係で決まり、必ずしも等間隔であるとは限らない。0次光 TL_0 、 TL_1 、 TL_2 、 TL_3 、・・・の間隔を等間隔にしたい場合には、透過型回折素子130と第1ミラー142との間の距離と、透過型回折素子130と第2ミラー144との間の距離を等しくすればよい。

30

40

【0026】

上述したように、本実施形態では、透過型回折素子130をリトロ配置として用いている。以下、透過型回折素子130をリトロ配置とする必要性や利点について説明する。

【0027】

透過型回折素子130の回折効率は、リトロ配置のときに最大となる。従って、透過型回折素子130を用いた分光装置の効率を最大にするためには、透過型回折素子130をリトロ配置にすることが必要となる。本実施形態では、第1光学系120からの光が透過型回折素子130を何度も通過するため、透過型回折素子130をリトロ配置とす

50

ることが肝要となる。

【0028】

また、透過型回折素子130は、実際には、温度変化などの影響を受けて歪んでいる。このような透過型回折素子130の歪みは、30万以上の高い分解能を有する分光装置を実現する上では無視することができない。但し、透過型回折素子130をリトロ配置にした際には、透過型回折素子130の歪みに対する敏感度が最も低下するため、透過型回折素子130に特別な配慮をすることなく用いることができる。

【0029】

また、透過型回折素子130に入射する光の入射角度と透過型回折素子130から射出する光の射出角度とが等しいため、図4(a)に示すように、透過型回折素子130を透過する光と透過型回折素子130で反射する光とが同一方向に射出される。これにより、透過型回折素子130からの光を1つの結像光学系150で結像させることができる。一方、透過型回折素子130に入射する光の入射角度と透過型回折素子130から射出する光の射出角度とが異なると、図4(b)に示すように、透過型回折素子130を透過する光と透過型回折素子130で反射する光とが異なる方向に射出される。従って、透過型回折素子130からの光を1つの結像光学系150で結像させることができず、2つの結像光学系(透過型回折素子130を透過する光を結像する結像光学系及び透過型回折素子130で反射する光を結像する結像光学系)が必要となってしまう。

【0030】

繰り返し周波数が2.5GHzのモード同期レーザからの光を検出装置100に入射すると、図5に示すようなフリンジが検出される。図5では、検出器160の画素番号を横軸に採用し、検出器160で検出される強度を縦軸に採用している。ここでは、シリンドリカルレンズ122及び154のそれぞれの焦点距離を15mm及び50mm、アクロマチックシリンドリカルレンズ124及び152の焦点距離を250mmとする。また、透過型回折素子130のサイズ及びピッチを180mm×40mm及び1740g/mmとする。図5を参照するに、透過型回折素子130での回折回数Ngが増加するにつれて、フリンジの間隔が広がる、即ち、空間分解能が向上していることがわかる。また、透過型回折素子130での回折回数Ngと分解能Rとの関係を図6に示す。図6では、透過型回折素子130での回折回数Ngを横軸に採用し、分解能Rを縦軸に採用している。図6を参照するに、透過型回折素子130での回折回数Ngが5回となると、分解能Rが35万

【0031】

このように、本実施形態によれば、波長1μmの分光を行う場合、透過型回折素子130での回折回数を5回以上にする事で、1GHz以下の縦モードを分離及び検出することができる。また、分光効率も30%以上、評価サイズも1m×0.5m未満であり、同等の性能を有する反射型回折素子を用いた分光装置と比較して、小型化及び高効率化している。

【0032】

また、検出対象の光源を、検出器160で空間的に分離可能な縦モード間隔を有する光コム光源とすることで、検出装置100は、光コム光源からの光の波長ごと(即ち、各縦モード)の強度を検出することができる。また、この場合、光コム光源の各縦モードの光の波長を高精度に検出することができるため、かかる波長を基準として分光装置を校正することができる。例えば、検出装置100に対して、対象光と光コム光源からの光の両方を入射すると、検出器160において、対象光と光コム光源の縦モードの光の両方が分光される。従って、対象光の検出器上での位置を光コム光源の縦モードの光の位置と比較することで、対象光の波長を高精度に求めることができる。

