

(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2014-232010

(P2014-232010A)

(43) 公開日 平成26年12月11日(2014.12.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 21/01 (2006.01)	GO 1 N 21/01 D	2 G O 5 9
GO 1 N 21/17 (2006.01)	GO 1 N 21/17 6 2 5	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2013-112004 (P2013-112004)	(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
(22) 出願日	平成25年5月28日 (2013.5.28)	(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
		Fターム(参考)	2G059 AA03 AA05 BB08 EE02 EE09 FF01 GG01 GG09 HH01 HH08 JJ03 JJ13 JJ17 JJ22 KK01 MM01 MM12

(54) 【発明の名称】 波長可変光源、前記波長可変光源、及びこれを用いた光干渉断層撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 光量が急激に大きくなる構成であるため、外乱により周波数間隔が変化した場合でも、安全に使用できる波長可変光源を提供すること。

【解決手段】 周波数間隔 Δ_1 の離散ピークのいずれかの周波数を有する光を発生し、かつ、前記 Δ_1 を変化させることが可能な発光部と、前記発光部から発生された光から、周波数間隔 Δ_2 の離散ピークを有する光を選択的に透過させる周波数選択部とを有し、前記周波数選択部を透過した光を射出する波長可変光源であって、

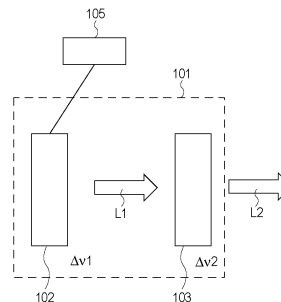
前記 Δ_1 の離散ピークの各中心周波数 m が下記の式(1)に示す関係を満たし、

前記 Δ_1 を変化させることによって、射出する光の波長を変化させることを特徴とする波長可変光源。

$$m = m_0 + m_1 \quad (1)$$

ただし、上記式(1)において $m_0 = 0$ 、 m は正整数である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周波数間隔 Δf_1 の離散ピークを有する光を發し、かつ、前記 Δf_1 を変化させることが可能な發光部と、前記發光部から發せられた光から、周波数間隔 Δf_2 の離散ピークのいずれかの周波数を有する光を選択的に透過させる周波数選択部とを有し、前記周波数選択部を透過した光を射出する波長可変光源であって、

前記發光部は、前記 Δf_1 の離散ピークの各中心周波数 f_m が下記の式 (1) に示す関係を満たすように發光し、

前記發光部から發せられる光の前記 Δf_1 を変化させることによって、射出する光の波長を変化させることを特徴とする波長可変光源。

$$f_m = f_0 + m \Delta f_1 \quad (1)$$

ただし、上記式 (1) において $f_0 \geq 0$ 、 m は正整数である。

【請求項 2】

前記周波数選択部が、ファブリーペローフィルタであることを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変光源。

【請求項 3】

前記ファブリーペローフィルタがエアギャップを有する構成、または、エタロン板であることを特徴とする請求項 2 に記載の波長可変光源。

【請求項 4】

前記發光部は連続波光を發する光源と、前記連続波光に時間的に周期的な変調をかけてサイドバンドを生成する変調部とを有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の波長可変光源。

【請求項 5】

前記發光部はモードロックレーザであることを有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 に記載の波長可変光源。

【請求項 6】

前記發光部はスーパーコンティニウム光を發する光源であることを有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 に記載の波長可変光源。

【請求項 7】

光の波長を変化させる光源部と、

前記光源部からの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發生させる干渉光学系と、

前記干渉光を受光する光検出部と、

前記干渉光の強度の時間波形に基づいて、前記物体の情報を取得する情報取得部と、を有する光干渉断層撮像装置において、

前記光源部が請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の波長可変光源を有することを特徴とする光干渉断層撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、射出する光の波長を変化可能な波長可変光源及びそれを用いた光干渉断層撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

