

(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2014-115280

(P2014-115280A)

(43) 公開日 平成26年6月26日(2014.6.26)

(51) Int.Cl.
G01N 21/17 (2006.01)F I
G O 1 N 21/17 6 3 0テーマコード (参考)
2 G O 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2013-236326 (P2013-236326)
 (22) 出願日 平成25年11月14日(2013.11.14)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-251920 (P2012-251920)
 (32) 優先日 平成24年11月16日(2012.11.16)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(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 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 山田 朋宏
 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 黒田 亮
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 OCT装置、SS-OCT装置及びSS-OCT像を取得する方法

(57) 【要約】

【課題】複雑な装置を用いることなく、OCT像の高画質化とS/NRの改善を図るOCT装置を提供する。

【解決手段】出射する光の波長を変化させる第一の光源部と、第一の光源部の波長範囲とは異なり、かつ、一部重複する波長範囲にわたって出射する光の波長を変化させる第二の光源部と、第一と第二の光源部から出射される光を受光し、等波数間隔で信号を発信する信号生成部と、

第一と第二の光源部から出射される光を物体へ照射する照射光と参照光とに分岐して干渉光を発生させる干渉光学系と、

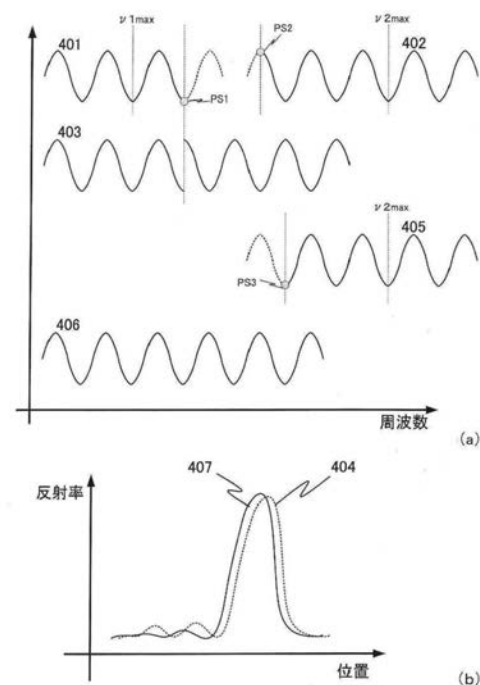
第一と第二の光源部によって得られる第一と第二の干渉光を受光する光検出部と、

第一と第二の干渉光の強度の時間波形を接続することで、物体の断層像を取得する情報取得部と、を有し、

情報取得部は、信号生成部から生成された信号に基づいて、第一と第二の干渉光の強度の時間波形とを接続する。

【選択図】

図 4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

出射する光の波長を変化させる第一の光源部と、前記第一の光源部の波長範囲とは異なり、かつ、一部重複する波長範囲にわたって出射する光の波長を変化させる第二の光源部と、

前記第一の光源部及び前記第二の光源部から出射される光を受光し、等波数間隔で信号を発信する信号生成部と、

前記第一の光源部および前記第二の光源部から出射される光を物体へ照射する照射光と参照光とに分岐し、前記物体に照射された光の反射光と前記参照光による干渉光を発生させる干渉光学系と、

前記第一の光源部から出射される光によって得られる第一の干渉光および前記第二の光源部から出射される光によって得られる第二の干渉光を受光する光検出部と、

前記第一の干渉光の強度の時間波形と前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することで、前記物体の断層像を取得する情報取得部と、

を有する光干渉断層撮像装置であって、

前記情報取得部は、前記信号生成部から生成された信号に基づいて、前記第一の干渉光の強度の時間波形と、前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することを特徴とする OCT 装置。

【請求項 2】

前記情報取得部は、前記第一の干渉光の強度の時間波形と、前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続して得られた断層像の S N 比が極大となるように接続することを特徴とする請求項 1 に記載の OCT 装置。

【請求項 3】

前記情報取得部は、前記 S N 比が極大となるように接続したときの接続波数から、等波数間隔で接続する波数を変化させ、前記 S N 比が最も大きくなるように、前記第一の干渉光の強度の時間波形と、前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することを特徴とする請求項 2 に記載の OCT 装置。

【請求項 4】

複数の波長掃引光源と、該複数の波長掃引光源の光を等波数間隔に検知する k - c l o c k 光学系と、を備えた光源手段と、

前記光源手段から出射される光を物体に照射し干渉信号を得る干渉光学系を備えた干渉測定手段と、

前記干渉測定手段で得られた干渉信号により画像処理を含む信号処理を行う信号処理手段と、

を有する S S - OCT 装置であって、

前記光源手段は、前記複数の波長掃引光源として互いに異なる波長範囲を有し且つ該波長範囲の一部は互いに重複している、少なくとも第一の波長掃引光源と第二の波長掃引光源とによる波長掃引光源を備え、

前記信号処理手段は、

前記干渉測定手段により得られた、前記第一の波長掃引光源による第一の干渉信号と前記第二の波長掃引光源による第二の干渉信号とを、

前記第一と第二の干渉信号に含まれる各周波数成分の位相が不連続に接続されることにより発生するノイズを抑制するため、前記 k - c l o c k 光学系で得られる信号を用いて見出された接続光周波数により接続し、

前記接続光周波数により接続された前記第一と第二の干渉信号により OCT 像を作成することが可能に構成されていることを特徴とする S S - OCT 装置。

【請求項 5】

前記信号処理手段は、

前記 k - c l o c k 光学系で得られる信号を用いて決定された前記接続光周波数で接続された前記第一と第二の干渉信号により作成された OCT 像である第一の OCT 像と、

10

20

30

40

50

前記 k -clock 光学系で得られる信号を用いて決定された前記接続光周波数の周期をずらし、該周期をずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により作成された第二の OCT 像と、

における OCT 像の SN 比を比較し、

前記周期を更に順次ずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により取得された OCT 像の比較を、SN 比の極大値が得られるまで繰り返し、

該繰り返しにより前記第一と第二の干渉信号との接続光周波数を見出すことが可能に構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の SS - OCT 装置。

【請求項 6】

前記 SN 比の比較により SN 比の極大値が得られない際、前記光源手段を構成する複数の波長掃引光源を制御する光源制御部によって、前記第一と第二の波長掃引光源における少なくとも一方の波長掃引範囲を拡大し、

前記光源手段から照射される光によって、再度、前記第一と第二の干渉信号を取得することを特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の SS - OCT 装置。

【請求項 7】

複数の波長掃引光源と、該波長掃引光源の波長掃引速度を計測する k -clock 光学系と、を備えた光源手段から出射される光を物体に照射し、得られた干渉信号を画像処理を含む信号処理を行う信号処理手段によって画像処理して SS - OCT 像を取得する方法であって、

前記複数の波長掃引光源として、互いに異なる波長範囲を有し且つ該波長範囲の一部は互いに重複している、少なくとも第一の波長掃引光源と第二の波長掃引光源とによる二つの波長掃引光源を用い、

前記第一の波長掃引光源による第一の干渉信号と、前記第二の波長掃引光源による第二の干渉信号と、を取得する第一の工程と、

前記 k -clock 光学系で得られる信号を用い、前記第一と第二の干渉信号を接続する際、前記第一と第二の干渉信号に含まれる各周波数成分の位相が不連続に接続されることにより発生するノイズを抑制するための接続光周波数を決定する第二の工程と、

前記 k -clock 光学系で決定された前記接続光周波数により前記第一と第二の干渉信号を接続し、該接続された前記第一と第二の干渉信号によって OCT 像を作成する第三の工程と、

を有することを特徴とする SS - OCT 像を取得する方法。

【請求項 8】

前記第三の工程に引き続き、前記 k -clock 光学系で決定された前記接続光周波数の周期をずらし、該周期をずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により第二の OCT 像を作成する第四の工程と、

前記第三の工程で前記 k -clock 光学系を用いて決定された前記接続光周波数で接続された前記第一と第二の干渉信号により作成された OCT 像である第一の OCT 像と、前記第四の工程で作成された第二の OCT 像と、

における OCT 像の SN 比を比較する第五の工程と、

前記周期を更に順次ずらせて接続された前記第一と第二の干渉信号により取得された OCT 像の比較を、SN 比の極大値が得られるまで繰り返し、該繰り返しにより前記第一と第二の干渉信号を接続する接続光周波数を見出す第六の工程と、

を有することを特徴とする請求項 7 に記載の SS - OCT 像を取得する方法。

【請求項 9】

前記第二の工程は、前記 k -clock 光学系で得られる信号の振幅が最大となる周波数を発光強度最大の周波数とし、該周波数から前記第一と第二の干渉信号の接続光周波数を決定する工程を含み、

前記第四の工程は、前記第二の工程での k -clock 光学系を用いて決定された前記接続光周波数を 1 周期分ずらし、該 1 周期分ずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により第二の OCT 像を作成する工程を含み、

10

20

30

40

50

前記第六の工程は、前記第一と第二の OCT 像との SN 比を比較し、該第一および第二の OCT 像のうちの SN 比が高くなる方向に前記 k - c l o c k 光学系を用いて決定された前記接続光周波数を 1 周期分ずらし、

該 1 周期分ずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により作成された OCT 像との比較をするに際し、前記周期を更に順次ずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により取得された OCT 像の比較を、SN 比の極大値が得られるまで繰り返し、

該繰り返しにより前記第一と第二の干渉信号との接続光周波数を見出す工程を含み、構成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の SS - OCT 像を取得する方法。

【請求項 10】

前記第六の工程に引き続き、OCT 像の SN 比が極大値をとるまで繰り返した後、

さらに、前記接続光周波数を一定周波数分ずつ変化させていき、該光周波数で接続された前記第一と第二の干渉信号により作成された OCT 像との比較を、SN 比の最大値が得られるまで繰り返し、

該繰り返しにより前記第一と第二の干渉信号との接続光周波数を見出す工程を有することを特徴とする請求項 9 に記載の SS - OCT 像を取得する方法。

【請求項 11】

前記 SN 比の比較により SN 比の極大値が得られない際、前記光源手段を構成する複数の波長掃引光源を制御する光源制御部によって、前記第一と第二の波長掃引光源とにおける少なくとも一方の波長掃引範囲を拡大し、

前記光源手段から照射される光によって、再度、前記第一と第二の干渉信号を取得する工程を有することを特徴とする請求項 7 から 10 のいずれか 1 項に記載の SS - OCT 像を取得する方法。

【請求項 12】

出射する光の波長を等周波数間隔で変化させる第一の光源部と、前記第一の光源部の波長範囲とは異なり、かつ、一部重複する波長範囲にわたって出射する光の波長を等周波数間隔で変化させる第二の光源部と、

前記第一の光源部および前記第二の光源部から出射される光を物体へ照射する照射光と参照光とに分岐し、前記物体に照射された光の反射光と前記参照光による干渉光を発生させる干渉光学系と、