【0033】

<第2の実施形態>

スリット110、第1光学系120、透過型回折素子130及び第2光学系140で構成される分光装置と、光コム光源とを組み合わせることで光源装置を構成することが可能

10

20

30

40

50

である。

【0034】

図7は、本発明の一側面としての光源装置200の構成を示す概略図である。光源装置200は、光コム光源210と、スリット110と、第1光学系120と、透過型回折素子130と、第2光学系140と、結像光学系220と、取出部230とを有する。光源装置200は、光コム光源210の各縦モードの光を分離し、1つの縦モードの光、或いは、複数の縦モードの光を取り出して光源として用いる。

【0035】

光コム光源210は、1GHz以上の高繰り返しモード同期レーザで構成され、本実施形態では、空間的に分離可能な縦モード間隔を有する光、例えば、図7の左上に示すようなスペクトルの光を射出する。

10

【0036】

光コム光源210からの光は、シングルモードファイバーの射出口、即ち、スリット110を介して、第1光学系120に入射する。第1光学系120に入射した光は、上述したように、コリメートされ、第1ミラー142と第2ミラー144との間において透過型回折素子130を介して往復する。

【0037】

結像光学系220は、アクロマチックシリンドリカルレンズ222と、シリンドリカルレンズ224とを含み、第2光学系140での往復を繰り返すことで第1ミラー142に入射しなくなる縦モードの光を結像する。

20

【0038】

取出部230は、結像光学系220の結像面に配置され、結像光学系220によって結像された縦モードの光を取り出す機能を有する。取出部230は、本実施形態では、光コム光源210からの光に含まれる複数の縦モードの光のうち所定の波長に対応する縦モードの光が結像光学系220によって結像される位置に配置されたシングルモードファイバー（光ファイバー）で構成されている。但し、取出部230は、光コム光源210からの光に含まれる複数の縦モードの光のそれぞれが結像光学系220によって結像される複数の位置に配置された複数のシングルモードファイバーで構成されていてもよい。

【0039】

このような構成によって、光源装置200は、光コム光源210の各縦モードの光を分離し、図7の左下に示すように、1つ又は複数の縦モードの光を取り出すことが可能である。従って、光源装置200は、かかる縦モードの光を2次光源とし、周波数が特定された連続波（CW）光源を構成している。なお、取り出す1つ又は複数の縦モードの光を変更することで、様々な波長の連続波光源を構成することも可能である。

30

【0040】

第1の実施形態では、透過型回折素子130を透過する0次光を用いる例について説明した。但し、最も強い光を取り出すためには、図7に示すような配置にすればよい。具体的には、所定の分散が得られる回折回数を経た光に干渉しないように第1ミラー142を配置し、第1ミラー142で全反射せずに通過した光（即ち、第1ミラー142に入射しなくなる光）を結像光学系で結像させればよい。そして、その結像光学系の結像位置に所定の縦モードの光を取り出すシングルモードファイバーを配置することで、特定の1つの縦モードの光、或いは、特定の複数の縦モードの光を含む光源を構成することが可能となる。

40

【0041】

光源装置200は、対象物で吸収される光の波長を高精度に測定する光波長測定装置などの測定装置に適用することができる。原子や分子は、特定の波長の光を吸収する性質を有する。この吸収波長を正確に測定するためには、波長が高精度に校正された光を対象物に照射し、その光の波長を走査しながら吸収が最も強くなる波長を検知することが必要となる。従って、対象物で吸収される光の波長の測定には、光コム光源から1つの縦モードの光を取り出して光源とする光源装置200が好適である。このような測定装置は、光源

50

装置 300 からの光を対象物に照射する光学系と、対象物の温度分布や速度分布を制御する装置（例えば、イオントラップや冷却装置）と、対象物を適切な環境に維持する容器（例えば、真空チャンバー、放電ガスセル）とを有する。また、かかる測定装置は、対象物に照射された光のうち対象物で吸収された光に関する情報を測定する測定部を有する。このような測定部は、例えば、吸収によって生じるイオンの量を測定する装置、吸収によって減少した光の強度を測定する装置、吸収によって生じる蛍光強度を測定する装置などを含む。更に、かかる測定装置は、光コム光源の光周波数を変更する装置（例えば、光コム光源の共振器長や励起光強度を変化させる装置）を有する。

