

(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
2019年9月6日(06.09.2019)



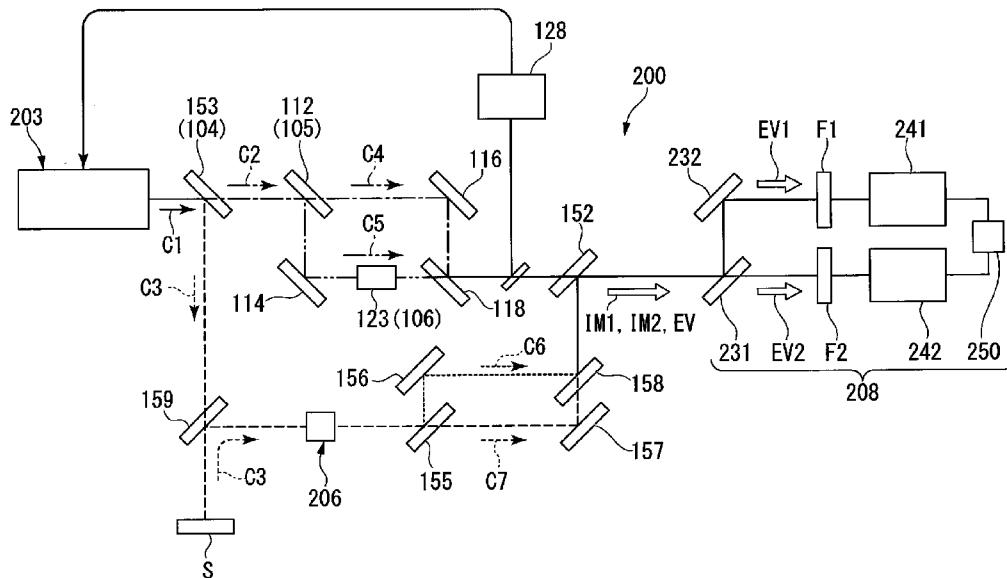
(10) 国際公開番号

WO 2019/167478 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 3/45 (2006.01) G01J 3/10 (2006.01)
G01B 9/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/001898
- (22) 国際出願日: 2019年1月22日(22.01.2019)
- (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 2018-038101 2018年3月2日(02.03.2018) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人電気通信大学 (THE UNIVERSITY OF ELECTRO-COMMUNICATIONS) [JP/JP]; 〒1828585 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 美濃島 薫 (MINOSHIMA Kaoru); 〒1828585 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内 Tokyo (JP), 加藤 峰士 (KATO Takashi); 〒1828585 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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,

(54) Title: TWO-DIMENSIONAL SPECTROSCOPIC MEASUREMENT METHOD AND TWO-DIMENSIONAL SPECTROSCOPIC MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置



(57) Abstract: In this two-dimensional spectroscopic measurement method, a first optical frequency comb in which a repetition frequency is four times an offset frequency is generated, the first optical frequency comb is divided into second to fifth optical frequency combs, and the phases of the fourth optical frequency comb and the fifth optical frequency comb on a time axis are offset from each other by 90°. In the two-dimensional spectroscopic measurement method, the envelope strength of the following is acquired: an interference signal of the third and fourth optical frequency combs in which either



WO 2019/167478 A1

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,
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))

of said optical frequency combs includes optical information regarding a sample; and an interference signal of the third and fifth optical frequency combs in which either of said optical frequency combs includes optical information regarding a sample. The optical information regarding the sample is then extracted on the basis of the envelope strength.

(57) 要約: 本発明の2次元分光計測方法では、繰り返し周波数がオフセット周波数の4倍である1番目の光周波数コムを生成し、1番目の光周波数コムを2番目から5番目の光周波数コムに分け、4番目及び5番目の光周波数コムの時間軸上の位相を互いに90°ずらす。本発明の2次元分光計測方法では、何れかに試料の光学情報を含む3番目及び4番目の光周波数コムの干渉信号と何れかに試料の光学情報を含む3番目及び5番目の光周波数コムの干渉信号との包絡線強度を取得し、包絡線強度に基づいて試料の光学情報を抽出する。

明 細 書

発明の名称： 2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置

技術分野

[0001] 本発明は、2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置に関する。本願は、2018年3月2日に、日本に出願された特願2018-038101号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来、分光情報を得る手法として、撮像法やフーリエ変換赤外分光法（Fourier Transform Infrared Spectroscopy：FT-IR）、分散型の赤外分光法などをはじめとする多くの手法が用いられている。これらの手法では、2次元の空間情報と1次元の波長情報とを同時に得ることは困難であった。以下、2次元の空間情報と1次元の波長情報とをまとめて、2次元分光情報という場合がある。

[0003] 近年、天文学や地球科学、物性分野などの学術分野では、2次元分光情報に含まれる各情報を同時にリアルタイムで取得可能な2次元分光への期待が高まっている。2次元分光は、面分光、あるいはハイパースペクトルイメージングとも呼ばれる。2次元分光情報が得られれば、例えば取得データから任意の波長の画像を抽出でき、例えば銀河などの広がった天体について詳細に解析ができる。従来の2次元分光法では、例えば2次元平面の各点（複数の測定領域）をスキャンしつつ、各点についてFT-IRを行い、2次元分光情報を取得できる。ところが、従来の2次元分光法では空間掃引に時間がかかるため、動的対象物の計測が困難であるという問題があった。一方、一度に2次元分光情報を取得できれば、様々な動的対象物の分光計測を正確に行うことができる。

[0004] 2次元分光の手法としては、例えば可変バンドパスフィルタで透過させる波長帯を掃引しながら取得する手法などが挙げられる。非特許文献1には、可変バンドパスフィルタで透過させる波長帯を掃引しつつ、2次元の空間情

報と1次元の波長情報とを取得する手法に適用可能な可変バンドパスフィルタが開示されている。

先行技術文献

非特許文献

- [0005] 非特許文献1: H. R. Morris, C. C. Hoyt, P. Miller and P. J. Treado, “Liquid Crystal Tunable Filter Raman Chemical Imaging,” Appl. Spectrosc. vol. 50, no. 6, pp. 805-811 (1996).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、非特許文献1に開示されている可変バンドパスフィルタで異なる波長帯の光を透過させて2次元の空間情報と1次元の波長情報とを取得する場合、波長帯を掃引する必要があるため、掃引時間がかかり、瞬時に高解像度の波長情報やスペクトル分布などの分光情報を得るのは困難であるという問題があった。そのため、上述の可変バンドパスフィルタを用いて波長帯を掃引する2次元分光は、動的現象の計測には不向きであった。
- [0007] 本発明は、上述の問題を解決するためになされたものであって、瞬時に高解像度の分光情報を取得し、リアルタイムで2次元分光計測を可能とする2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置を提供する。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の2次元分光計測方法は、周波数軸で零に対して所定のオフセット周波数を有する第1の周波数モードと前記周波数軸で前記第1の周波数モードに対して所定の繰り返し周波数の整数倍の間隔をあけて並ぶ複数の第2の周波数モードとを有し、前記繰り返し周波数が前記オフセット周波数の4倍である第1の光周波数コムを生成する光周波数コム生成工程と、前記第1の光周波数コムを第2の光周波数コムと第3の光周波数コムに分け、前記第2の光周波数コムを第4の光周波数コムと第5の光周波数コムに分け、前記第4の光周波数コムの時間軸上の位相を前記第5の光周波数コムの時間軸上の

位相に対して 90° ずらす位相差付与工程と、前記第3の光周波数コムまたは前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムを試料に照射し、前記試料から出射されて光学情報を含む前記第3の光周波数コムまたは前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムを得る試料照射工程と、何れかに前記光学情報を含む前記第4の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第1の干渉信号を生成し、何れかに前記光学情報を含む前記第5の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第2の干渉信号を生成する干渉信号生成工程と、前記第1の干渉信号と前記第2の干渉信号から包絡線強度を取得する包絡線強度取得工程と、前記包絡線強度に基づいて前記試料の光学情報を抽出する光学情報抽出工程と、を備える。

[0009] 上述の2次元分光計測方法では、前記時間軸上における前記第4の光周波数コムと前記第5の光周波数コムとの位相のずれに応じて前記繰り返し周波数を調整する繰り返し周波数調整工程をさらに備えてもよい。

[0010] また、上述の2次元分光計測方法では、前記包絡線強度取得工程において、透過率の波長依存性が互いに逆である2枚のフィルタのそれぞれを前記包絡線強度が通過したときの透過強度を取得し、前記光学情報抽出工程において、前記透過強度の比に基づいて前記光学情報を算出してもよい。

[0011] また、上述の2次元分光計測方法では、前記光学情報抽出工程において、前記第2の光周波数コムまたは前記第3の光周波数コムに所定の遅延時間を付加し、前記光学情報を含む強度スペクトル及び位相スペクトルを取得してもよい。

[0012] 本発明の2次元分光計測装置は、周波数軸で零に対して所定のオフセット周波数を有する第1の周波数モードと前記周波数軸で前記第1の周波数モードに対して所定の繰り返し周波数の整数倍の間隔をあけて並ぶ複数の第2の周波数モードとを有し、前記繰り返し周波数が前記オフセット周波数の4倍である第1の光周波数コムを出射する光周波数コム出射部と、前記第1の光周波数コムを第2の光周波数コムと第3の光周波数コムに分ける第1の分岐部と、前記第2の光周波数コムを第4の光周波数コムと第5の光周波数コム

に分ける第2の分岐部と、前記第4の光周波数コムとの時間軸上の位相を前記第5の光周波数コムとの時間軸上の位相に対して 90° ずらす位相差付与部と、前記第3の光周波数コムまたは前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムは任意の光学情報を含み、前記第4の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第1の干渉信号を生成し、前記第5の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第2の干渉信号を生成する干渉信号生成部と、前記第1の干渉信号と前記第2の干渉信号との包絡線強度を取得する包絡線強度取得部と、前記包絡線強度に基づいて前記光学情報を抽出する光学情報抽出部と、を備える。

[0013] 上述の2次元分光計測装置において、前記位相差付与部から出射された前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムの一部を取得し、前記光周波数コム出射部にフィードバックするフィードバック機構をさらに備えてもよい。