前記第一の光源部から出射される光によって得られる第一の干渉光および前記第二の光源部から出射される光によって得られる第二の干渉光を受光する光検出部と、

前記第一の干渉光の強度の時間波形と前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することで、前記物体の断層像を取得する情報取得部と、

を有する光干渉断層撮像装置であって、

前記情報取得部は、前記第一の光源部及び第二の光源部から生成された信号あるいは前記第一の干渉光及び前記第二の干渉光に基づいて、前記第一の干渉光の強度の時間波形と、前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することを特徴とする OCT 装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、OCT 装置、波長掃引光コヒーレンストモグラフィー装置 (SS - OCT 装置)、及び SS - OCT 像を取得する方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光源、特にレーザ光源の発振波長を可変とする技術において、波長掃引の高速性と狭線幅の両立が切望されている。

【0003】

このような波長可変 (掃引) 光源の利用例の一つとして、波長掃引光コヒーレンストモグラフィー (SS - OCT : Swept Source Optical Coherence Tomography) 装置が知られている。

10

20

30

40

50

このSS-OCT装置では、特許文献1にも開示されているように深さ情報を得るためにスペクトル干渉を用いる。分光器を用いないことから光量のロスが少なく、高い信号雑音比（以下、SN比又はSNRと記す。）の像の取得も期待されている。

【0004】

SS-OCT技術を適用した医用画像撮像装置を構成する場合には、掃引速度が速いほど画像取得時間を短縮でき、生体組織を生きたまま観察することにも好適である。

また、波長掃引幅が広いほど断層像の空間解像度を高めることが可能なためこれらのパラメータは重要である。

具体的には、波長掃引幅 $\Delta\lambda$ 、発振波長 λ_0 、とすると、深さ分解能は次の式で表すことができる。

$$\frac{2\ln 2}{\pi} \times \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

10

【0005】

したがって、深さ分解能を高めるためには波長掃引幅の拡大が必要であり、波長掃引幅が広帯域である波長掃引光源が求められている。

【0006】

OCT技術は、深さ方向の解像度を数ミクロンとし、且つ数mmの深さまで断層像を得ることができる技術であり、眼底撮影などに用いられている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2009-244232号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記したように広帯域な波長領域で撮像するためには、波長掃引幅が広帯域である波長掃引光源が必要であるが、開発は容易ではない。

30

そこで、掃引される波長帯域が異なりその一部が重複するような複数の光源を用いて干渉信号を各々の波長帯域で取得し、干渉信号を取得した後にこれらの干渉信号を所定の波長（対応する光周波数）で接続、合成することで干渉信号取得帯域を広帯域化することが考えられる。

【0009】

しかし、このような手法により広帯域な発光波長を有する光源を得ようとする場合、つぎのような課題が生じる。

複数の波長掃引光源を用いた広帯域SS-OCTを構成する場合、前述のように複数の波長掃引光源のおのおので取得した干渉信号を、同じ発光波長に対応する光周波数にて接続する必要がある。仮に接続する光周波数が複数の光源それぞれを用いて取得した干渉信号同士で異なると、取得した干渉信号に含まれる各周波数成分（OCT信号は反射物体の距離に応じて異なる周波数成分を持つ干渉スペクトルとして取得される）の位相が不連続に接続される。このため、OCT像にノイズが発生し、OCT像のSN比が低下する。

40

【0010】

また、発光波長が所定の周波数になった事を分光器等の波長モニタで検知し、そのタイミングで光源を切り替える、あるいは干渉信号を接続する等の制御は可能である。

しかし、そのためには高精度な絶対波長モニタを装置内に別途保持しておく必要があることから、装置構成が煩雑になる。

【0011】

さらに、最終的なOCT像の評価を行わない信号処理であるため、得られたOCT像に

50

更なる S N R の改善の余地がある場合でも、それを検知できないという問題を生じる。

【 0 0 1 2 】

本発明は、上記課題に鑑み、複雑な装置を用いることなく、O C T 像の高分解能化と S N R の改善を図ることが可能となる O C T 装置、S S - O C T 装置及び S S - O C T 像を取得する方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明の O C T 装置は、

出射する光の波長を変化させる第一の光源部と、前記第一の光源部の波長範囲とは異なり、かつ、一部重複する波長範囲にわたって出射する光の波長を変化させる第二の光源部と、

前記第一の光源部及び前記第二の光源部から出射される光を受光し、等波数間隔で信号を発信する信号生成部と、

前記第一の光源部および前記第二の光源部から出射される光を物体へ照射する照射光と参照光とに分岐し、前記物体に照射された光の反射光と前記参照光による干渉光を発生させる干渉光学系と、

前記第一の光源部から出射される光によって得られる第一の干渉光および前記第二の光源部から出射される光によって得られる第二の干渉光を受光する光検出部と、

前記第一の干渉光の強度の時間波形と前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することで、前記物体の断層像を取得する情報取得部と、

を有する光干渉断層撮像装置であって、

前記情報取得部は、前記信号生成部から生成された信号に基づいて、前記第一の干渉光の強度の時間波形と、前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の S S - O C T 装置は、

複数の波長掃引光源と、該複数の波長掃引光源の波長掃引速度を計測する k - c l o c k 光学系と、を備えた光源手段と、

前記光源手段から出射される光を物体に照射し干渉信号を得る干渉光学系を備えた干渉測定手段と、

前記干渉測定手段で得られた干渉信号により画像処理を含む信号処理を行う信号処理手段と、

を有する S S - O C T 装置であって、

前記光源手段は、前記複数の波長掃引光源として互いに異なる波長範囲を有し且つ該波長範囲の一部は互いに重複している、少なくとも第一の波長掃引光源と第二の波長掃引光源とによる波長掃引光源を備え、

前記信号処理手段は、

前記干渉測定手段により得られた、前記第一の波長掃引光源による第一の干渉信号と前記第二の波長掃引光源による第二の干渉信号とを、前記第一と第二の干渉信号に含まれる各周波数成分の位相が不連続に接続されることにより発生するノイズを抑制するため、前記 k - c l o c k 光学系で得られる信号を用いて見出された接続光周波数により接続し、

前記接続光周波数により接続された前記第一と第二の干渉信号により O C T 像を作成することが可能に構成されていることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の S S - O C T 像を取得する方法は、

複数の波長掃引光源と、該波長掃引光源の光を等波数間隔に検知する k - c l o c k 光学系と、を備えた光源手段から出射される光を物体に照射し、得られた干渉信号を画像処理を含む信号処理を行う信号処理手段によって画像処理して S S - O C T 像を取得する方法であって、

前記複数の波長掃引光源として、互いに異なる波長範囲を有し且つ該波長範囲の一部は互

10

20

30

40

50

いに重複している、少なくとも第一の波長掃引光源と第二の波長掃引光源とによる二つの波長掃引光源を用い、

前記第一の波長掃引光源による第一の干渉信号と、前記第二の波長掃引光源による第二の干渉信号と、を取得する第一の工程と、

前記 k - c l o c k 光学系で得られる信号を用い、前記第一と第二の干渉信号を接続する際、前記第一と第二の干渉信号に含まれる各周波数成分の位相が不連続に接続されることにより発生するノイズを抑制するための接続光周波数を決定する第二の工程と、

前記 k - c l o c k 光学系で決定された前記接続光周波数により前記第一と第二の干渉信号を接続し、該接続された前記第一と第二の干渉信号によって O C T 像を作成する第三の工程と、

を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、複雑な装置を用いることなく、O C T 像の高分解能化と S N R の改善を図ることが可能となる O C T 装置、S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施形態における S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法の構成例について説明する図。

【図2】本発明の実施形態の S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法における波長掃引光源について説明する図。

【図3】本発明の実施形態の S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法における波長掃引光源を用いて、物体 108 に光を照射した場合の干渉信号、対応する k - c l o c k 信号、光源強度の時間波形について説明する図。

【図4】本発明の実施形態の S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法における異なる光源による干渉信号を同一の光周波数で接続する手法について説明する図。

【図5】本発明の実施形態の S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法における異なる光源による干渉信号を同一の光周波数で接続する具体的な構成例について説明する図。

【図6】本発明の実施例における S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法の構成例について説明する図。

【図7】本発明の実施例の S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法における波長掃引の周期について説明する図。

【図8】本発明の実施例における別の形態の S S - O C T 装置、及び S S - O C T 像を取得する方法の構成例について説明する図。

【図9】本発明の実施形態における k - c l o c k 信号を干渉計により生成し、干渉計の二つの出力ポートからの信号を用いて差動検出した場合の信号波形を示す図。

【図10】本発明の実施形態における、S S G - D B R レーザから射出される光の光周波数の時間変化の一例を示す図。

【図11】本発明の実施形態における、S S G - D B R レーザを用いて得られる干渉信号の一例を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明の実施形態に係る光干渉断層撮像装置 (O C T (O p t i c a l C o h e r e n c e T o m o g r a p h y) 装置) は、

出射する光の波長を変化させる第一の光源部と、前記第一の光源部の波長範囲とは異なり、かつ、一部重複する波長範囲にわたって出射する光の波長を変化させる第二の光源部を備える。また、前記第一の光源部及び前記第二の光源部から出射される光を受光し、等波数間隔で信号を送信する信号生成部を備える。

10

20

30

40

50

また、前記第一の光源部および前記第二の光源部から出射される光を物体へ照射する照射光と参照光とに分岐し、前記物体に照射された光の反射光と前記参照光による干渉光を発生させる干渉光学系を備える。

また、前記第一の光源部から出射される光によって得られる第一の干渉光および前記第二の光源部から出射される光によって得られる第二の干渉光を受光する光検出部を備える。

また、前記第一の干渉光の強度の時間波形と前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することで、前記物体の情報、典型的には断層像を取得する情報取得部を備える。

そして、前記情報取得部は、前記信号生成部から送信された信号に基づいて、前記第一の干渉光の強度の時間波形と、前記第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することを特徴とする。

10

【0019】

第一の光源部は、出射する光の波長を時間的に変化させる光源である。

第二の光源部は、第一の光源部と異なる波長範囲、すなわち第一の光源部から出射されない波長範囲の光を出射する。また、第二の光源部は第一の光源部と一部重複する波長範囲の光も出射する。

【0020】

信号生成部は、第一の光源部および第二の光源部から出射される、波長が変化する光を受光し、受光した光の波数が等波数間隔となるタイミングごとに信号を発信する。

信号生成部は具体的には、等波数間隔の波長選択特性を有する光学系と、この光学系を透過した光を受光して電気信号に変換して信号を発信する素子を有する。上記信号生成部を波数クロック (k - c l o c k) 光学系とよぶことがある。

20

【0021】

また、第一の干渉光と第二の干渉光とを1つの光検出部を用いて検出してもよいし、別々の光検出部を用いて検出しても良い。

【0022】

第一の干渉光の強度の時間波形と第二の干渉光の強度の時間波形とを接続してフーリエ変換することで、第一の光源部から出射される光の波長範囲と第二の光源部から出射される光の波長範囲とを合わせた波長範囲の光を照射した場合と同じ物体の情報、典型的には断層像が得られる。ただ、第一の干渉光の強度の時間波形と第二の干渉光の強度の時間波形とを接続する波数 (周波数) を適切に選ばないと、S N 比の高い断層像が得られない。