【0042】

また、光源装置 200 は、射出される光の波長を安定化させる光コム発生装置（光源）にも適用することができる。光コム光源は、縦モードの光が等間隔に並んだレーザ光源であるが、その縦モードの光の波長には、時間的に僅かな揺らぎが生じている場合がある。このような揺らぎを抑えるためには、光コム光源から 1 つの縦モードの光を取り出し、かかる光の波長が一定となるように光コム光源を制御（調整）すればよい。また、取り出した 1 つの縦モードの光の波長が一定になるようにするためには、共振器を用いればよい。共振器は、共振器を構成する 2 つのミラーの間隔によって共鳴する波長が決まる。従って、2 つのミラーの間隔が安定化された共振器によって、取り出した 1 つの縦モードの光が、その共振器の共鳴条件を常に満たすように、光コム光源を制御すればよい。このような光コム発生装置は、共振器の長さが変化しない共振器と、光源装置 200 で取り出した光を、共振器に適した強度に調整する調整部（例えば、光増幅器、光減衰器）と、共振器の共鳴条件が満たされているかどうかを検出する検出部とを有する。かかる検出部は、共振器の透過光の強度を測定する装置、共振器の反射光の強度を測定する装置、共振器の反射光の空間モードを測定する装置、共振器の反射光の偏光を測定する装置などを含む。更に、光コム発生装置は、共振器の共鳴条件が常に満たされるように、光コム光源の光周波数を、例えば、光コム光源の共振器長や励起光強度を変化させることによってフィードバック制御する制御部を有する。

【0043】

< 第 3 の実施形態 >

図 8 は、本発明の一側面としての光源装置 300 の構成を示す概略図である。光源装置 300 は、光コム光源 210 と、スリット 110 と、第 1 光学系 120 と、透過型回折素子 130 と、第 2 光学系 140 と、結像光学系 220 と、取出部 230 と、変調部 310 と、合成部 320 とを有する。光源装置 300 は、光コム光源 210 の各縦モードの光を分離し、各縦モードの光を変調して合成することで、任意の波形の光を生成する。

【0044】

光コム光源 210 は、1 GHz 以上の高繰り返しモード同期レーザで構成され、本実施形態では、空間的に分離可能な縦モード間隔を有する光を、例えば、図 7 の左上に示すような形状で射出する。

【0045】

光コム光源 210 からの光は、シングルモードファイバーの射出口、即ち、スリット 110 を介して、第 1 光学系 120 に入射する。第 1 光学系 120 に入射した光は、上述したように、コリメートされ、第 1 ミラー 142 と第 2 ミラー 144 との間において透過型回折素子 130 を介して往復する。

【0046】

結像光学系 220 は、アクロマチックシリンドリカルレンズ 222 と、シリンドリカルレンズ 224 とを含み、第 2 光学系 140 での往復を繰り返すことで第 1 ミラー 142 に入射しなくなる縦モードの光を結像する。

【0047】

取出部 230 は、本実施形態では、光コム光源 210 からの光に含まれる複数の縦モードの光のそれぞれを取り出すために、複数の縦モードの光のそれぞれに対応する複数のシングルモードファイバーで構成されている。

変調部 310 は、取出部 230 で取り出された複数の縦モードの光のそれぞれを変調する。具体的には、変調部 310 は、合成部 320 で合成された光の形状が予め定められた形状となるように、取出部 230 で取り出された複数の縦モードの光のそれぞれの強度及び位相を変更する。

【0048】

合成部 320 は、変調部 310 で変調された複数の縦モードの光を合成する機能を有する。合成部 320 は、本実施形態では、変調部 310 で変調された複数の縦モードの光のそれぞれを反射する第 3 ミラー 322 と、第 3 ミラー 322 で反射された複数の縦モードの光が合成された光を分離するサーキュレーター 324 とを含む。

【0049】

第 3 ミラー 322 は、変調部 310 で変調された複数の縦モードの光のそれぞれが第 3 ミラー 322 に入射するまでの光路に戻るように、変調部 310 で変調された複数の縦モードの光のそれぞれを反射する。また、サーキュレーター 324 は、光コム光源 210 とスリット 110 との間に配置され、第 3 ミラー 322 で反射された複数の縦モードが合成された光を分離する。このような経路を経ることによって、変調部 310 で変調された複数の縦モードの光のそれぞれは、空間分離過程と逆の過程を経ることになり、再び空間的に合成されることになる。従って、合成部 320 は、空間分離過程で与えられた光路差を再び与えられる構成であればよい。例えば、第 3 ミラー 322 やサーキュレーター 324 の代わりに、取出部 230 からスリット 110 までの光路を変調部 310 の後段に配置してもよい。