[0014] 上述の2次元分光計測装置において、前記包絡線強度取得部は、透過率の波長依存性が互いに逆である2枚のフィルタを備え、前記包絡線強度が前記2枚のフィルタのそれぞれを通過したときの透過強度を取得し、前記光学情報抽出部は、前記透過強度の比に基づいて前記光学情報を算出してもよい。

[0015] 上述の2次元分光計測装置は、前記第2の光周波数コムまたは前記第3の光周波数コムに所定の遅延時間を付加する遅延機構をさらに備え、前記光学情報抽出部において、前記光学情報を含む強度・位相スペクトルを取得してもよい。

[0016] 上述の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置において、前記光学情報は、前記第3の光周波数コム、前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムの中の何れか1つの光周波数コムとの光路上の屈折率の分布、前記屈折率の揺らぎ、前記第3の光周波数コムとの進路上に、または前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムとの進路上に配置した試料の形状の何れかを含む。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、瞬時に高解像度の分光情報を取得し、リアルタイムで2次元分光計測を可能とする2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の2次元分光計測方法を説明するための図であり、光周波数コムの時間軸上の電場分布（上段）及び周波数軸上の強度分布（下段）の模式図である。

[図2]繰り返し周波数がキャリア・エンベロップ・オフセットの4倍である関係を保つように制御された光周波数コムの時間軸上の電場分布を示す模式図である。

[図3]互いに位相が 90° ずれた光周波数コム（光パルス列）を生成するパルス生成光学系の概略図である。

[図4]光周波数コムにおける時間軸上で1番目の光パルスと2番目の光パルスとの時間間隔を説明するための模式図である。

[図5]光周波数コムの光路に生じた変動を安定化させる光学系の一例を示す概略図である。

[図6]本発明の2次元分光計測装置に適用可能な干渉信号強度取得装置の構成を示す概略図である。

[図7]図6に示す干渉信号強度取得装置及び図11に示す2次元分光計測装置の遅延機構の構成を示す模式図である。

[図8]図6に示す干渉信号強度取得装置のハーフミラーにおける光周波数コムの透過／反射の様子を示す斜視図である。

[図9]図6に示す干渉信号強度取得装置の別のハーフミラーにおける光周波数コムの透過／反射の様子を示す斜視図である。

[図10]図6に示す干渉信号強度取得装置のさらに別のハーフミラーにおける光周波数コムの透過／反射の様子を示す斜視図である。

[図11]互いに位相が 90° ずれた干渉信号の包絡線強度分布を示す模式図である。

[図12]本発明の2次元分光計測装置の構成を示す概略図である。

[図13]図12に示す2次元分光計測装置のフィルタの透過率の波長依存性を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置の実施形態について、図面を参照して説明する。

[0020] <原理的説明>

図1は、光周波数コムの時間軸上の電場分布（上段）及び周波数軸上の強度分布（下段）を示す模式図である。周波数軸上の強度分布は、スペクトル分布を表す。図1の上段に示すように、一定の繰り返しで発振される光パルス列の繰り返し時間 T_{rep} と周波数間隔 f_{rep} の間には、(1)式に示す関係が成り立つ。

[0021] [数1]

$$f_{rep} = \frac{1}{T_{rep}} \quad \dots (1)$$

[0022] それぞれの光パルス列は、光源の共振器などの内部で伝搬する多くの縦モードの重ね合わせから成り立っている。光パルス列は、これらの縦モードの重ね合わせの波である搬送波と、搬送波の包絡線を構成する波束によって構成されている。搬送波は、キャリアとも呼ばれる。搬送波の包絡線は、エンベロップとも呼ばれる。このような光パルス列では、搬送波の速度と波束の速度は互いに異なるため、時間の経過に伴い、位相差が生じる。レーザー共振器は分散媒質によって構成される。時間軸上で所定の繰り返し時間 T_{rep} の間隔ごとに繰り返し発せられる光パルス列では、隣り合うパルス間に位相のずれ ϕ_{CEO} が生じる。位相のずれ ϕ_{CEO} の周期は、時間 T_{CEO} で一周期する。

[0023] 時間軸上における上述の超短パルス列をフーリエ変換し、周波数軸上で観測すると、図1の下段に示すように、互いに繰り返し時間 T_{rep} の逆数に相当する繰り返し周波数 f_{rep} の間隔をあけて並んだ多数の周波数モードが観測される。

[0024] 図1の下段に示すように、光周波数コムは、周波数軸で零に対して所定のキャリア・エンベロップ・オフセット (Carrier Envelope Offset: CEO、オフセット周波数) f_{CEO} を有する周波数モード (第1の周波数モード) f_0 と、周波数軸で周波数モード f_0 に対して所定の繰り返し周波数 f_{rep} の整数倍の間隔をあけて並ぶ複数の周波数モード (第2の周波数モード) f_m と、を有する。光周波数コムのキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} は、時間 T_{CEO} の逆数に相当する。そして、キャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} 、位相のずれ ϕ_{CEO} 、時間 T_{CEO} の間には、(2) 式に示す関係が成り立つ。

[0025] [数2]

$$f_{CEO} = \left(\frac{\phi_{CEO}}{2\pi} \right) f_{rep} \quad \dots (2)$$

[0026] 光周波数コムの n 番目のスペクトルの周波数は、繰り返し周波数 f_{rep} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} とをパラメータとして、(3) 式のように表される。

[0027] [数3]

$$f(n) = n \times f_{rep} + f_{CEO} \quad \dots (3)$$

[0028] 上述の相互関係をふまえ、光周波数コムの複数の周波数モードに関するパラメータを制御することで、搬送波や包絡線を制御することができる。本実施形態では、光周波数コムの2つのパラメータ、すなわち繰り返し周波数 f_{rep} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} が(4)式の関係を保つように、光周波数コムの複数の周波数モードに関するパラメータを制御する。

[0029] [数4]

$$f_{rep} = 4 \times f_{CEO} \quad \dots (4)$$

[0030] 図2は、繰り返し周波数 f_{rep} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} が(4)式の関係を保つように制御された光周波数コムの時間軸上の電場分布を示す模式図である。図2に示すように、時間軸上で隣り合う光パルスの位相のずれは、 $(\pi/2) = 90^\circ$ になる。基準とする光パルスから時間軸

上で4つ前方の光パルスには、基準とする光パルスと同じ位相及び波形パターンが表れる。時間 T_{CEO} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} の間には、(5)式の関係が成り立つ。

[0031] [数5]

$$T_{CEO} = \frac{1}{f_{CEO}} \quad \dots (5)$$

[0032] 図3は、互いに位相が 90° ずれた光パルス列を生成する光学系120の一例を示す概略図である。図3に示すように、光学系120は、光周波数コム出射部103と、ハーフミラー(第2の分岐部)112、ハーフミラー118と、全反射ミラー114, 116と、遅延付与部(位相差付与部)123とを備える。光周波数コム出射部103は、不図示のファンクションジェネレーターなどを備える。光周波数コム出射部103は、ファンクションジェネレーターの操作によって繰り返し周波数 f_{rep} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} が(4)式の関係を保つように主にキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} を制御し、キャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} が制御された光周波数コムC1を出射する。

[0033] 光周波数コムC1は、ハーフミラー112を透過し、光周波数コムC4と光周波数コムC5に分離される。光周波数コムC4は、全反射ミラー116で反射され、ハーフミラー118に入射する。光周波数コムC5は、ハーフミラー112及び全反射ミラー114で反射され、遅延付与部123を通り、ハーフミラー118に入射する。遅延付与部123は、それぞれの反射面を対向させた2枚の全反射ミラー121, 122で構成されている。全反射ミラー114で反射された光周波数コムC5は、遅延付与部123に入射し、光路をずらしつつ全反射ミラー121, 122の反射面の間を所定の回数往復し、ハーフミラー118に向けて出射する。ハーフミラー118に入射する光周波数コムC4, C5の一方の位相が他方の位相に対して 90° だけずれるように、全反射ミラー121, 122の位置及び離間距離が調整されている。すなわち、光学系120では、光周波数コムを分岐し、一方を他方

に対してある光パルスと時間軸上で1つ後の光パルスとの時間差の分だけ、遅延させる。時間軸上で隣り合う光パルスの時間差は、繰り返し時間 T_{rep} 分に相当する。

[0034] 図3に示すように、光学系120では、各種ミラーの振動や空気揺らぎなどによって、光周波数コムC4、C5の各々の光路長差が変動する。このことをふまえ、光周波数コムC1の繰り返し周波数 f_{rep} を制御し、光周波数コムC1の光パルスの繰り返し時間 T_{rep} を微調整することによって、光周波数コムC4、C5の光路差の変動を吸収し、光周波数コムC4、C5を安定させることができる。図4は、時間軸上で基準とする光周波数コムC1の1番目の光パルス〈図3及び図4に示す“1st”の光パルス〉と2番目の光パルス〈図3及び図4に示す“2nd”の光パルス〉との時間間隔を説明するための模式図である。1番目の光パルスと時間軸上で隣り合う2番目の光パルスとの繰り返し時間 T_{rep1} 、 T_{rep2} 、 T_{rep3} は、繰り返し周波数 f_{rep1} 、 f_{rep2} 、 f_{rep3} によって(6)式～(8)式のように表される。

[0035] [数6]

$$T_{rep1} = \frac{1}{f_{rep1}} \quad \dots (6)$$

[0036] [数7]

$$T_{rep2} = \frac{1}{f_{rep2}} \quad \dots (7)$$

[0037] [数8]

$$T_{rep3} = \frac{1}{f_{rep3}} \quad \dots (8)$$

[0038] 図4及び(6)式～(8)式に示す T_{rep} と f_{rep} との相対関係をふまえ、光周波数コムC1の繰り返し周波数 f_{rep} を制御する。

[0039] 図4及び(6)式～(8)式からわかるように、光周波数コム出射部103のファンクションジェネレーターなどを操作し、光周波数コムC1の繰り返し周波数 f_{rep} を制御することによって、繰り返し時間 T_{rep} を制御できる