30

【0023】

原理上、第一の干渉光の強度の時間波形と第二の干渉光の強度の時間波形とを接続する波数は同一に近いほどS N 比の高い断層像が得られると期待できる。

【0024】

そこで、信号生成部から発信される、等波数間隔のタイミングの信号に基づいて、時間波形を接続する。例えば、第一および第二の干渉光の時間波形において、信号生成部から信号が発信されるタイミングに対応するデータに基づいて接続する波数の候補を決定し、候補となった波数で時間波形を接続して断層像を得てS N 比を算出する。接続する波数が同一に近いほどS N 比が大きいと考えられるため、接続する波数を変化させていくと、S N 比が大きくなり、極大となる点を経た後小さくなると考えられる。このS N 比が極大となる点で時間波形を接続することで、S N 比が大きい断層像が得られる。

40

【0025】

さらに、S N 比が極大となるように接続したときの接続波数 (接続光周波数と言い換えてもよい) から、第一及び第二の干渉光に対して同じ波数だけ接続する波数を変化させ、S N 比が最大となるように、第一の干渉光の強度の時間波形と、第二の干渉光の強度の時間波形とを接続することができる。

なお、S N 比が最大となるように接続したときの接続波数は、第一の干渉光の強度の時間波形と第二の干渉光の強度の時間波形とで、同一になっていると考えられる。そこで、上述のように接続する波数が同一になっている状態を実現した上で、さらに前記接続する波数を、断層像のS N 比が最大となるように選択することも好適である。

50

【0026】

信号生成部から発信される、等波数間隔のタイミングの信号に基づいて接続する方法としては様々な方法がある。例えば、信号生成部から発信される信号の中で強度が最も大きい信号に基づいて、接続する波数の第一の候補を決定することができる。

また、第一の候補の波数から $k - clock$ 信号において、一周分ずれた波数を第二の候補とすることができる。

ここで第一の候補の波数と第二の候補の波数で接続して得られた断層像の S/N 比を比較して、 S/N 比が大きい方の波数を、接続する波数の次の第一の候補とする。以上の作業を繰り返すことで、 S/N 比が最も大きい断層像を得るための接続波数を見出すことができる。

10

なお、接続する波数の第一の候補は、第一の光源部の波長掃引範囲と第二の光源部の波長掃引範囲から重複する波長範囲を算出し、接続波数を見積もっておき、見積もった接続波数から、決めることができる。

【0027】

また、接続する波数の第二の候補は、接続する波数の第一の候補よりも大きい波数を選択してもよいし、小さい波数を選択してもよい。

【0028】

本実施形態に係る OCT 装置は以下のように説明することもできる。

本実施形態に係る OCT 装置は、上記した干渉信号に含まれる各周波数成分の位相が不連続に接続されることによって発生するノイズを抑制するため、干渉信号を同一光周波数で接続し、各周波数成分の位相を連続して接続させるようにする。これにより、複雑な装置を用いることなく、OCT 像の高画質化と SNR の改善を図るようにしたものである。

20

【0029】

つぎに、本発明の実施形態における $SS - OCT$ 装置、及び $SS - OCT$ 像を取得する方法の構成例を、図 1 を用いて説明する。

なお、本発明は、以下に説明する本実施形態及び実施例の構成によって、何ら限定されるものではない。

【0030】

まず、本実施形態における $SS - OCT$ 装置（以下、OCT 装置と記す。）の基本構成について説明する。

30

本実施形態の OCT 装置は、互いに異なる波長帯域を有し且つ該波長帯域の一部は互いに重複している複数の波長掃引光源と、該波長掃引光源の波長掃引速度を計測する $k - clock$ 光学系と、を備えた光源手段と、

前記光源手段からの光を物体に照射し干渉信号を得る干渉光学系を備えた干渉測定手段と、

前記干渉測定手段で得られた干渉信号により画像処理を含む信号処理を行う信号処理手段と、を有する。

【0031】

具体的には、上記光源手段を構成する光源部 104 は、上記複数の波長掃引光源である第一の波長掃引光源 101 及び第二の波長掃引光源 102 と、 $k - clock$ 生成部（ $k - clock$ 光学系）103 と、光源強度計測部 110 と、を備える。図 1 では $k - clock$ 生成部は 1 つだが、第一の波長掃引光源 101 の光を等波数間隔に検知する $k - clock$ 生成部と、第二の波長掃引光源 102 光を等波数間隔に検知する $k - clock$ 生成部とが別々であってもよい。

40

【0032】

干渉測定部 111 は、光源部 104 から出射された光がカップラ 105 で分岐され、一方が参照ミラー 106 に照射され、他方が物体 108 に照射されるように構成されている。ここでは、参照ミラー 106 に照射される光を参照光、物体 108 に照射される光を照射光と呼ぶ。

そして、参照ミラー 106 で反射された参照光がカップラ 105 に導かれるように構成さ

50

れ、物体 108 に反射された照射光は、カップラ 105 にて上記参照光と干渉し、光検出部 107 に導かれるように構成されている。

【0033】

そして、上記信号処理手段を構成する演算処理部 109 において、光検出部において検出した干渉信号を演算し、物体 108 の深さ方向（物体 108 に照射される光の光軸方向）の断層構造に関する情報が得られる。

【0034】

第一の波長掃引光源 101 および第二の波長掃引光源 102 は、時間的に周期的に光の周波数を掃引する光源である。図 2 に、第一の波長掃引光源 101 および第二の波長掃引光源 102 から出射される光の周波数（光周波数）の時間変化の例を示す。

10

【0035】

波長掃引光源 101 の掃引のグラフ 201 と、波長掃引光源 102 の掃引のグラフ 202 とを示す。

波長掃引光源 101 は t_0 から t_1 までの時間 T_1' の間発光し、中心周波数を ν_{11} から ν_{12} まで掃引する。同様に波長掃引光源 102 は時間 T_2' の間に中心周波数を ν_{21} から ν_{22} まで掃引する。

第一の波長掃引光源 101 の発光開始時間から第二の波長掃引光源 102 の発光開始時間までの時間を T_1 とする。同様に第二の波長掃引光源 102 の発光開始時間から第一の波長掃引光源 101 の発光開始時間までの時間を T_2 とする。非発光時間を含めたトータルの周期を $T_1 + T_2$ とする。

20

ここでは簡単化のため、前記 T_1 と T_2 、 T_1' と T_2' はそれぞれ等しいものとする（図 2）。波長掃引光源 101 の光を k -clock 生成部 103 に導入し、 k -clock 信号を生成する。

【0036】

k -clock 生成部は、例えばマイケルソン干渉計にて構成する。

干渉計の形式はこれに限るものではない。マッハツェンダー干渉計やその他の干渉計でも良いし、あるいはファブリペローフィルタなどを用いても良い。

例えば、腕の長さの差が L である干渉計を用いた場合、前記光量の増減は光の周波数の間隔で $c/2L$ [Hz] ごとに生じる。 c は光速である。

この k -clock 信号を、OCT 像作成に必要な等周波数間隔のトリガー信号として用いることができる。

30

【0037】

つぎに、本実施形態における OCT 像作成の基本的な手順について説明する。図 3 に、波長掃引光源 101 を用いて、物体 108 に光を照射した場合の干渉信号 301、対応する k -clock 信号 302、光源強度 303 の時間波形を示す。

同様に波長掃引光源 102 を用いて、物体 108 に光を照射した場合の干渉信号 304、対応する k -clock 信号 305、光源強度 306 の時間波形を図 3 に示す。

【0038】

まず、第一の波長掃引光源 101 および第二の波長掃引光源 102 をそれぞれ用いて干渉信号（第一の干渉信号）301 と 304（第二の干渉信号）を取得する（第一の工程）。

40

【0039】

掃引波長帯域が異なる二つの光源を用いて取得した干渉信号 301 および 304 を用いて単一の広帯域干渉信号を生成するためには、干渉信号 301 と 304 を、同じ光周波数の点にて接続する必要がある。

【0040】

ここで、仮に、この接続する光周波数を ν_c とする。この場合、 ν_c は図 2 に示す ν_{12} から ν_{21} の間に含まれる、ある光周波数に設定する。

【0041】

本発明の本質は、上記接続する光周波数 ν_c がある特定の光周波数である必要はなく、

50

複数の波長掃引光源の発光帯域が重複している光周波数の範囲内にあれば良いということである。つまり、複数の波長掃引光源から得られる干渉信号を接続するための光周波数 ν_c をそれぞれの干渉信号同士で同じ光周波数にそろえる事は重要であるが、その ν_c は基本的に上記光周波数範囲の光周波数で接続しても OCT 像を生成することは可能である。以下、この点を踏まえて説明を続ける。

【0042】

干渉信号 301 と干渉信号 304 を同じ光周波数 ν_c にて接続するためには、干渉信号 301 および 304 の時間波形の中から光周波数が ν_c であるタイミングを見出す必要がある。

【0043】

発光強度が最大の光周波数は予め光スペクトラムアナライザー (Spectrum analyzer) 等で調べておくことができる。発光強度が最大の光周波数が既知であれば、そこから上記光周波数 ν_c までの光周波数差もわかり、各干渉信号 301 あるいは 304 において光周波数 ν_c に相当すると考えられる点を k-clock 信号 302、305 を用いて粗く見出せる。

【0044】

k-clock 信号 302、305 における光周波数 ν_c に相当すると考えられる点を PK1 (307)、PK2 (308) と決定する (第二の工程)。そして、これらの点に対応する干渉信号 301 および 304 内の点を、PS1 (309) および PS2 (310) と呼ぶ事にする。

【0045】

光源 101 にて得られる k-clock 信号 302 の時間波形の振幅が最大となる光周波数を ν_{1max} とする。

この ν_{1max} が光源 101 の波長掃引スペクトルの中で発光強度が最大となる光周波数である。

【0046】

次に、k-clock 信号 302 の振幅の山が $c/2L$ [Hz] 毎に存在することを勘案して、k-clock 信号 302 の中でどのピークあるいはどの部分が PK1 (307) であるのか粗く見積もる。

実際には ν_{1max} 近傍で k-clock 信号の振幅変化が緩やかである場合もあり、常に正確に ν_c が見つかるとは限らないが、後述のように本発明ではその点は問題にならない。同様に ν_{11} に対応する点も見出しておく。

同様に光源 102 に対しても、k-clock 信号 305 の中からその振幅が最大となる光周波数 ν_{2max} を見出し、この ν_{2max} から同様に k-clock 信号 305 の中から PK2 (308) に対応する点を見出すことが可能である。また ν_{22} に対応する点も同時に見出しておく。

【0047】

ここで、例えば光源強度計測部 110 にて計測された光源強度 303 の値を元に、光源 101 を用いて得られる干渉信号 301 の ν_{11} から PS1 (309) までの信号の振幅を光源強度で規格化する。