【0050】

このような構成によって、光源装置 300 は、光コム光源 210 の各縦モードの光を分離し、各縦モードの光を変調して合成することで、図 8 の左中段に示すように、任意の波形の光を生成することができる。従って、光源装置 300 は、かかる任意の波形の光を 2 次光源とし、様々な波形の光を射出することができる。

【0051】

第 1 の実施形態では、透過型回折素子 130 を透過する 0 次光を用いる例について説明した。但し、最も強い光を取り出すためには、図 8 に示すような配置にすればよい。具体的には、所定の分散が得られる回折回数を経た光に干渉しないように第 1 ミラー 142 を配置し、第 1 ミラー 142 で全反射せずに通過した光（即ち、第 1 ミラー 142 に入射しなくなる光）を結像光学系で結像させればよい。そして、その結像光学系の結像位置に各縦モードの光を取り出す複数のシングルモードファイバーを配置し、それぞれの縦モードの光の強度や位相を調整して合成することで任意の波形の光を生成することができる。

【0052】

光源装置 300 は、例えば、光誘起反応制御装置などの反応装置に適用することができる。原子や分子に光（光電場）を照射すると、光により様々な反応（光誘起反応）を生じさせることができる。かかる反応は、光の波形に依存し、その波形を適切に制御（整形）することで、反応を制御することができる（コヒーレントコントロール）。具体的には、吸収や分子振動の励起効率を自在に変化させたり、或いは、光誘起の化学反応を制御したりすることで、効率よく生成物を生成することが可能となる。このような反応装置は、光源装置 300 からの光を効率的に対象物に照射する光学系と、光の照射による反応を生じさせるのに適した環境を維持する容器と、対象物の反応速度及び反応状態の少なくとも一方を測定する測定部とを有する。上述した容器は、例えば、冷却チャンバー、加熱チャンバー、真空チャンバーなどを含む。また、上述した測定部は、例えば、反応生成物の量を測定する装置、反応による光（光電場）の強度の変化を測定する装置などを含む。また、かかる反応装置は、測定部の測定結果に基づいて、目標とする反応が生じるように、各縦モードの光の変調量（強度や位相の調整量）をフィードバック制御する制御部を更に有してもよい。