。

[0040] 図3に示すように、互いに位相が 90° ずれた光周波数コムC4, C5の時間軸上における光パルス1つ分のずれに対して、光周波数コムC4, C5のそれぞれの光路に生じた変動によって、さらに時間差 δ が加わる、または時間差 δ が減じられる。図5は、光周波数コムC4, C5の光路に生じた変動を安定化させることが可能な光学系124の一例を示す概略図である。光学系124は、光学系120の構成に加え、ハーフミラー126と、フィードバック機構128と、を備える。ハーフミラー126は、ハーフミラー118より光周波数コムC4, C5の進行方向の前方に配置されている。フィードバック機構128は、ハーフミラー126で分離され、且つハーフミラー126を透過する光周波数コムC4, C5とは異なる光周波数コムC4, C5の進路上に配置されている。ハーフミラー118によって合波され、且つ時間差 δ を含む光周波数コムC4, C5は、ハーフミラー126で2つに分離される。分離された一方の光周波数コム（第4の光周波数コム及び第5の光周波数コムの一部）C4, C5はハーフミラー126で反射され、フィードバック機構128に入力し、光周波数コム出射部103にフィードバックされる。このことによって、光周波数コムC1の繰り返し周波数 f_{rep} が調整される。図5に示すように、光周波数コム出射部103から出射される光周波数コムC1の繰り返し時間 T_{rep} が時間差 δ だけ増減される。繰り返し時間 T_{rep} が時間差 δ で調整されることによって、ハーフミラー118に入射する光周波数コムC4, C5同士の位相のずれが再び 90° 、すなわち光パルス1つ分になる。

[0041] <干渉信号強度取得装置>

図6は、本発明の干渉信号強度取得装置であって、互いに 90° だけ位相がずれた干渉強度信号を瞬時に得る干渉強度信号取得光学系130の構成を示す概略図である。干渉強度信号取得光学系130は、光周波数コム出射部103と、部分光学系124Pと、分岐部150と、遅延機構206と、撮像カメラ（包絡線強度取得部）161とを備える。図6に示す部分光学系1

24Pは、図5に示す光学系124のうち、光周波数コム出射部103を除いた構成を示す。分岐部150は、光周波数コムC6、C7を光周波数コムC3から取り出す。分岐部150は、ハーフミラー（干渉信号生成部）152、ハーフミラー（第1の分岐部）153、155、158と、全反射ミラー154、156、157とを備える。

[0042] 光周波数コム出射部103は、繰り返し周波数 f_{rep} がキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} の4倍である光周波数コム（第1の光周波数コム）C1を出射する。第1の分岐部104は、光周波数コムC1を光周波数コム（第2の光周波数コム）C2と光周波数コム（第3の光周波数コム）C3に分ける。第2の分岐部105は、光周波数コムC2を光周波数コム（第4の光周波数コム）C4と光周波数コム（第5の光周波数コム）C5に分ける（図5参照）。位相差付与部106は、光周波数コムC4の時間軸上の位相と光周波数コムC5の時間軸上の位相とを 90° ずらす。干渉信号生成部107は、光周波数コムC4と任意の光学情報を含む光周波数コム（第3の光周波数コム）C6とを干渉させて干渉信号（第1の干渉信号）IM1を生成し、光周波数コムC5と光学情報を含む光周波数コム（第3の光周波数コム）C7とを干渉させて干渉信号（第2の干渉信号）IM2を生成する。

[0043] 本明細書における光学情報には、各光周波数コム自身が有する光学的特性や各光周波数コムの光路上の屈折率の分布・揺らぎや、光路上に配置された試料を通過することにより付加される試料の形状などがすべて含まれる。また、試料の形状には、試料の表面の凹凸形状、試料の内部の構造などが含まれる。つまり、干渉強度信号取得光学系130によれば、試料の表面あるいは内部構造といった形状の情報を取得できる。例えば、図6に示す干渉強度信号取得光学系130のように試料Sが設置されていない場合、光学情報は光周波数コムC3自身が有する光学的特性や光周波数コムC3、C6、C7の光路上の屈折率の分布・揺らぎを意味する。一方、後述する2次元分光計測装置200のように測定対象の試料Sが配置されている場合、光学情報としては試料Sの形状を含む光学的特性が主体になる。図11に示すように、

包絡線強度取得部 108 は、干渉信号 IM1 と干渉信号 IM2 との包絡線強度 EV を取得する。

[0044] 図 6 に示すように、光周波数コム出射部 103 から出射された光周波数コム C1 は、ハーフミラー 153 によって、光周波数コム C2, C3 に分離される。光周波数コム C2 は、部分光学系 124P に入射し、上述したように互いに位相が 90° だけずれた光周波数コム C4, C5 として出射する。一方、ハーフミラー 153 で反射された光周波数コム C3 は、分岐部 150 に入射し、全反射ミラー 154 で反射され、ハーフミラー 155 で光周波数コム C6, C7 に分離される。

[0045] 遅延機構 206 は、光周波数コム C3 に所定の遅延時間を付加する機構であり、光周波数コム C3 の進路上に配置されている。遅延機構 206 は、図 7 に示すように、それぞれの反射面 207r が対向配置された 2 個の全反射プリズム 207 を有する。遅延機構 206 が矢印 M に沿って移動することによって、光周波数コム C3 の光路長が変わり、所定の遅延時間が付加される。

[0046] 図 8 は、部分光学系 124P (すなわち、光学系 124) のハーフミラー 118 における光周波数コム C4 の反射及び光周波数コム C5 の透過の様子を示す模式図である。図 7 に示すように、光周波数コム C4, C5 のうち、光周波数コム C4 は、ハーフミラー 118 の反射面 118a に入射し、上面視で入射方向に対して略直角に反射される。一方、光周波数コム C4, C5 のうち、光周波数コム C5 は、ハーフミラー 118 の反射面 118a とは反対側の面 118b 及び反射面 118a を透過し、上面視で光周波数コム C4 の進路と重なる進路に沿ってハーフミラー 118 から出射される。高さ方向においては、光周波数コム C4, C5 のそれぞれの進路は、互いにずれている。

[0047] 図 9 は、分岐部 150 のハーフミラー 158 における光周波数コム C6 の反射及び光周波数コム C7 の透過の様子を示す模式図である。図 9 に示すように、光周波数コム C6, C7 のうち、光周波数コム C6 は、ハーフミラー

158の反射面158aに入射し、上面視で入射方向に対して略直角に反射される。一方、光周波数コムC6, C7のうち、光周波数コムC7は、ハーフミラー158の反射面158aとは反対側の面158b及び反射面158aを透過し、上面視で光周波数コムC6の進路と重なる進路に沿ってハーフミラー158から出射される。高さ方向においては、光周波数コムC6, C7のそれぞれの進路は、互いにずれている。光周波数コムC6の進路の高さは光周波数コムC4の高さと一致し、光周波数コムC7の高さは光周波数コムC5の高さと一致している。

[0048] 図10は、分岐部150のハーフミラー152における光周波数コムC4, C5の透過及び光周波数コムC6, C7の反射の様子を示す模式図である。図10に示すように、ハーフミラー118から出射された光周波数コムC4, C5は、ハーフミラー152の反射面152aとは反対側の面152bを透過する。一方、ハーフミラー158から出射された光周波数コムC6, C7は、ハーフミラー152の反射面152aによって上面視で入射方向に対して略直角に反射され、面152bを透過した光周波数コムC4, C5と干渉し合い、干渉信号IM1, IM2が生成される。干渉信号IM1は光周波数コムC4, C6同士の干渉信号であり、干渉信号IM2は光周波数コムC5, C7同士の干渉信号である。本実施形態では、図8から図10に示すように、ハーフミラー118における光周波数コムC4, C6同士の照射位置を互いに異ならせ、ハーフミラー158における光周波数コムC5, C7同士の照射位置を互いに異ならせる。このことによって、光周波数コムC4, C6が重なって干渉信号IM1が生成される位置と、光周波数コムC5, C7が重なって干渉信号IM2が生成される位置とを異ならせる。

[0049] 光周波数コムC4, C5同士の位相が互いに90°ずれているので、干渉信号IM1, IM2同士の位相は、互いに90°ずれている。図11は、干渉信号IM1, IM2から得られる包絡線強度EVの一例を示すグラフである。撮像カメラ161によって、ある瞬間の干渉信号IM1の強度T1と干渉信号IM2の強度T2を取得すれば、 $\{(T1)^2 + (T2)^2\}^{1/2}$ を算出

することによって、包絡線強度 E_V が瞬時に得られる。

[0050] 上述のように、包絡線強度 E_V は、撮像カメラ 161 によって検出される。撮像カメラ 161 で検出された包絡線強度 E_V は、撮像カメラ 161 に付属の処理部（図示略）によって適宜処理される。処理部は、例えば撮像カメラ 161 に接続されているコンピュータに内蔵されているプログラムなどである。干渉強度信号取得光学系 130 では、互いに 90° だけ位相がずれた干渉信号 I_{M1} 、 I_{M2} の包絡線強度 E_V が瞬時に得られる。

[0051] <2次元分光計測装置>

図 12 は、本発明の 2次元分光計測装置 200 の構成を示す概略図である。図 12 に示すように、2次元分光計測装置 200 は、上述した干渉強度信号取得光学系 130 の構成に加え、単体の撮像カメラ 161 に替えて、波長情報取得部 208 を備える。2次元分光計測装置 200 においても、フィードバック機構 128 によって光周波数コム C_4 、 C_5 が光周波数コム出射部 103 にフィードバックされ、光周波数コム C_4 、 C_5 との位相のずれ（時間差 δ 、図 3 参照）に応じて繰り返し周波数 f_{rep} が調整されている。

[0052] 波長情報取得部 208 は、ハーフミラー 231 と、全反射ミラー 232 と、フィルタ F_1 、 F_2 と、互いに同じ画素数を有する 2 台の撮像カメラ 241、242 と、画像処理部（光学情報抽出部）250 とを備える。干渉強度信号取得光学系 130 の全反射ミラー 154 は、ハーフミラー 159 に替えられている。分光計測の対象である試料 S は、ハーフミラー 159 を透過する光周波数コム C_3 の進路上に配置されている。

[0053] 図 12 に示すように、ハーフミラー 153 で反射された光周波数コム C_3 は、ハーフミラー 159 を透過し、試料 S に照射される。試料 S から反射された光周波数コム C_3 には、試料 S の分光情報や位相・形状に関する情報をすべて含む光学情報が含まれる。光周波数コム C_3 からハーフミラー 155 によって 2 つに分けられた光周波数コム C_6 、 C_7 にも試料 S の光学情報が含まれる。試料 S の光学情報は、干渉信号 I_{M1} 、 I_{M2} に反映される。干渉信号 I_{M1} 、 I_{M2} の包絡線強度 E_V は、ハーフミラー 231 によって 2