そして、k-clock 信号 302 を用いて等周波数間隔でサンプリングしなおして図 4 (a) に示す干渉信号 401 を生成する。

同様に干渉信号 304 の PS2 (310) から ν_{22} までの信号を元に等周波数間隔でサンプリングしなおした干渉信号 402 を生成する (図 4 (a))。

【0048】

この干渉信号 401 と 402 を接続することで合成干渉信号 403 を生成する。そしてこの合成干渉信号 403 をフーリエ変換することで図 4 (b) に示す OCT 像 (第一の OCT 像) 404 を生成する (第三の工程)。

フーリエ変換の際、適切な窓関数などをかけても良い。

【0049】

上記の手続きにおいて、PS1とPS2がともに真に ν_c である場合は、干渉信号301と304は同じ光周波数 ν_c にて接続できている。

【0050】

しかし、たとえば k -clock信号の振幅変化が緩やかであるなどの理由で、 k -clockが最大振幅をとる光周波数を正しく見積もれていないなどの原因からPS1とPS2における光周波数が異なり、同じ光周波数同士で接続できていない場合も想定される。

【0051】

そこで、例えば下記に述べるように、接続する干渉信号の一方の接続する光周波数を k -clockの1周期分ずらして干渉信号を接続し、図4(b)に示すOCT像(第二のOCT像)407を生成する(第四の工程)。

10

そして、上記第三の工程で生成されたOCT像404と比較し、それらを評価する(第五の工程)。

例えば、 k -clock信号305に対しPK2(308)から k -clock信号で1周期分遅れたPK3(311)に対応するPS3(312)を干渉信号304内に見出す。

【0052】

そして、上述の手続きと同じようにして干渉信号405を作成し、上記干渉信号401と干渉信号405を接続し、図4(a)に示す合成干渉信号406を別途生成する。

20

そして、この合成干渉信号406をフーリエ変換してOCT像407を生成する。

ここで、OCT像404とOCT像407のSN比を比較する。

【0053】

上述のように異なる波長帯域の干渉信号を接続して一つの連続した広帯域干渉信号を合成する際、PS1とPS2での光周波数が異なる場合、干渉信号内に含まれる種々の周波数成分の位相が不連続に接続されることが原因でノイズがOCT像に発生する。

【0054】

逆に、OCT像内のノイズあるいはSN比を評価し、SN比が極大になるように干渉信号401と402に対してPS1およびPS2を選ぶことで、両者を同一の光周波数で接続することができる。

【0055】

30

OCT像のSN比は、たとえば眼底OCTなどであれば、眼底第一層目(網膜表面)などの信号強度が大きく、その手前にOCT像の生成要因がない部位に対して、評価することができる。

例えば、OCT像404およびOCT像407が眼底像である場合、網膜像の信号強度のピーク値とその手前側のノイズ値の比からSN比を評価し両者を比較する。

【0056】

そして、SN比が良い方の干渉信号の接続の仕方がより、同一光周波数での接続に近い、と判断する。

【0057】

40

例えば、OCT像407のほうがSN比が大きい場合、干渉信号304のPS3を ν_c から見て更に k -clockの1周期分ずらした点にして、上記と同様の手続きにてOCT像を生成しそのSN比を評価すればよい。

このように、周期を更に順次ずらして接続された前記第一と第二の干渉信号により取得されたOCT像の比較をする操作を、OCT像のSN比の極大値が見出されるまで繰り返すことで、接続光周波数として同一光周波数を見出すことができる。

【0058】

これにより、光源101による干渉信号と光源102による干渉信号を同一の光周波数にて接続することができる(第六の工程)。

【0059】

また、SN比の評価方法はOCT像にて評価する方法に限るものではない。例えば、上

50

記眼底 OCT の場合を例にとると、眼底の網膜像の手前に来る信号はノイズ成分が主体的であると考えられる。

そこで、OCT 像からこの部分だけを抜き出し逆フーリエ変換を施し、時間波形に戻した後、この時間波形の振幅が最小になる接続光周波数を探索する評価方法をとることもできる。

【 0 0 6 0 】

また、同様に、眼底 OCT であれば、明らかに網膜像より手前の位置から生じる干渉信号に相当する低周波の干渉信号のみを使ってノイズ評価をする場合、取得した干渉信号を電氣的なローパスフィルタに通した後、その振幅を評価するようにしてもよい。

【 0 0 6 1 】

また、上述のように SN 比を極大とする接続光周波数を探索する評価方法の他に、例えば OCT 像の信号強度が極大となる接続光周波数を探索する評価方法もとることができる。SN 比が極大となる接続光周波数では、信号強度は極大となるからである。

【 0 0 6 2 】

あるいは、OCT 像から例えば網膜像などの信号成分だけを抜き出し逆フーリエ変換を施し、時間波形に戻した後、この時間波形の振幅が極大となる接続光周波数を探索する評価方法を取ることもできる。

また、同様に眼底 OCT であれば、網膜像など信号強度が大きい部位からの干渉信号の周波数成分がおおよそ見当が付いている場合、取得した干渉信号を電氣的なバンドパスフィルタに通した後、その振幅を評価するようにしても良い。

【 0 0 6 3 】

さらに、OCT 信号から一度対象領域（例えば眼底）の広い領域の OCT 像を画像として構成してから SN 比評価を行う事もできる。

例えば眼底の場合、OCT 画像をまず構成し、この OCT 像から眼底の網膜表面のうち最も信号強度が強そうな部位を予め見つけておき、この部位からの干渉信号を用いて、SN 比を評価することが好ましい。SN 比が最大となっていることを判断する為には特に信号強度が大きいほど好ましいため、予め OCT 像から眼底の反射率等が高い領域を見出しておくこともできる。

【 0 0 6 4 】

また、干渉信号を取得している光周波数帯域内で上記操作を繰り返しても SN 比の極大値が見つからない場合には、干渉信号 301 と 304 の中に、互いに同じ光周波数に対応する信号が含まれていないことが考えられる。

それは、互いに同じ光周波数に対応する点にて接続した場合の OCT 像の SN 比がもっとも良く、接続する光周波数が互いに異なると必ず合成干渉信号から得られる OCT 像の SN 比は悪化するためである。

【 0 0 6 5 】

したがって、合成干渉信号から得られる OCT 像に関し、上記のように接続する光周波数を変化させても SN 比の極大値が見つからない場合には、光源 101 と光源 102 の発光周波数帯域が互いに重複するように、少なくとも一方の光源の波長掃引帯域を拡大する必要がある。

【 0 0 6 6 】

そのため、波長掃引帯域を拡大する制御を光源に対してフィードバックする。そして、掃引帯域を拡大した上で干渉信号を取り直し再度接続すべき光周波数を探索することが必要である。

【 0 0 6 7 】

本発明の実施形態に係る OCT 装置では、上記 PS1 と PS2 が等しい光周波数であれば、その値が必ずしも正確に ν_c ではなくてもよい。

このため、実際に波長フィルタや分光器などを用いて高精度に ν_c の絶対周波数（あるいは波長）をモニタする必要はない。

得られる干渉信号や $k - clock$ 信号から、複数の光源による独立な干渉信号を接続し

10

20

30

40

50

て広帯域な干渉信号を生成することができる。

【0068】

また、 k -clock 信号を干渉計にて生成し、干渉計の二つの出力ポートからの信号を用いて差動検出することもできる。この場合 k -clock 信号は DC 成分が除去され、図 9 に示すように、0 を中心に上下に振れる信号波形となる。

k -clock が図 9 のように取得できる場合は、 $vc1$ 903 から $vc2$ 906 の範囲内で、干渉信号強度が 0 になる点を用いて、光周波数が等しいポイントを探すこともできる。

それは、光源の発光強度が 0 になる光周波数以外では、 k -clock 信号強度が 0 になる点は、光源自身の発光スペクトル形状に依存せず常に等しい光周波数間隔で存在するからである。

ただ、一般的には光源自身の発光スペクトル形状は緩やかであり急激な変化は含まないため、その場合には図 5 に示すような k -clock 信号の“山”や“谷”もまた、上記 k -clock 信号強度が 0 になる点と同様に略等しい光周波数間隔で存在する。

したがって、差動検出器等を用いない簡易な構成の k -clock 生成系を用いて図 5 のような k -clock を生成し OCT 像を構成することもできる。

【0069】

また、光源の掃引速度や発光帯域が安定で、一回の掃引ごとに大きく変動することがない安定な光源の場合には、毎回の波長掃引ごとに接続する光周波数を探索する必要はない。次回の波長掃引における上記の接続する光周波数での発光のタイミングは前回の発光タイ

ミングからちょうど光源の掃引周期 1 回分過ぎた時刻であるとしてほぼ正しい。そして、数回の波長掃引ごとに、接続する光周波数をチェックしなれば安定な光源の場合は十分である。このような運用にすることで計算の負荷を軽減することができる。

【0070】

また、下記に述べるように、既知のリファレンス信号を用いて、干渉信号を接続する光周波数を探索するようにすることもできる。

【0071】

光源 101、102 の光を一部分岐し、リファレンス信号生成系へ導入する。

リファレンス信号生成系はたとえば狭ギャップで対向配置したハーフミラー対で構成されるファブリペローフィルタなどでも良いしマイケルソン型やその他の形式の干渉計でも良い。

また、リファレンス信号には周波数が既知の単一周波数の信号を用いる。

そして、接続する光周波数における、光源 101 の光によるリファレンス信号と光源 102 によるリファレンス信号の位相を検出する。両者の位相が接続する点で連続であるかモニタリングすることで、簡易的に接続する光周波数が揃っているか検知することができる。

接続する光周波数を決めたあとは、毎回の掃引ごとに上記リファレンス信号の接続周波数での位相をモニタリングし、不連続になった場合は接続する点を k -clock 1 周期分ずらして再度位相をモニタリングすればよい。

このように既知のリファレンス信号をモニタリングすることにより、毎回 OCT 像を計算しなくても接続光周波数が正しく維持されている事を検知することが出来るため、計算負荷を軽くすることができる。

【0072】

ここまで述べてきた操作だけでも同一の光周波数にて干渉信号を接続できるが、さらに下記の操作を行うようにすることもできる。

【0073】

光源 101 と 102 による干渉信号を接続すべき光周波数は同一であることが必要であるが、その光周波数は必ずしも上述の様にはじめに決めた vc が最適かどうかはわからない。

あるいは、よりよい SN 比をもたらすことが可能な接続光周波数が存在している可能性が

10

20

30

40

50

ある。

例えば図 4 に示す干渉信号 4 0 1 と干渉信号 4 0 5 の中で同一の光周波数に対応する点 P S 1 と P S 3 を見つけた後、この両者を同時に k - c l o c k で 1 周期分ずつ増減させながら合成干渉信号を作成し、同様に O C T 像の S N 比を評価していけばよい。