【0053】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限

10

20

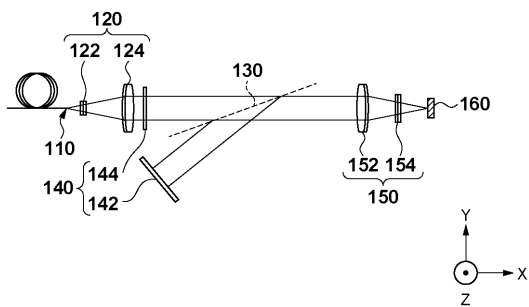
30

40

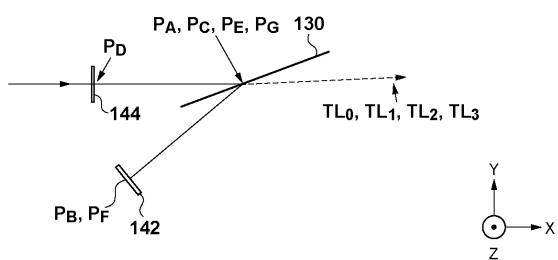
50

定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

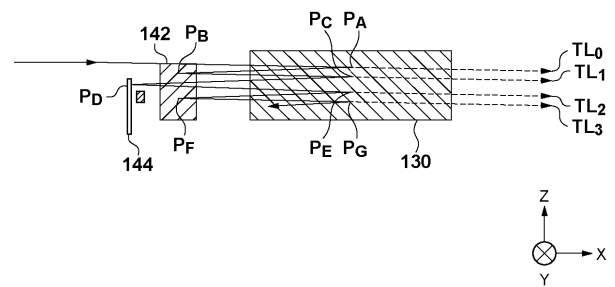
【図 1】



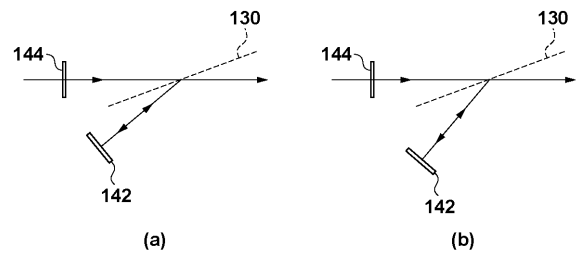
【図 2】



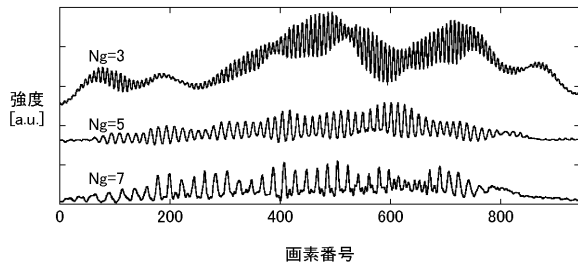
【図 3】



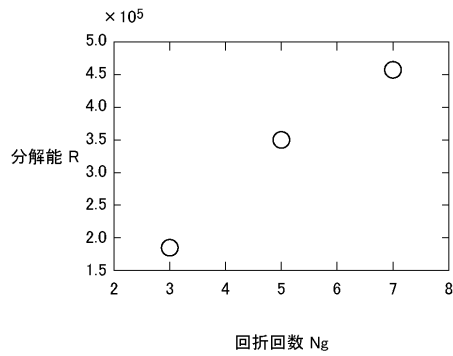
【図 4】



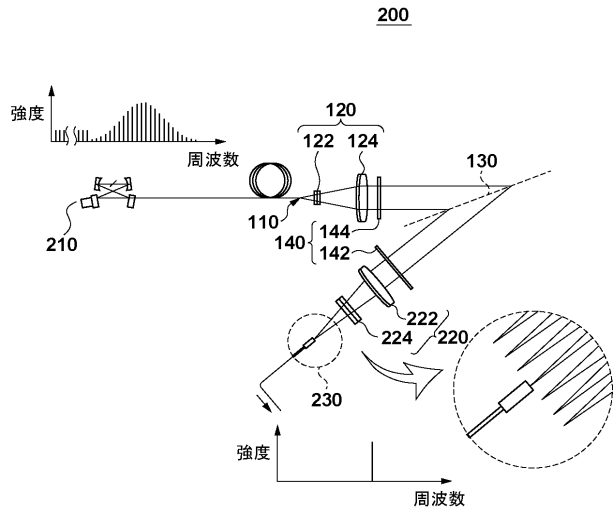
【 図 5 】



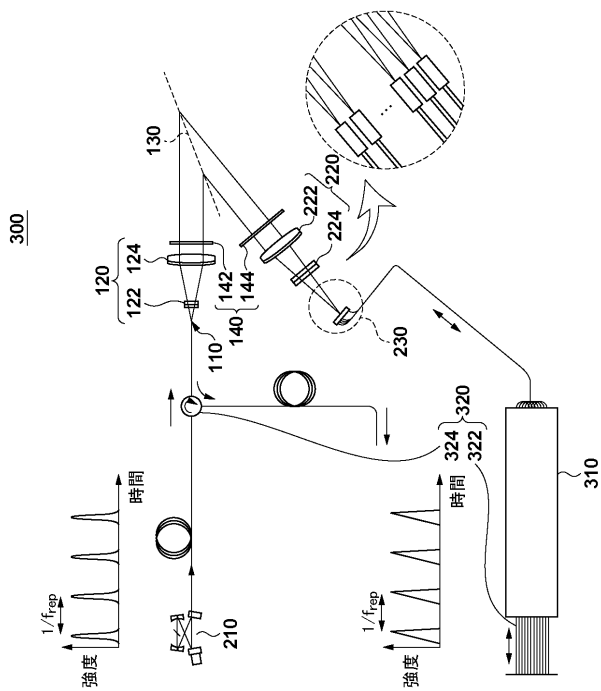
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(74)代理人 100130409

弁理士 下山 治

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(72)発明者 助川 隆

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 小林 洋平

東京都文京区本郷7丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

(72)発明者 小澤 陽

東京都文京区本郷7丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

(72)発明者 遠藤 護

東京都文京区本郷7丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

(72)発明者 五神 真

東京都文京区本郷7丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

Fターム(参考) 2G020 BA02 CA02 CB23 CB42 CB54 CC02 CC42 CC63 CD24

2G054 CB03 FA14 FA16 FA18 FA32 FA34 FB02 GB01