つに分けられ、分けられた2つの包絡線強度 $E V 1$ 、 $E V 2$ はそれぞれフィルタ $F 1$ 、 $F 2$ を通過する。

[0054] 図13は、フィルタ $F 1$ 、 $F 2$ の透過率の波長依存性を示すグラフである。図13に示すように、フィルタ $F 1$ 、 $F 2$ の透過率の波長依存性は互いに逆である。フィルタ $F 1$ の透過率は、波長が増加するにしたがって概ね低下する。一方、フィルタ $F 2$ の透過率は、波長が増加するにしたがって概ね上昇する。このようにフィルタ $F 1$ 、 $F 2$ の透過率の波長依存性が互いに逆であることによって、これらのフィルタ $F 1$ 、 $F 2$ を通過させた包絡線強度 $E V 1$ 、 $E V 2$ に関する光強度比と波長との1対1対応が成立する。

[0055] 画像処理部50では、フィルタ $F 1$ 、 $F 2$ を通して撮像カメラ241、242で取得した試料Sの測定領域ごとの包絡線強度 $E V 1$ 、 $E V 2$ の透過強度の比が算出される。撮像カメラ241、242の各画素について算出した包絡線強度 $E V 1$ 、 $E V 2$ の透過強度の比に基づいて、各画素の信号強度比が求まり、包絡線強度 $E V$ の分布内の各強度を発現する波長が瞬時に決定される。瞬時に波長情報を得ることで、各空間位置（測定領域）における試料Sから反射された光周波数 $\omega C 3$ の位相情報が計測される。光周波数 $\omega C 3$ の位相情報は、時間差であって、物理的な位置の違いや屈折率の違いを示す。本実施形態では、物理的な位置を瞬時に取得する際には、試料Sから反射された光周波数 $\omega C 6$ の位相スペクトルは基本的に変化しないと想定する。

[0056] <2次元分光計測方法>

本発明の2次元分光計測方法は、光周波数 ω 生成工程と、位相差付与工程と、試料照射工程と、干渉信号生成工程と、包絡線強度取得工程と、光学情報抽出工程とを備える。本発明の一実施形態の2次元分光計測方法は、2次元分光計測装置200を用いて干渉信号 $I M 1$ 、 $I M 2$ の包絡線強度 $E V$ を瞬時に取得し、取得した包絡線強度 $E V$ に基づいて試料Sの光学情報を得ることが可能な方法である。

[0057] 光周波数 ω 生成工程では、光周波数 $\omega C 1$ を生成する（図1参照）。

光周波数コムC1は、周波数軸で零に対して所定のキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} を有する周波数モード f_0 と、周波数軸で周波数モード f_0 に対して所定の繰り返し周波数 f_{rep} の整数倍の間隔をあけて並ぶ複数の周波数モード f_m と、を有する。光周波数コムC1では、 $f_{rep} = 4 \times f_{CEO}$ の関係が成立している。前述の関係を成立させるために、光周波数コム出射部103のファンクションジェネレーターなどを用いて、キャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} 及び繰り返し周波数 f_{rep} を制御する。

[0058] 次に、位相差付与工程では、光周波数コムC1をハーフミラー153で光周波数コムC2と光周波数コムC3に分け、光周波数コムC2をさらにハーフミラー112（図3参照）で光周波数コムC4と光周波数コムC5に分ける。続いて、遅延付与部123によって、光周波数コムC5の時間軸上の位相を光周波数コムC4の時間軸上の位相に対して 90° ずらす。

[0059] 次に、試料照射工程では、光周波数コムC3または光周波数コムC4、C5を試料Sに照射し、試料Sから出射されて光学情報を含む光周波数コムC3または光周波数コムC4、C5を得る。

[0060] 本実施形態では、光周波数コムC3、または光周波数コムC4、C5に任意の光学情報を含む。干渉信号生成工程では、何れかに光学情報を含む光周波数コムC4と光周波数コムC6とを合わせて干渉させ、干渉信号IM1を生成する。干渉信号生成工程では、何れかに光学情報を含む光周波数コムC5と光周波数コムC7とを合わせて干渉させ、干渉信号IM2を生成する。

[0061] 次に、包絡線強度取得工程では、干渉信号IM1、IM2を撮像カメラ161で同時に検出し、包絡線強度EVを得る。

[0062] 次に、光学情報抽出工程では、包絡線強度EVに基づいて試料Sの光学情報を抽出する。本実施形態では、包絡線強度取得工程において、包絡線強度EVを2つの包絡線強度EV1、EV2に分け、包絡線強度EV1、EV2がフィルタF1、F2のそれぞれを通過したときの透過強度を撮像カメラ241、242で取得する。その後、包絡線強度取得工程で取得した包絡線強度EV1、EV2の透過強度の比に基づいて試料Sに関する波長情報を瞬時

に取得し、画像処理部250によって前述の波長情報から試料Sの光学情報を算出する。具体的には、予め計測した強度の比から求めた波長情報と遅延距離の関係と比較することで、試料Sの2次元分光情報または3次元形状を算出できる。

[0063] 本実施形態の2次元分光計測方法は、上述の各工程に加え、さらに周波数調整工程を備えている。周波数調整工程では、フィードバック機構128によって光周波数コムC4、C5の一部を光周波数コム出射部103にフィードバックし、光周波数コムC4、C5との位相のずれ（時間差 δ 、図3参照）に応じて繰り返し周波数 f_{rep} を調整する。

[0064] 以上説明したように、本実施形態の2次元分光計測方法は、上述の光周波数コム生成工程と、位相差付与工程と、干渉信号生成工程と、包絡線強度取得工程と、光学情報抽出工程と、を備える。本実施形態の2次元分光計測装置200は、上述の光周波数コム出射部103と、第1の分岐部104と、第2の分岐部105と、位相差付与部106と、干渉信号生成部107と、包絡線強度取得部108と、画像処理部250と、を備える。本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200では、光周波数コムの繰り返し周波数 f_{rep} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} を制御して $f_{rep} = 4 \times f_{CEO}$ とし、繰り返し周波数 f_{rep} が制御された光周波数コムを2つに分けて互いに位相が 90° ずれた光周波数コムを生成する。互いに位相が 90° ずれた2つの光周波数コムは、参照光として機能する光パルス列である。これらの2つの光周波数コムのそれぞれと任意の光学情報を含む光周波数コムとを干渉させ、 90° 位相がずれた干渉信号を光学的にリアルタイムで生成する。任意の光学情報を含む光周波数コムは、プローブ光として機能する光パルス列である。このことによって、干渉信号の包絡線強度を瞬時に、計測時においてリアルタイムに取得できる。光周波数コムを用いることによって、繰り返し周波数 f_{rep} とキャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} が原子時計と同程度の安定性と正確性をもって制御される。キャリア・エンベロップ・オフセット f_{CEO} を制御することによって、時間軸上で隣り合う

光パルス同士の位相差を活かし、計測時のターゲットとする全波長域で原理的に位相差を正確に揃えることができる。したがって、本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200によれば、瞬時に高解像度の分光情報を取得でき、リアルタイムで2次元分光計測を行うことができる。

[0065] 本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200では、第4の光周波数コムと第5の光周波数コムを光周波数コム出射部103にフィードバックし、第4の光周波数コムと第5の光周波数コムとの位相のずれ（時間差 δ ）に応じて繰り返し周波数 f_{rep} を調整する。このことによって、参照光の光周波数コム同士の位相のずれをなくすことができる。本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200によれば、2次元分光計測装置200を構成するミラーなどの光学素子が振動して光周波数コムの光路に変動が生じた場合であっても、従来のようにピエゾ素子などのように機械的に駆動する構成を光学系に追加しなくても、光周波数コムの光路の変動を光学的に補償できる。

[0066] 本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200では、透過率の波長依存性が互いに逆である2枚のフィルタF1, F2を包絡線強度EV1, EV2が通過したときの透過強度を取得し、取得した包絡線強度EV1, EV2の透過強度の比に基づいて試料Sの光学情報を算出する。このような検出手法によって、包絡線強度EVに含まれる試料Sの波長情報を瞬時に取得でき、取得した波長情報から試料Sの光学情報をリアルタイムで高解像度を取得できる。

[0067] 本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200では、遅延機構206によって光周波数コムC3に所定の遅延時間を付加することによって、光学情報を含む強度・位相スペクトルを取得できる。

[0068] 本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置200で得られる光学情報は、光周波数コムC3または光周波数コムC4, C5の光路上の屈折率の分布・揺らぎ、試料Sの形状の何れかを含み、上述の構成では試料Sの3次元形状が含まれる。本実施形態の2次元分光計測方法及び2次元分

光計測装置 200 によれば、包絡線強度 E_V に基づいて試料 S の 3 次元形状を取得できるので、瞬時かつリアルタイムの 3 次元形状計測を実現し、天文分野や物性分野をはじめとする広い分野に適用できる。

[0069] 以上、本発明の好ましい実施形態について詳述したが、本発明は上述の実施形態に限定されない。本発明は、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、変更可能である。

[0070] 例えば、上述の実施形態では、光周波数コム C_3 が試料 S を通過することによって、光周波数コム C_3 に試料 S の光学情報が付与されるが、試料 S の光学情報は、光周波数コム C_3 に替えて光周波数コム C_4 、 C_5 に付与されてもよい。その場合は、光周波数コム C_4 、 C_5 の偏光を互いに直交させて合波し、試料 S を通過させた後に分波する。試料 S の光学情報を含む光周波数コム C_4 、 C_5 のそれぞれと試料 S の光学情報を含まない光周波数コム C_6 、 C_7 との干渉信号（第 1 の干渉信号、第 2 の干渉信号）を得ることによって、上述の実施形態と同様の作用効果が得られる。但し、試料 S の光学情報は、偏光依存性を有しておらず、偏光依存性を考慮せずに取得できると想定する。