このような操作も、さらなる O C T 像の S N 比向上を図ることが可能である。

また、この操作では周波数の増減は必ずしも k - c l o c k の整数倍である必要はない。

【 0 0 7 4 】

以下、図 5 を用いて具体的な構成例について説明する。

【 0 0 7 5 】

干渉信号 5 0 1 および 5 0 2 に対して、k - c l o c k 信号 5 0 3、5 0 4 が得られて 10

いるものとする。
この k - c l o c k 信号に対する光周波数の対応付けは上記手続きにて既に済んでいるものとする。

k - c l o c k 信号 5 0 3 の中の点 5 0 5 と k - c l o c k 信号 5 0 4 の中の点 5 0 6 が同じ光周波数 v c 1 であるものとする。

また、これらとは異なる光周波数である点 5 0 7 と点 5 0 8 は互いに同じ光周波数 v c 2 であるとする。

【 0 0 7 6 】

干渉信号 5 0 1 と 5 0 2 は互いに同じ光周波数にて接続する必要があるが、一方でその 20

接続する光周波数の値には制限がない。
つまり、複数の光源がともに発光をしており干渉信号が得られている光周波数であればどの光周波数でも良い。

つまり、上述のように k - c l o c k 信号内に、複数の光源の対応する光周波数を見出しておけば、その中のどの光周波数同士で干渉信号 5 0 1 と 5 0 2 を接続するかは自由である。

【 0 0 7 7 】

そこで、これら点 5 0 5 と点 5 0 6 で接続するか、あるいは点 5 0 7 と点 5 0 8 で接続するかの光周波数同士で接続する場合が O C T 像の S N 比が良いかを検出する。

これにより、「同一の光周波数同士で干渉信号を接続する」条件を満たしつつ、最も干渉信号の S N 比が良い光周波数を探し出すこともできる。 30

このような操作を繰り返すことで、合成干渉信号から作られる O C T 像を更に高 S N 化することができる。

このように、本実施形態の構成によれば、高精度な波長モニタなどの複雑な装置を別途用いることなく、O C T を高分解能化し S N 比も高い撮像をすることができる。

【 0 0 7 8 】

また、上記の説明では、波長掃引光源と、前記波長掃引光源の光に基づいて等周波数間隔の信号を生成する信号生成部を有する構成で説明したが、本発明はこの構成に限るものではない。

例えば、Super Structure Grating DBR レーザ (S S G - D B R レーザ) のように、波長掃引光源であって且つ発光波長がもともと等周波数間隔である光源を用いる事もできる。一般的な波長掃引光源では時間と共に連続的に発振波長が変化するが、S S G - D B R レーザで時間的に波長掃引を行うと、発光波長が時間と共に離散的に変化する。 40

【 0 0 7 9 】

そして、この離散的な発光波長が等周波数間隔になっている。光源 1 0 1 及び光源 1 0 2 が S S G - D B R レーザである場合における、S S G - D B R レーザから射出される光の光周波数の時間変化を図 1 0 に示し、得られる干渉信号の一例を図 1 1 に示す。図 1 0 において、光源 1 0 1 の光周波数 1 0 0 1 及び光源 1 0 2 の光周波数 1 0 0 2 を示す。S S G - D B R レーザで発光可能な光周波数の間隔が先述の k - c l o c k 信号の光周波数の間隔と近い場合には、信号生成部を用いずに、等周波数間隔で干渉信号を取得可能であ 50

る。

【0080】

図11において、光源101にSSG-DBRレーザを用いた場合の干渉信号1101、光源101の光源強度1103を示す。同様に光源102にSSG-DBRレーザを用いた場合の干渉信号1104、光源102の光源強度1106を示す。光源の光周波数が離散的に変化する為、干渉信号の波形も階段状になる。

【0081】

そして、二つの光源からの干渉信号1101、1104を接続すべき光周波数 ν_c は、例えば先述と同様に光源強度が最大となる光周波数を予め光スペクトラムアナライザー等でしらべておくことにより、接続すべき光周波数 ν_c 1109を粗く予測する事ができる。干渉信号1104においても対応する光周波数 ν_c 1112を同様に予測することができる。あるいは、光源の周波数を変化させるためにSSG-DBRレーザのDBR部分等に対して印加する電流信号からも、ある時点での光源の発光波長を大まかに予測する事ができる。

10

【0082】

そして、接続する光周波数を等周波数間隔でずらしてOCT像の作成を逐次作成する際にも、干渉信号1101あるいは光源強度1103を参照することで、接続する光周波数 ν_c を等周波数間隔でずらして行くことができる。

【0083】

また、SSG-DBRレーザの光周波数の間隔が、上記の説明で用いた k -clockの光周波数間隔よりも十分に細かい場合、光源が通常の波長掃引光源である場合と同様にSSG-DBRレーザの光を信号生成部に通し所望の光周波数間隔の k -clock信号を生成する事もできる。

20

【実施例】

【0084】

以下に、本発明の実施例について説明する。

本実施例では、本発明を適用したSS-OCT装置、及びSS-OCT像を取得する方法の構成例について説明する。

【0085】

図6(a)にその構成図を示す。ここで、物体108に対応する検査対象物614は眼底であるとする。

30

光源部を構成する波長掃引光源部601と、参照部を構成する参照光光路用ファイバ602、コリメータレンズ621、干渉部を構成するファイバカップラ603、反射ミラー604を配置する。

さらに、検体測定部を構成する照射光光路用ファイバ605、コリメータレンズ620、照射集光光学系606、照射位置走査用ミラー607を接続する。

これに加え、光検出部を構成する受光用ファイバ608、フォトディテクタ609、照射用ファイバ610、画像処理部を構成する信号処理装置611、画像出力モニタ613を接続する。

そして、光源部を構成する光源制御装置(光源制御部)612を接続した構成により光断層撮像装置を構成できる。

40

なお、干渉光学系を構成するファイバは本実施例ではシングルモードファイバで構成し、各種ファイバカップラは3dBカップラで構成するが本発明の構成はこの構成に限るものではない。

また、波長掃引光源部601は図6(b)に示すように、波長掃引光源615、波長掃引光源616、 k -clock系617、光源強度検出器618、リファレンス干渉計619からなる。

【0086】

本実施例では、 k -clock系として干渉計の両腕の長さの差が8mmであるマイケルソン干渉計を用いる。

50

この干渉計から出力される干渉信号は、光周波数にして 18.737 GHz 毎の $k\text{-clock}$ を生成する。

【0087】

波長掃引光源 615 および 616 には、光源制御装置 612 から制御信号が入力される。波長掃引光源の発振波長や強度及びその時間変化は光源制御装置によって制御される。本実施例では、波長掃引光源 615 は発光波長が 800 nm (374.7 THz) から 845 nm (354.8 THz)、発光強度最大の波長は 830 nm (361.2 THz) である。波長掃引光源 616 は、発光波長が 835 nm (359.0 THz) から 880 nm (340.7 THz)、発光強度最大の波長は 860 nm (348.6 THz) である。波長掃引の周期は両者共に 500 us である (図 7 (a) 参照)。

10

【0088】

波長掃引光源 615 および 616 から出射された光はファイバカップラにおいて参照光路用ファイバ 602 及び照射光路用ファイバ 605 に分割されて導入される。

さらに、参照光路用ファイバの先端には反射ミラーが配置され、光は反射ミラーで反射され受光用ファイバに導入されフォトディテクタに到達する。

同時に、ファイバカップラにて照射光路用ファイバに導入された光は検査物体に照射され、後方散乱光が被験物体の内部及び表面から発生する。

後方散乱光は照射集光光学系を通してファイバカップラからフォトディテクタに集光される。

フォトディテクタで受光された光を信号処理装置にてスペクトル信号に変換し、さらにフーリエ変換を施すことで被験物体の奥行き情報を取得する。

20

【0089】

本実施例では、つぎのように OCT 像を形成する。

まず、波長掃引光源 615 を用いて得られる干渉信号と波長掃引光源 616 を用いて得られる干渉信号を波長 840 nm (356.9 THz) にて接続する。

波長掃引光源 615 の発光強度最大の波長である 830 nm (359.0 THz) から接続光周波数までは周波数差が約 2.1 THz であるため、これは $k\text{-clock}$ 信号の 112 山分に相当する。

したがって、波長掃引光源 615 に対して生成される $k\text{-clock}$ 信号において、 $k\text{-clock}$ 信号が最大振幅となる点から光周波数の低周波側に数えて 112 山目を接続周波数とみなす。

30

同様に、波長掃引光源 616 の発光強度最大の波長は 860 nm (348.6 THz) であり、接続光周波数までは周波数差が 8.3 THz である。したがってこれは $k\text{-clock}$ の約 443 山分に相当する。

したがって、波長掃引光源 616 に対して生成される $k\text{-clock}$ 信号において、 $k\text{-clock}$ 信号が最大振幅となる点から光周波数の高周波側に数えて 443 山目を接続周波数とみなす。

【0090】

そして、波長掃引光源 615 を用いて得られる干渉信号と波長掃引光源 616 を用いて得られる各干渉信号の振幅を、あらかじめ光源強度検出器 618 にて測定してある光源強度スペクトルを用いて規格化する。

40

【0091】

さらに、各干渉信号を前記 $k\text{-clock}$ 信号を用いて等周波数間隔にリサンプリングする。

リサンプリングの際には、必要であれば各干渉信号のデータを直線補間あるいはスプライン補間などを用いてもよい。

【0092】

そして、等周波数間隔でリサンプリングした各干渉信号を波長 840 nm (356.9 THz) にて接続する。

そして、接続後の干渉信号を用いて OCT 像を作成する。

50

【0093】

これと同時に、波長掃引光源 616 を用いて得られる干渉信号の接続位置を、 k -clock 信号が最大振幅となる点から光周波数の高周波側に数えて 444 山目を接続周波数とみなした場合の OCT 像も作成し、両者を比較する。例えば、 k -clock 信号の 444 山目で接続した場合の OCT 像の方が SN 比が大きければ、更に k -clock 信号の高周波側に 1 山分ずらした、445 山目で接続した OCT 像と SN 比を比較する。この操作を繰り返し OCT 像の SN 比が最も良くなる条件を探し出す。

【0094】

OCT 像の SN 比評価は、最も信号強度が強く且つその手前の位置には大きな信号発生源が無い網膜の最前面の手前側の空間に発生するノイズを評価する事で行うことができる。この場合、網膜像の像強度とノイズ強度の比を以て SN 比とする。

10

【0095】

上記のように接続光周波数をずらした像構成をしても SN 比の極大値が見出されない場合には、波長掃引光源 615 と 616 の波長掃引帯域が実際には想定よりも小さく、その結果重複する帯域が存在していない可能性がある。

したがって、その場合には光源制御装置 612 から各波長掃引光源に対してその波長掃引範囲を拡大する制御信号を送出し、再度各光源にて干渉信号を取得する必要がある。

【0096】

このようにして、OCT 信号の SN 比の極大値を見出すことで、複数の光源を用いた広帯域光源による高分解能 OCT 像を、高精度な波長モニタなどを用いることなく作成する事が出来る。