[0071] 図 12 に示す 2 次元分光計測装置 200 では、試料 S から反射された光周波数コム C_3 を取得しているが、光周波数コム C_3 を試料 S に照射して試料 S から透過した光周波数コム C_3 を取得してもよい。その場合、ハーフミラー 159 を全反射ミラーに替え、試料 S を光周波数コム C_3 の進路上で前述のように置き換えた全反射ミラーとハーフミラー 155 との間に配置すればよい。

[0072] 上述の実施形態の 2 次元分光計測装置 200 において、試料 S に関する位相スペクトルを測定する際には、試料 S から反射された光周波数コム C_3 の位相スペクトルが波長に対して変化してもよい。但し、その場合の光周波数コム C_3 の位相スペクトルの変化は、波長に対して一意に決まらなければならない。試料 S に関する位相スペクトルは、光周波数コム C_3 または光周波数コム C_1 に対して時間遅延を加え、干渉信号 I_{M1} 、 I_{M2} の強度の遅延

時間依存性を測定することによって取得できる。

[0073] 上述の実施形態において、遅延機構206は、ハーフミラー153, 159の間の光周波数コムC3の進路上、ハーフミラー153, 112の間の光周波数コムC2の進路上のいずれかに配置されればよい。遅延機構206の構成は、所定の光周波数コムに所定の遅延時間を付加できれば、特に限定されない。上述の実施形態の2次元分光計測装置200において、試料Sの3次元形状を瞬時に計測する際には、遅延機構206で時間掃引する必要はない。光周波数コムC3には、試料Sを透過あるいは反射させたときに、試料Sの形状に由来する遅延時間が与えられる。試料Sの3次元形状を瞬時に計測する場合は、遅延時間が与えられた光周波数コムC3を、遅延機構206を除いた上述の実施形態の2次元分光計測装置200で計測することによって、試料Sの形状に由来する遅延時間を波長情報として瞬時に取得できる。このような波長情報を取得することは、試料Sの瞬時3次元形状計測を行うことと同じである。

[0074] 上述の実施形態では、光周波数コムの光学的特性に起因する正確さと安定性が維持された状態で、試料Sの典型的な光学情報として奥行き情報、すなわち3次元形状が得られる。但し、本発明の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置によって得られる試料Sの光学情報は、光周波数コムの光パルス列が干渉信号生成部に到達する時間をずらすものであれば3次元形状に限定されない。本発明の2次元分光計測方法及び2次元分光計測装置によって得られる試料Sの光学情報には、例えば屈折率の揺らぎなどが含まれる。取得したい試料Sの光学情報の種類に応じて、波長情報取得部や光学情報抽出部の構成、処理部のプログラムによる処理内容を適宜変更できる。

[0075] 上述の実施形態では、光周波数コムC4, C5, C6, C7をチャープしてもよい。光周波数コムC4, C5, C6, C7をチャープする場合は、これらの光周波数コムの元である光周波数コムC2, C3のそれぞれの光路上に適当な分散媒質を設置し、その分散媒質に光周波数コムC2, C3を通過させればよい。このように分散媒質を通過させて光周波数コムC4, C5,

C 6, C 7 をチャープした場合、干渉信号 $I M 1$, $I M 2$ は変化しないので、上述の実施形態と同様の作用効果が得られる。

符号の説明

- [0076] 1 0 3 . . . 光周波数コム出射部
1 0 4 . . . 第 1 の分岐部
1 0 5 . . . 第 2 の分岐部
1 0 6 . . . 位相差付与部
1 0 7 . . . 干渉信号生成部
1 0 8 . . . 包絡線強度取得部
1 3 0 . . . 干渉強度信号取得光学系（干渉信号強度取得装置）
C 1 . . . 光周波数コム（第 1 の光周波数コム）
C 2 . . . 光周波数コム（第 2 の光周波数コム）
C 3 . . . 光周波数コム（第 3 の光周波数コム）
C 4 . . . 光周波数コム（第 4 の光周波数コム）
C 5 . . . 光周波数コム（第 5 の光周波数コム）
C 6 . . . 光周波数コム（第 3 の光周波数コム）
C 7 . . . 光周波数コム（第 3 の光周波数コム）
S . . . 試料

請求の範囲

[請求項1] 周波数軸で零に対して所定のオフセット周波数を有する第1の周波数モードと前記周波数軸で前記第1の周波数モードに対して所定の繰り返し周波数の整数倍の間隔をあけて並ぶ複数の第2の周波数モードとを有し、前記繰り返し周波数が前記オフセット周波数の4倍である第1の光周波数コムを生成する光周波数コム生成工程と、

前記第1の光周波数コムを第2の光周波数コムと第3の光周波数コムに分け、前記第2の光周波数コムを第4の光周波数コムと第5の光周波数コムに分け、前記第4の光周波数コムの時間軸上の位相を前記第5の光周波数コムの時間軸上の位相に対して 90° ずらす位相差付与工程と、

前記第3の光周波数コムまたは前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムを試料に照射し、前記試料から出射されて光学情報を含む前記第3の光周波数コム、または前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムを得る試料照射工程と、

何れかに前記光学情報を含む前記第4の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第1の干渉信号を生成し、何れかに前記光学情報を含む前記第5の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第2の干渉信号を生成する干渉信号生成工程と、

前記第1の干渉信号と前記第2の干渉信号から包絡線強度を取得する包絡線強度取得工程と、

前記包絡線強度に基づいて前記試料の光学情報を抽出する光学情報抽出工程と、

を備える2次元分光計測方法。

[請求項2] 前記時間軸上における前記第4の光周波数コムと前記第5の光周波数コムとの位相のずれに応じて前記繰り返し周波数を調整する繰り返し周波数調整工程をさらに備える、

請求項1に記載の2次元分光計測方法。

- [請求項3] 前記包絡線強度取得工程において、
透過率の波長依存性が互いに逆である2枚のフィルタのそれぞれを
前記包絡線強度が通過したときの透過強度を取得し、
前記光学情報抽出工程において、
前記透過強度の比に基づいて前記光学情報を算出する、
請求項1または請求項2に記載の2次元分光計測方法。
- [請求項4] 前記光学情報抽出工程において、
前記第2の光周波数コムまたは前記第3の光周波数コムに所定の
遅延時間を付加し、前記光学情報を含む強度・位相スペクトルを取得
する、
請求項1から請求項3の何れか一項に記載の2次元分光計測方法。
- [請求項5] 前記光学情報は、前記第3の光周波数コム、前記第4の光周波数コ
ム及び前記第5の光周波数コムの何れか1つの光周波数コムの光路上
の屈折率の分布、前記屈折率の揺らぎ、前記試料の形状の何れかを含
む、
請求項1から請求項4の何れか一項に記載の2次元分光計測方法。
- [請求項6] 周波数軸で零に対して所定のオフセット周波数を有する第1の周波
数モードと前記周波数軸で前記第1の周波数モードに対して所定の繰
り返し周波数の整数倍の間隔をあけて並ぶ複数の第2の周波数モード
とを有し、前記繰り返し周波数が前記オフセット周波数の4倍である
第1の光周波数コムを出射する光周波数コム出射部と、
前記第1の光周波数コムを第2の光周波数コムと第3の光周波数コ
ムに分ける第1の分岐部と、
前記第2の光周波数コムを第4の光周波数コムと第5の光周波数コ
ムに分ける第2の分岐部と、
前記第4の光周波数コムの時間軸上の位相を前記第5の光周波数コ
ムの時間軸上の位相に対して90°ずらす位相差付与部と、
前記第3の光周波数コムまたは前記第4の光周波数コム及び前記第

5の光周波数コムは任意の光学情報を含み、前記第4の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第1の干渉信号を生成し、前記第5の光周波数コムと前記第3の光周波数コムとを干渉させて第2の干渉信号を生成する干渉信号生成部と、

前記第1の干渉信号と前記第2の干渉信号との包絡線強度を取得する包絡線強度取得部と、

前記包絡線強度に基づいて前記光学情報を抽出する光学情報抽出部と、

を備える2次元分光計測装置。

[請求項7] 前記位相差付与部から出射された前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムの一部を取得し、前記光周波数コム出射部にフィードバックするフィードバック機構をさらに備える、
請求項6に記載の2次元分光計測装置。

[請求項8] 前記包絡線強度取得部は、
透過率の波長依存性が互いに逆である2枚のフィルタを備え、
前記包絡線強度が前記2枚のフィルタのそれぞれを通過したときの透過強度を取得し、
前記光学情報抽出部は、
前記透過強度の比に基づいて前記光学情報を算出する、
請求項6または請求項7に記載の2次元分光計測装置。

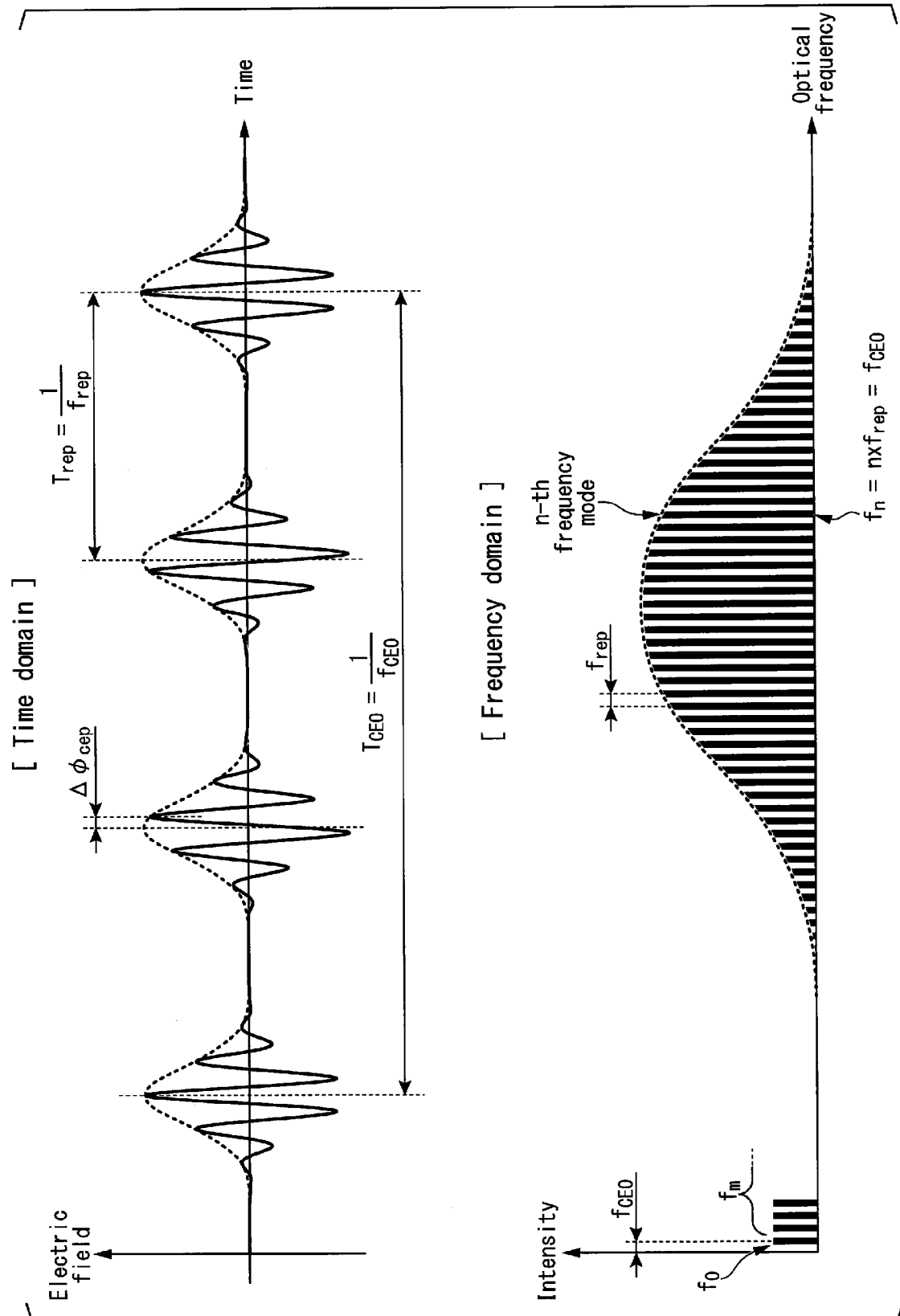
[請求項9] 前記第2の光周波数コムまたは前記第3の光周波数コムに所定の遅延時間を付加する遅延機構をさらに備え、
前記光学情報抽出部において、
前記光学情報を含む強度・位相スペクトルを取得する、
請求項6から請求項8の何れか一項に記載の2次元分光計測装置。

[請求項10] 前記光学情報は、前記第3の光周波数コム、前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムの中の何れか1つの光周波数コムの光路上の屈折率の分布、前記屈折率の揺らぎ、前記第3の光周波数コムの進

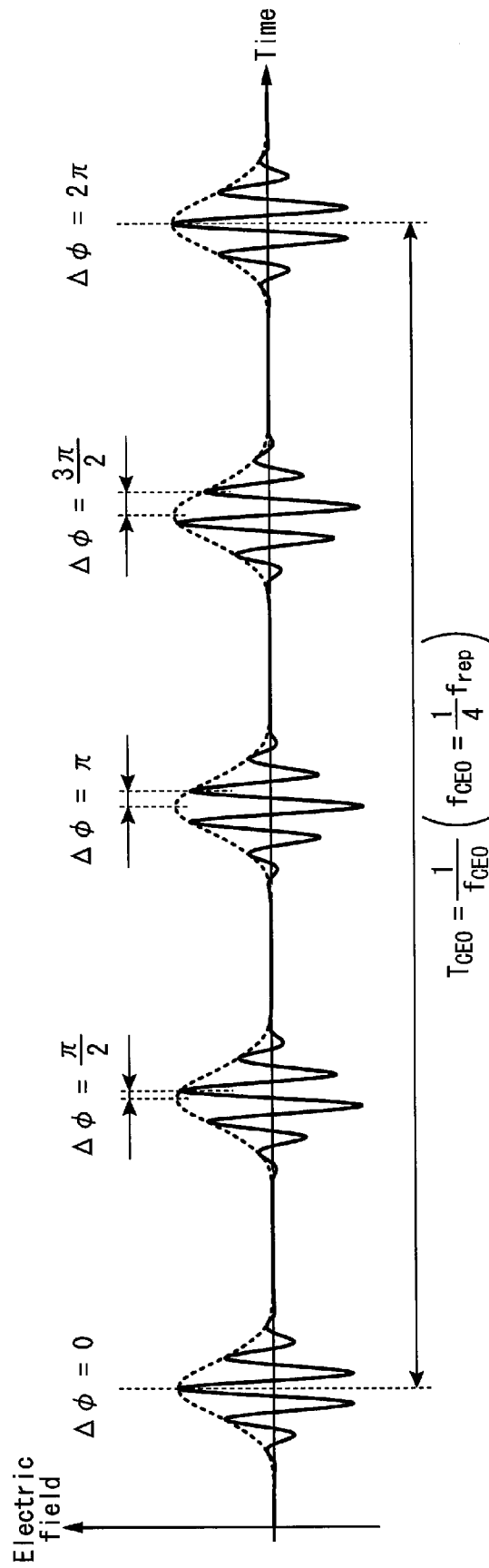
路上に、または前記第4の光周波数コム及び前記第5の光周波数コムの進路上に配置した試料の形状の何れかを含む、

請求項6から請求項9の何れか一項に記載の2次元分光計測装置。

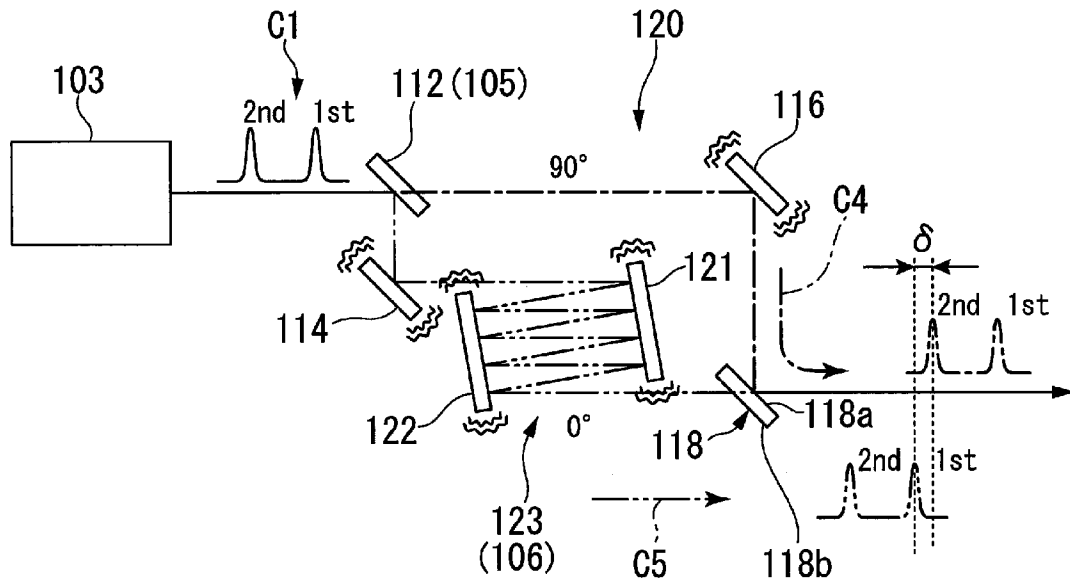
[図 1]



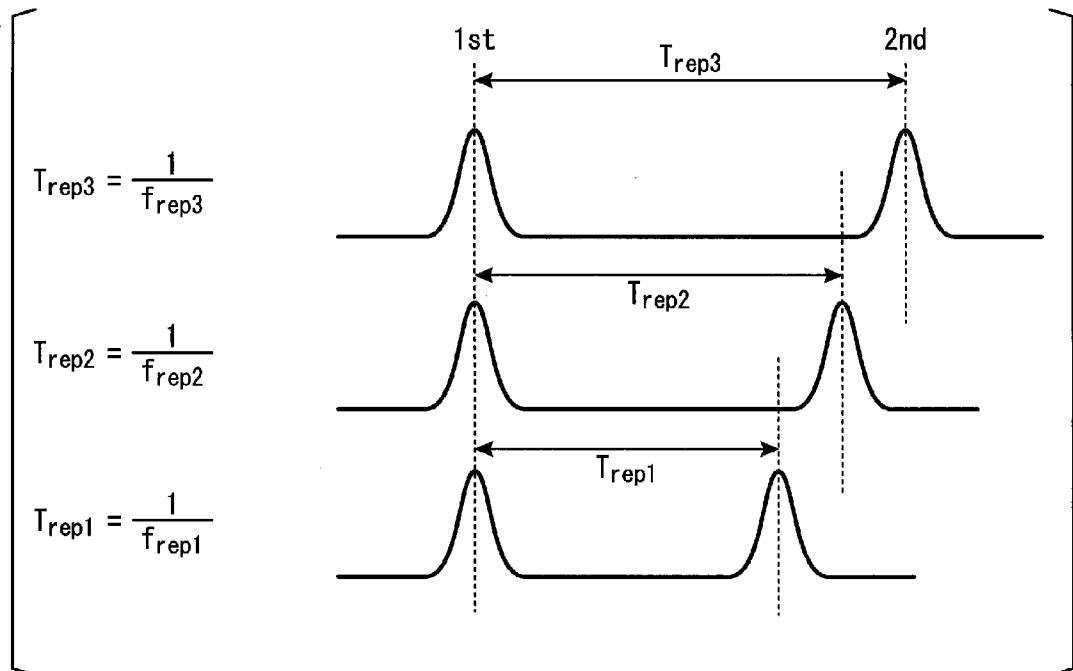
[図2]