20

【0097】

また、OCT 信号の SN 比が極大となる接続条件が見いだされた場合には、次の操作を継続してもよい。

【0098】

波長掃引光源 615 の k -clock 信号の 112 山目と波長掃引光源 616 の k -clock 信号の 445 山目で信号を接続した場合に干渉信号の接続位置での対応する光周波数が揃っているとする。

これは前述の SN 比極大値から見出してあるものとする。

ここで、接続光周波数を波長掃引光源 615 の k -clock 信号の 112 山目から一つ高周波側の 111 山目にずらし、同時に波長掃引光源 616 の k -clock の 445 山目から一つ高周波側である、446 山目にずらしてもよい。

30

同じ k -clock 系を用いている限り、これらの接続光周波数自体は k -clock の 1 山分ずれても、互いにその光周波数が同一である関係は保たれているからである。

このように接続する光周波数が等しい状態を維持しつつ、更にその接続する光周波数を前記 k -clock 信号を元に 1 山分 (1 周期分) ずつ、あるいは 1 周期に限らず一定周波数分ずつ変化させていき、OCT 像の SN 比が最も良くなる接続光周波数を探すこともできる。

【0099】

更に、一度上記の手続きを経て接続する光周波数を見つけた後はリファレンス干渉計 619 を用いて、接続波長のずれを簡易的にモニタリングする事もできる。

40

リファレンス干渉計として、本実施例では厚さ 1 mm のファブリペローエタロンを用いる。厚さ 1 mm のエタロンで得られる干渉信号は 149.9 GHz である。

なお、リファレンス干渉計で作る干渉信号の周波数はこの値に限るものではない。

【0100】

接続する光周波数が一致している場合には、図 7 (b) に示すように、リファレンス干渉計に対して波長掃引光源 615 および 616 からの光をそれぞれ入射して得られる干渉信号 701 および 702 は連続する位相で接続される。これにより、合成干渉信号 703 のようになめらかな接続の信号が得られる。

しかし、光源の揺らぎ等で接続する光周波数が変動してしまう場合には合成干渉信号 70

50

4のように位相が連続しない接続になる。

したがって、接続点705および706でのリファレンス信号の位相をモニタしておき位相が連続しているか確認することで簡易的に接続光周波数が干渉信号701と702で一致しているか検知可能であり、このような接続光周波数の制御も行うことができる。

位相ずれが検知されるばあいには、干渉信号の光接続周波数を変化させ、正しい光接続周波数を探索するように制御する。

【0101】

また、上記説明では干渉計測系として図6(a)に示す構成を用いたが、このような構成に限られるものではなく、例えば図8に示すように、干渉信号を差動検出器を用いて取得するように構成してもよい。

図8において、光源部801と、アイソレータ802、参照部を構成する参照光光路用ファイバ806、偏波コントローラ818、コリメータレンズ821、干渉部を構成するファイバカップラ805、反射ミラー807を配置する。

さらに、検体測定部を構成する照射光光路用ファイバ814、偏波コントローラ819、コリメータレンズ820、照射集光光学系815、照射位置走査用ミラー808を接続し、検査対象物809を配置する。

【0102】

これに加え、光検出部を構成するファイバカップラ803、ファイバカップラ804、受光用ファイバ816、受光用ファイバ817、バランスフォトディテクタ810、画像処理部を構成する信号処理装置811、画像出力モニタ813を接続する。