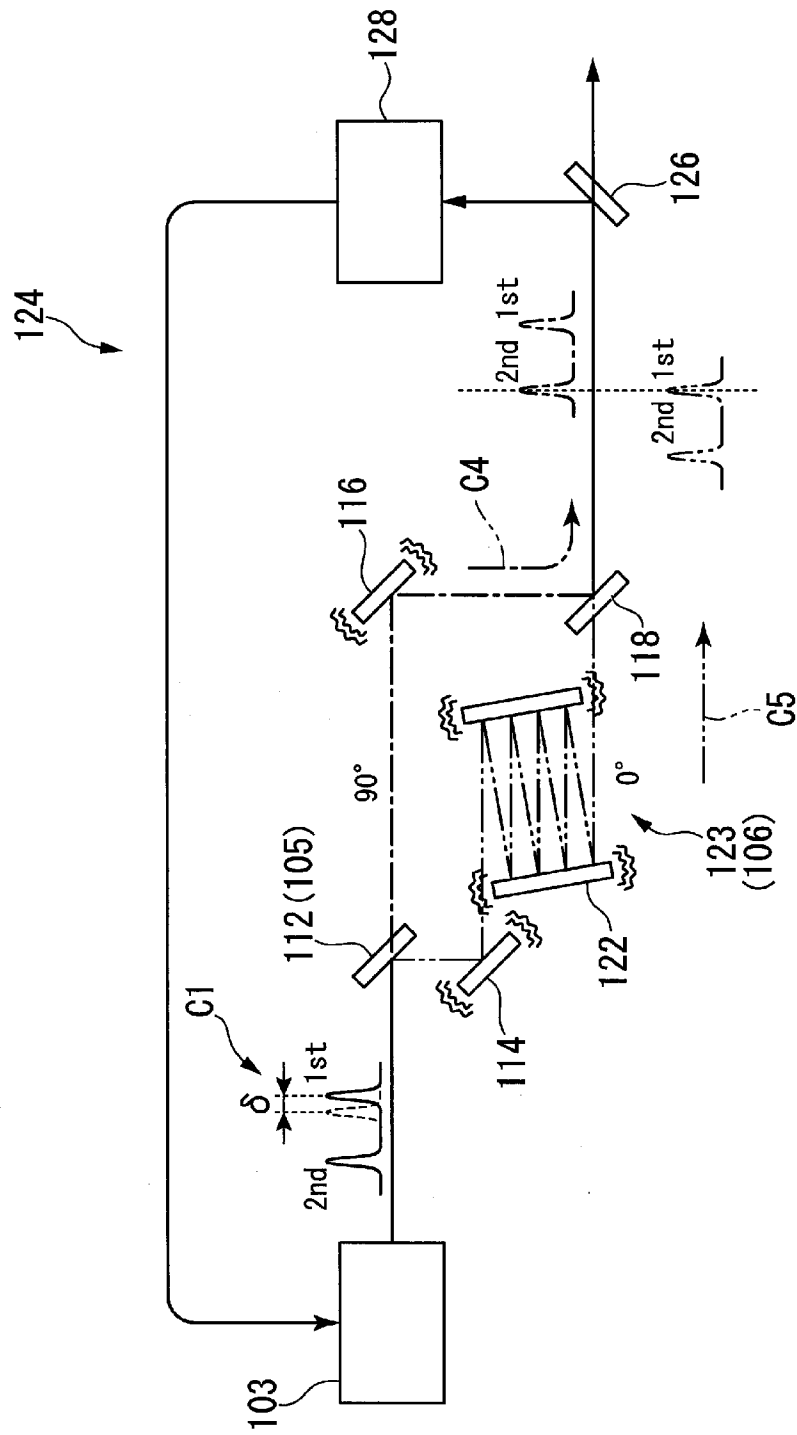
[図3]



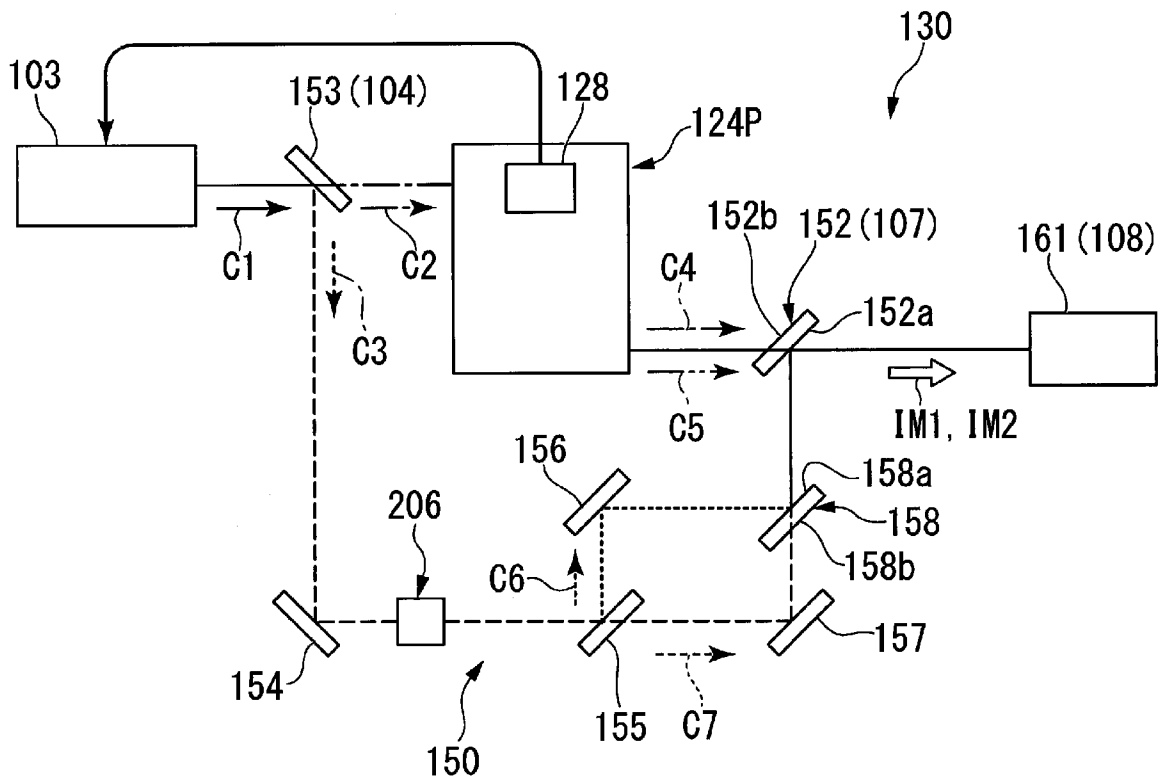
[図4]



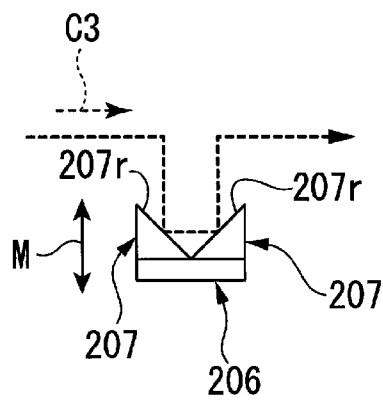
[図5]



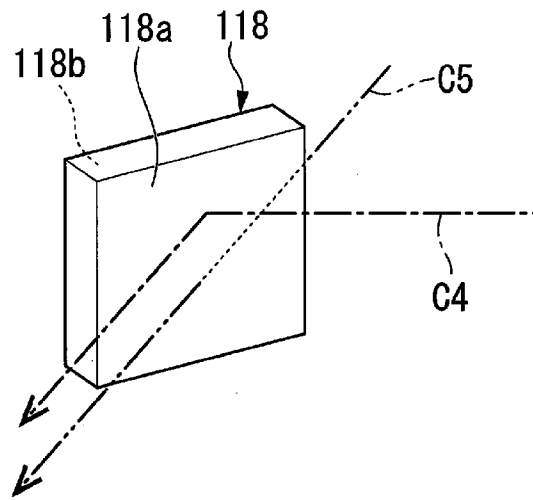
[図6]



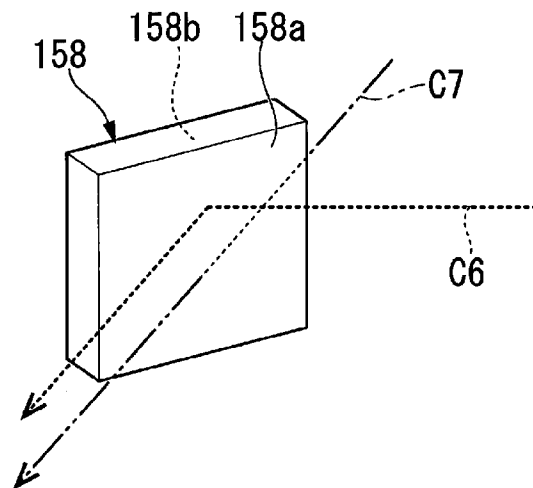
[図7]



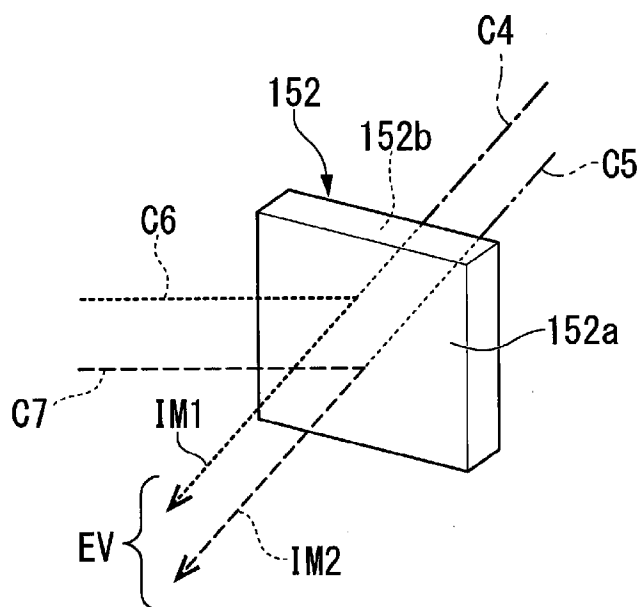
[図8]