そして、光源部を構成する光源制御装置812を接続した構成により光断層撮像装置を構成できる。

【符号の説明】

【0103】

301：干渉信号

302：k - c l o c k 信号

303：光源強度

304：干渉信号

305：k - c l o c k 信号

306：光源強度

401：干渉信号

402：干渉信号

403：合成干渉信号

404：O C T 像

405：干渉信号

406：合成干渉信号

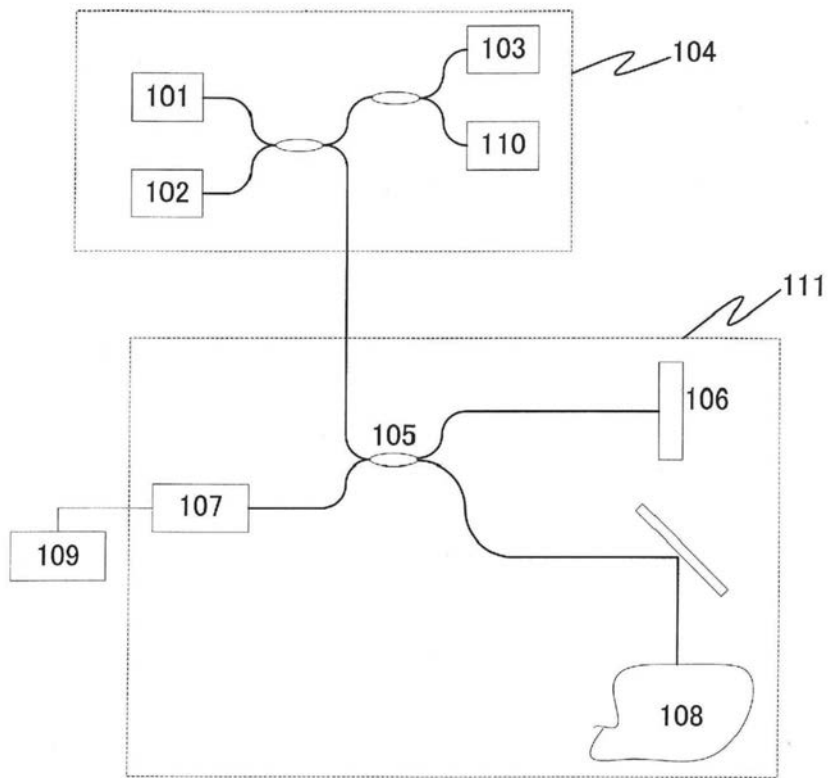
407：O C T 像

10

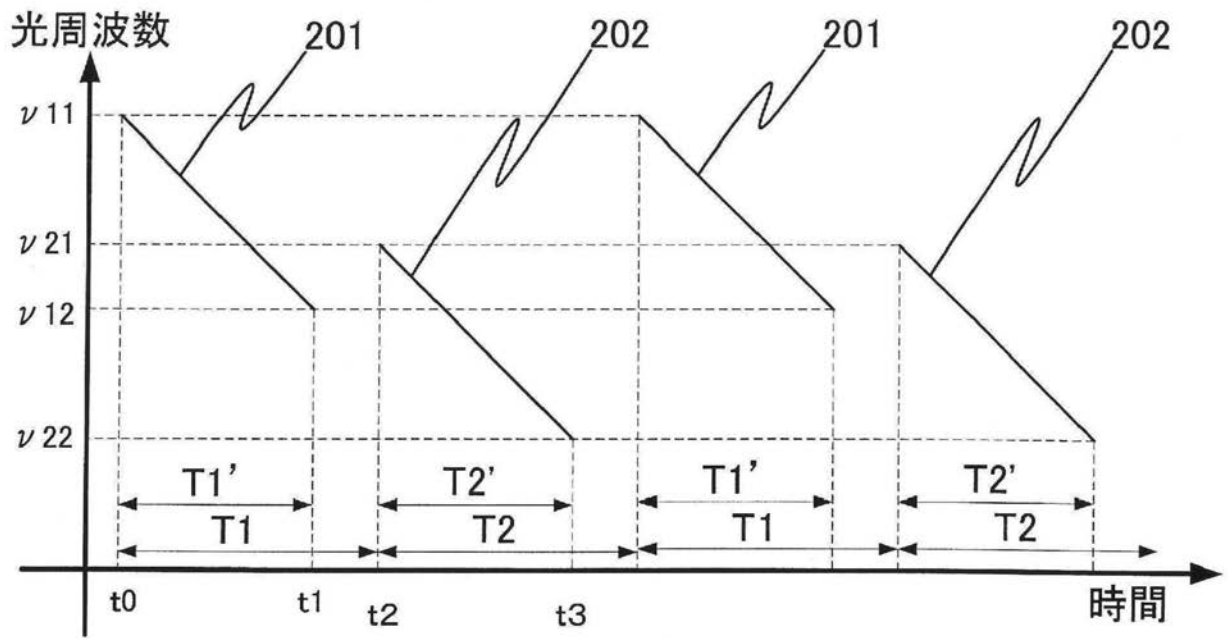
20

30

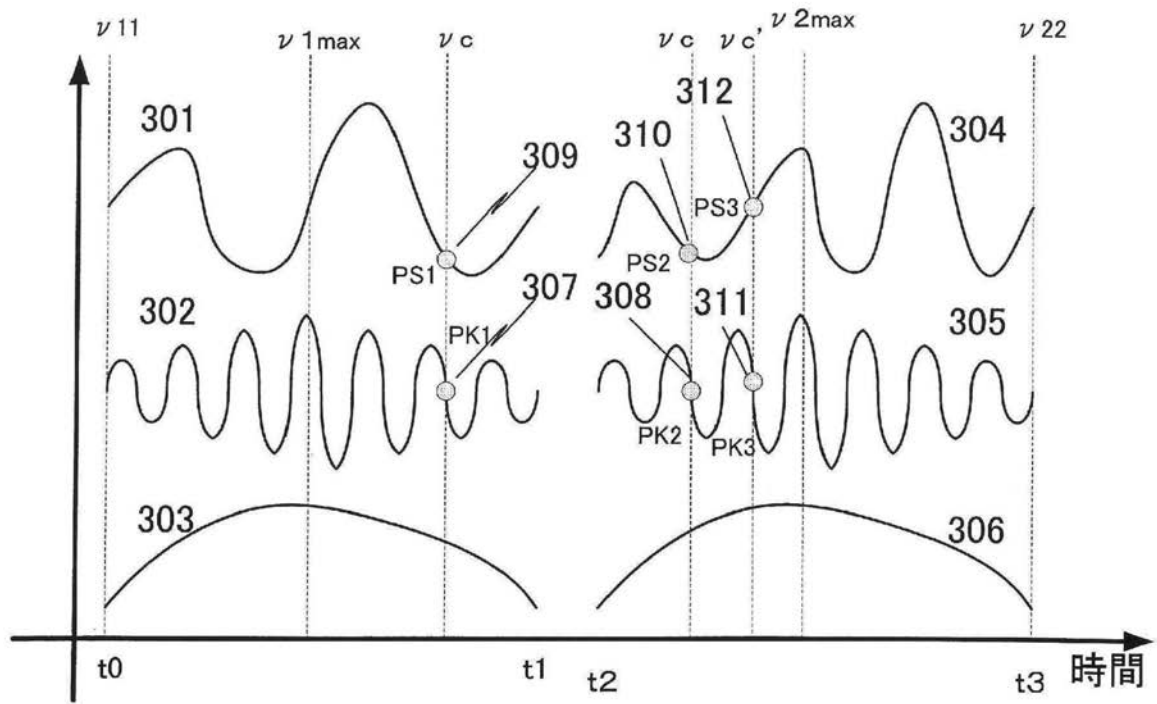
【図 1】



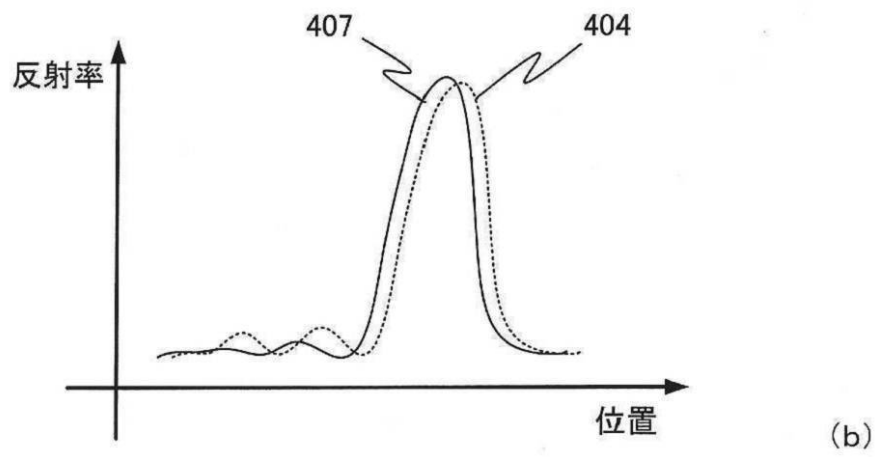
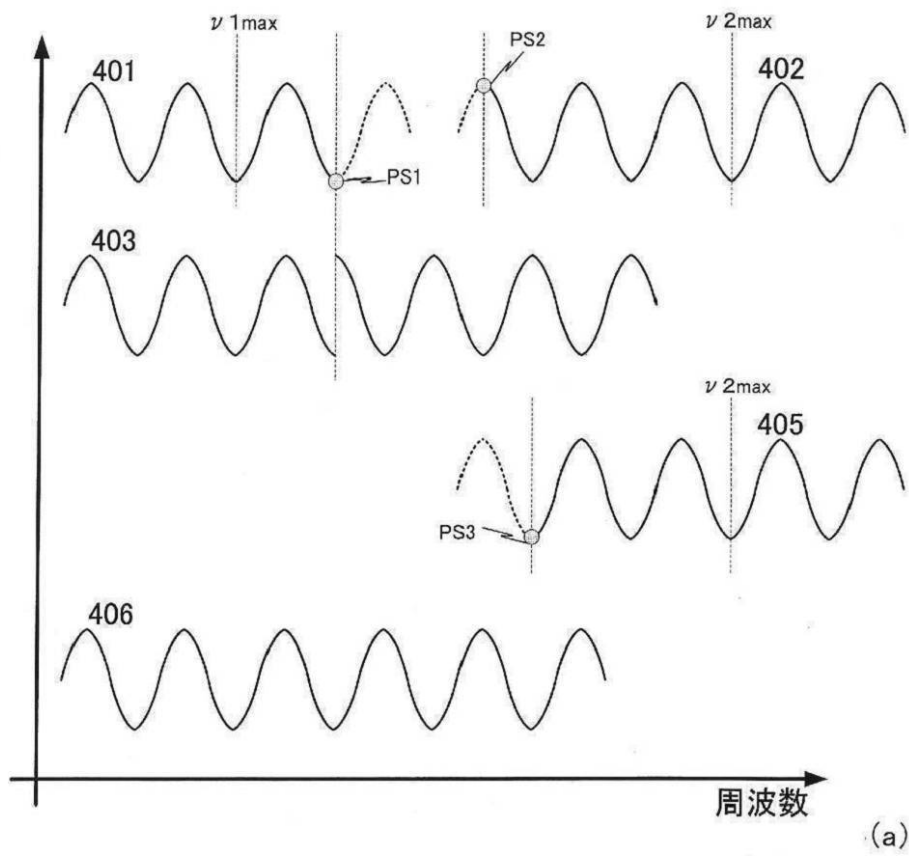
【 図 2 】



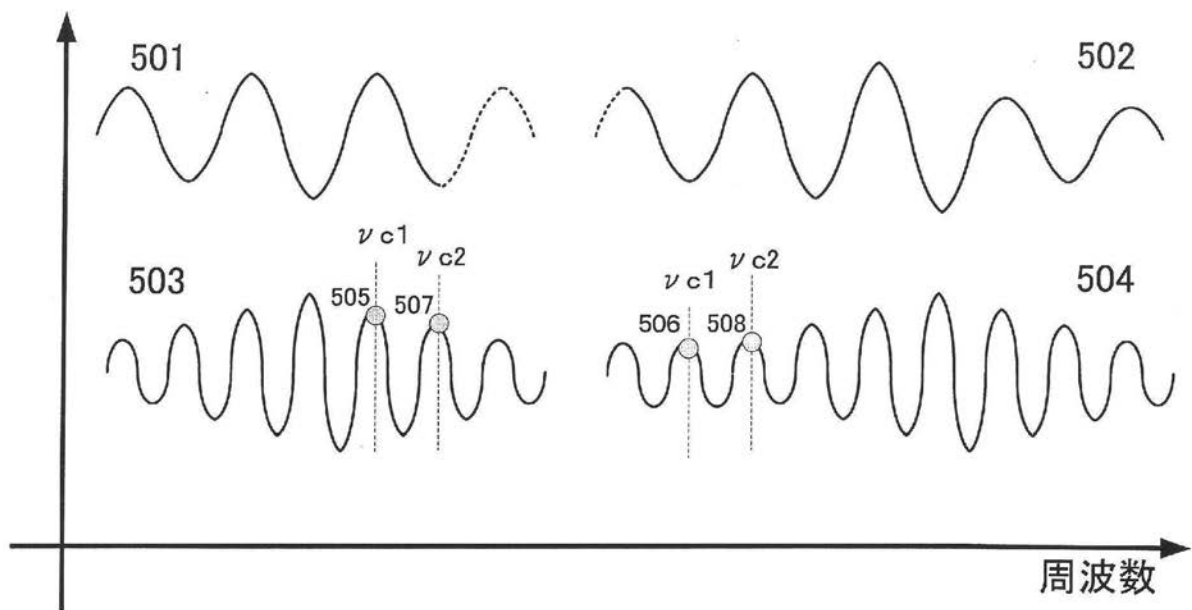
【図 3】



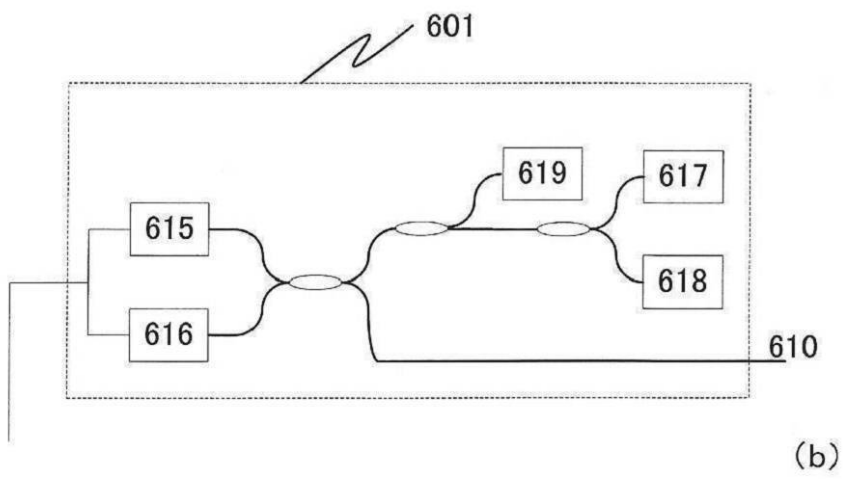
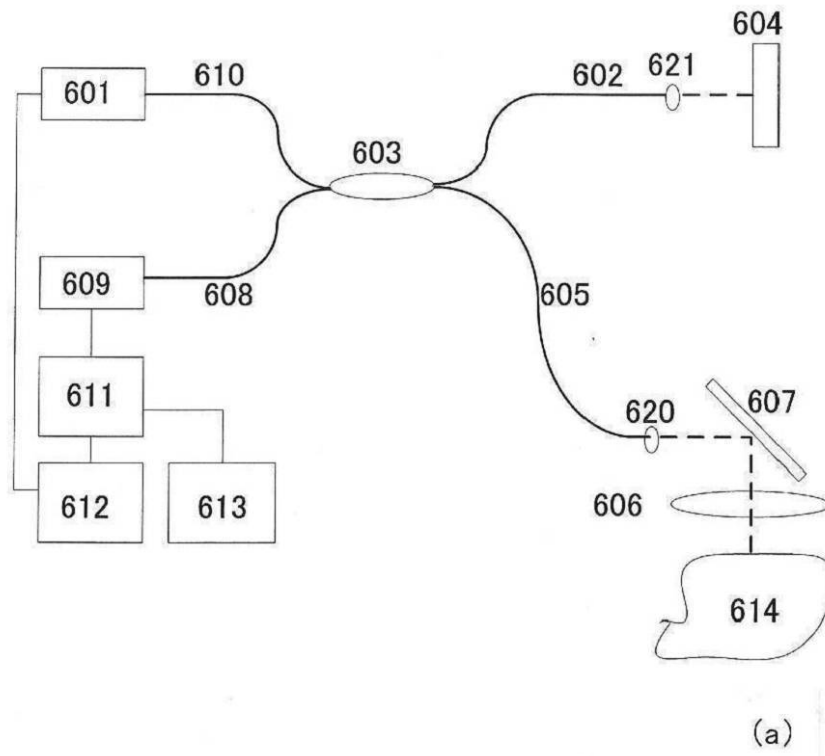
【 図 4 】



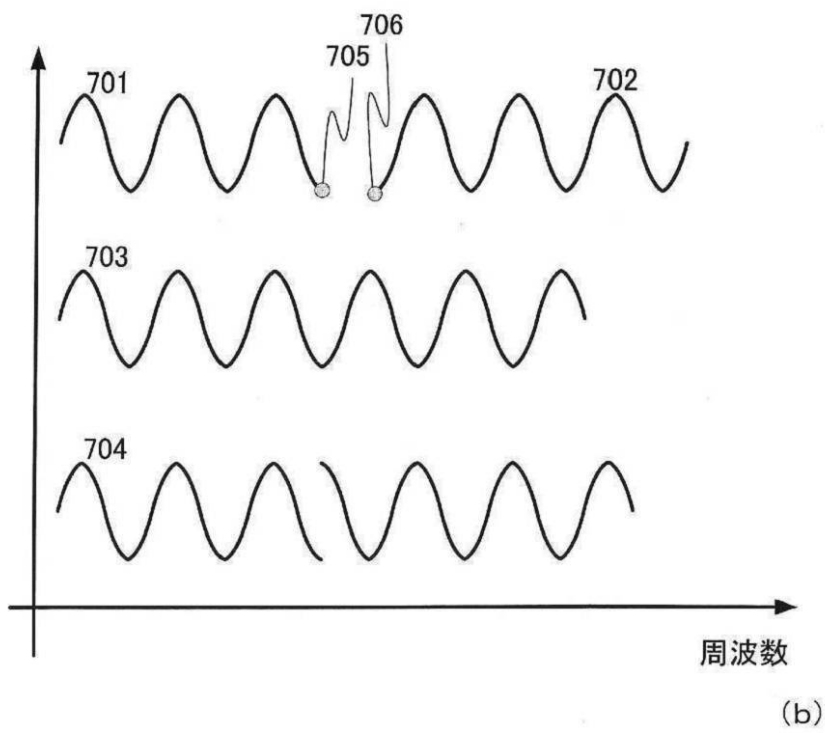
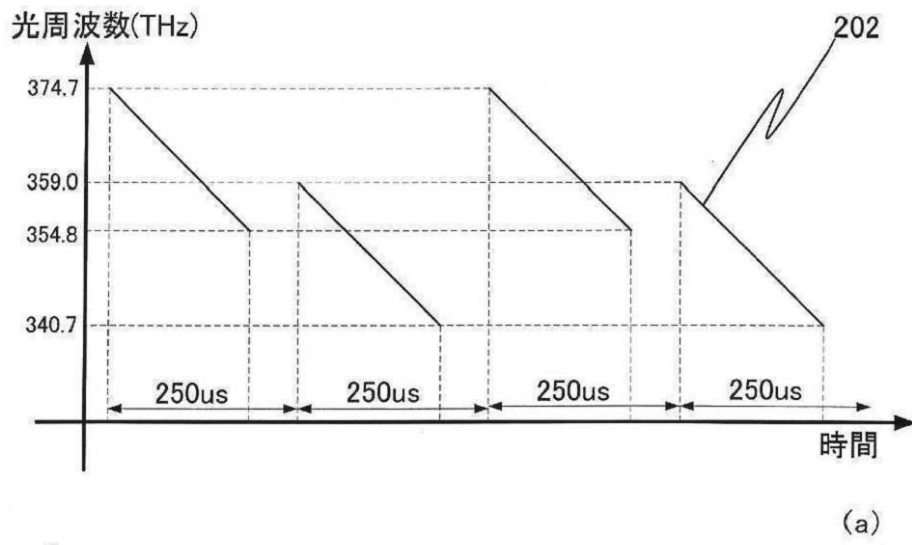
【図 5】



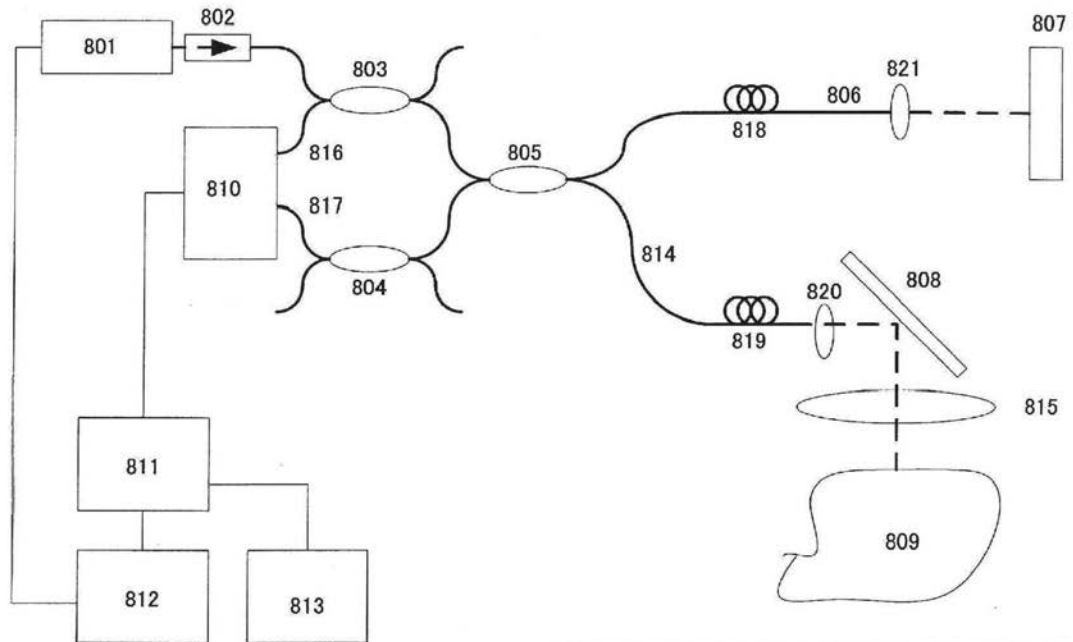
【 図 6 】



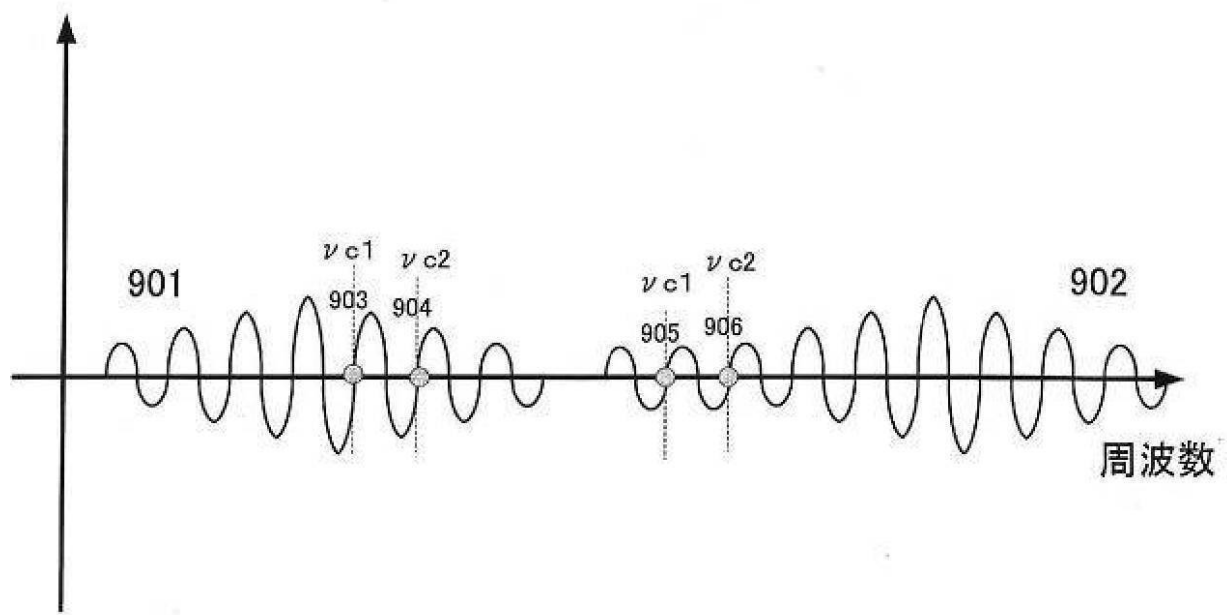
【図 7】



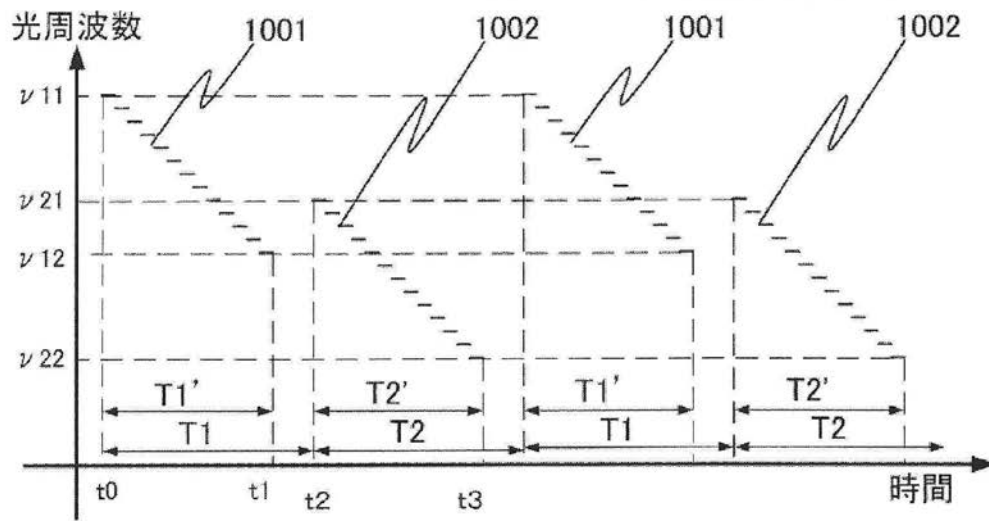
【図 8】



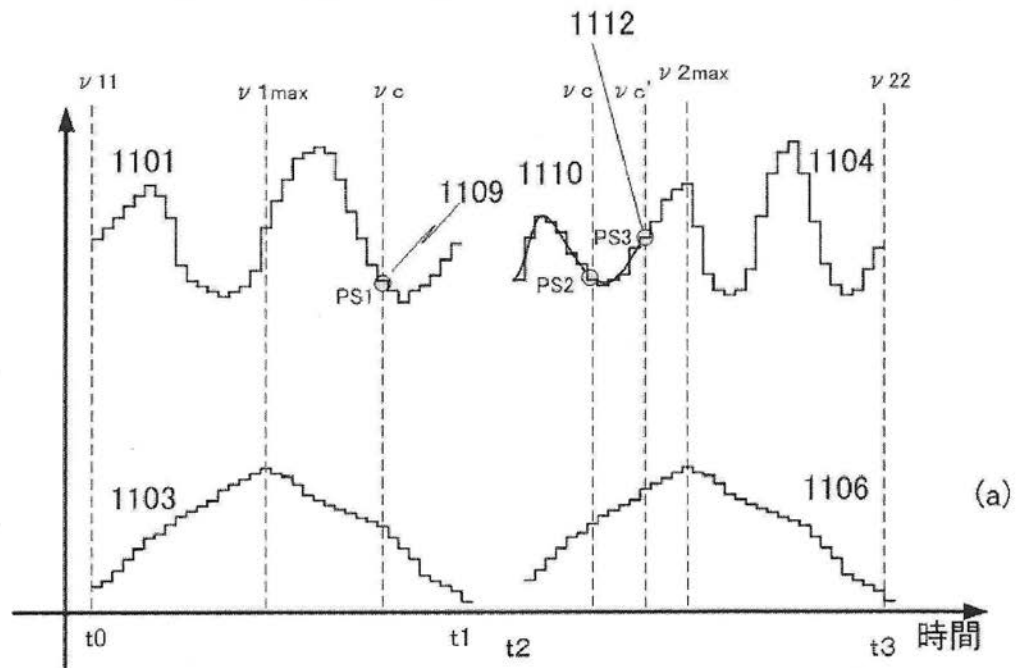
【 図 9 】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 太田 健史

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

Fターム(参考) 2G059 AA05 BB12 EE02 EE09 EE11 GG01 GG03 GG09 JJ11 JJ13
JJ15 JJ17 JJ30 KK01 MM01 PP04