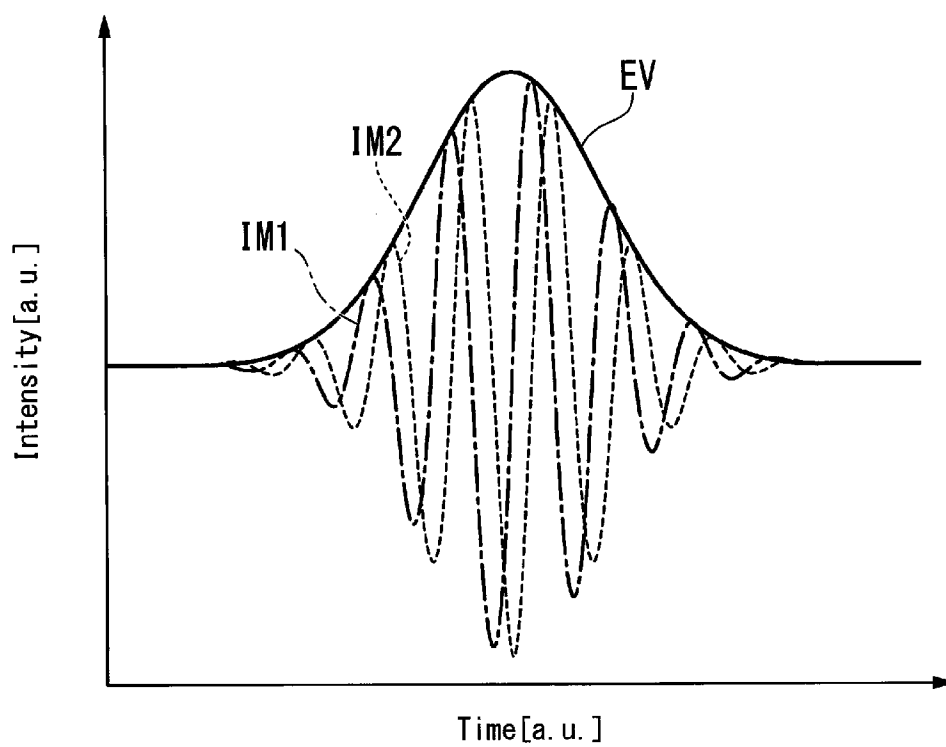
[図9]



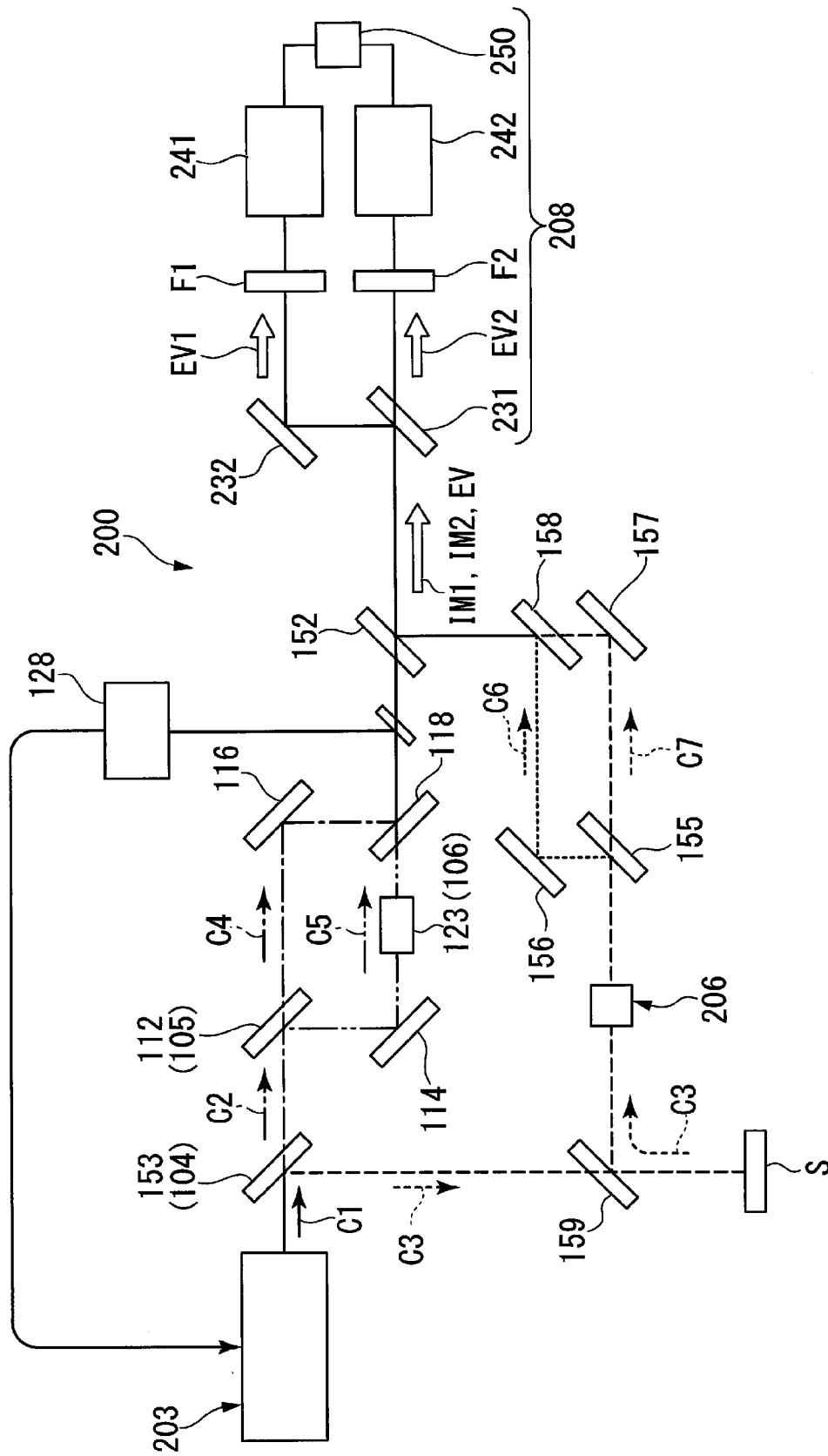
[図10]



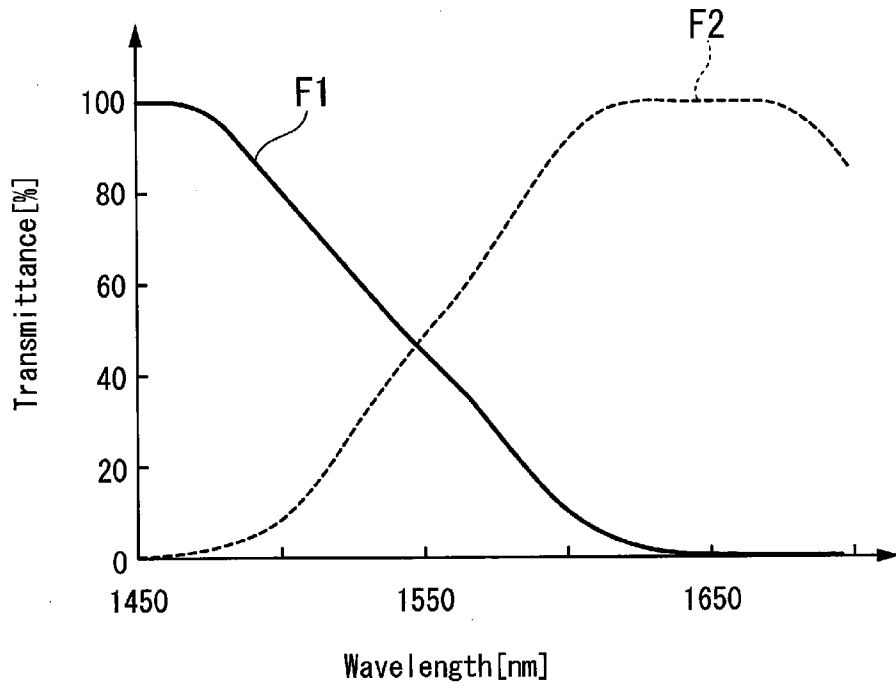
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/001898

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01J3/45(2006.01) i, G01B9/02(2006.01) i, G01J3/10(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)

Int.Cl. G01J3/00-3/52, G01B9/02, G01B11/00-11/30, G01N21/00-21/61, G02F1/35, H01S3/13

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-90259 A (THE UNIVERSITY OF ELECTRO-COMMUNICATIONS) 25 May 2017, paragraphs [0033]-[0071], fig. 1-3 (Family: none)	1-10
A	JP 2015-155822 A (TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) 27 August 2015, paragraphs [0079]-[0090], fig. 13, 14 (Family: none)	1-10
A	JP 2012-13574 A (OPTICAL COMB, INC.) 19 January 2012 (Family: none)	1-10

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
05 April 2019 (05.04.2019)

Date of mailing of the international search report
23 April 2019 (23.04.2019)

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/JP2019/001898

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 2013-507005 A (IMRA AMERICA, INC.) 28 February 2013 & US 2011/0080580 A1 & WO 2011/041472 A1 & CN 102576971 A	1-10
A	JP 2011-529180 A (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS) 01 December 2011 & US 2011/0267625 A1 & WO 2010/010438 A2 & KR 10-2011-0036944 A & CN 102159926 A	1-10
A	US 7123402 B1 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 17 October 2006 (Family: none)	1-10
A	US 2011/0069309 A1 (NEWBURY, N. R.) 24 March 2011 & US 2013/0342836 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01J3/45(2006.01)i, G01B9/02(2006.01)i, G01J3/10(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, G01B9/02, G01B11/00-11/30, G01N21/00-21/61, G02F1/35, H01S3/13

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

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 2017-90259 A (国立大学法人電気通信大学) 2017.05.25, [0033] - [0071]、図1-図3 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2015-155822 A (株式会社東京精密) 2015.08.27, [0079] - [0090]、図13、図14 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2012-13574 A (株式会社 光コム) 2012.01.19, (ファミリーなし)	1-10

☑ 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 05.04.2019	国際調査報告の発送日 23.04.2019
--------------------------	--------------------------

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) 横尾 雅一 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	2W	3716
---	--	----	------

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 2013-507005 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 2013.02.28, & US 2011/0080580 A1 & WO 2011/041472 A1 & CN 102576971 A	1-10
A	JP 2011-529180 A (サントル ナシオナル ドゥ ラ ルシエルシ ェサイアンティフィク (セエヌエールエス)) 2011.12.01, & US 2011/0267625 A1 & WO 2010/010438 A2 & KR 10-2011-0036944 A & CN 102159926 A	1-10
A	US 7123402 B1 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 2006.10.17, (ファミ リーなし)	1-10
A	US 2011/0069309 A1 (NEWBURY N R) 2011.03.24, & US 2013/0342836 A1	1-10