射出する光の波長を変化可能な光源（以下、波長可変光源と略すことがある）が様々な分野で利用されている。

【0003】

検査装置における波長可変光源の用途としては、レーザ分光器、分散測定器、膜厚測定器、光干渉断層撮像（Optical Coherence Tomography）装置（以下、OCT装置ということがある）等がある。

10

20

30

40

50

【0004】

波長可変光源の一例である波長掃引光源（SS（Swept-Source）光源）を用いたOCT装置をSS-OCT装置とすることがある。SS-OCT（Swept-Source Optical Coherence Tomography）装置は、測定対象物体へ光を照射し、照射光の波長を連続的に変化させ、参照光と物体の異なる深さから戻ってくる反射光とを干渉させる。そして干渉光の強度の時間波形に含まれる周波数成分を分析することによって物体の断層像を得る。SS-OCT装置は、分光器を用いないことから、光量のロスが少なく高SN比の断層像の取得が期待されている。また、OCT装置に用いられる波長可変光源から発せられる光は、スペクトルのピークの半値全幅が狭いほどコヒーレンス長が長く、深さ方向の測定範囲が大きいため好ましい。

10

【0005】

上記のSS光源としては、2台のファブリーペロー共振器を備える波長走査型ファイバレーザ光源が知られている（特許文献1）。この光源は、互いに近接するFSR（自由スペクトル領域、free spectral range）を有し、電気光学結晶と凹面鏡を用いた、2台のファブリーペロー共振器（11A、11B）と、光増幅器12とを備える。そして、2台のファブリーペロー共振器の少なくとも一方の共振器長を変えることで、射出される光の波長を変えるものである。（図7（a））。図7（b）は、特許文献1で開示されているファブリーペロー共振器の構成を示す図で、110は電気光学結晶、111、112は凹面鏡である。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2009-16396号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1の光源において、2台のファブリーペロー共振器の周波数間隔の差が小さく、外乱により周波数間隔が変化した場合、2台のファブリーペロー共振器の透過率の極大の周波数が全て一致することがある。その結果、透過率の極大の周波数全ての光が出力されてしまい、光量が大きくなってしまふことがある。例えば、特定の周波数のみの光を透過させるときに適正な光量である光源が、外乱により多数の周波数の光を透過させてしまふと、光量が急激に大きくなり、適正な光量が出力されないという課題があった。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る波長可変光源は、周波数間隔 ω_1 の離散ピークを有する光を発し、かつ、前記 ω_1 を変化させることが可能な発光部と、前記発光部から発せられた光から、周波数間隔 ω_2 の離散ピークのいずれかの周波数を有する光を選択的に透過させる周波数選択部とを有し、前記周波数選択部を透過した光を射出する波長可変光源であって、

前記発光部は、前記 ω_1 の離散ピークの各中心周波数 ω_m が下記の式（1）に示す関係を満たすように発光し、

40

前記発光部から発せられる光の前記 ω_1 を変化させることによって、射出する光の波長を変化させることを特徴とする。

$$\omega_m = \omega_0 + m \omega_1 \quad (1)$$

ただし、上記式（1）において $\omega_0 > 0$ 、 m は正整数である。

【発明の効果】

【0009】

本発明に係る波長可変光源によれば、外乱などの影響を受けても光量が急激に大きくなり構成的であるため、外乱などにより周波数間隔が変化した場合でも、安全に使用できる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 0 】

【 図 1 】本発明の実施形態に係る波長可変光源の模式図である。

【 図 2 】本発明の実施形態に係る波長可変光源を用いて波長を変化させる方法について説明するための図である。

【 図 3 】本発明の実施形態における発光部について説明するための模式図である。

【 図 4 】本発明の実施形態における周波数選択部について説明するための模式図である。

【 図 5 】本発明の実施形態に係る O C T 装置の一例を示す模式図である。

【 図 6 】本発明の実施形態における光コム光源の例について説明するための図である。

【 図 7 】特許文献 1 に開示されている、従来の波長走査型ファイバレーザ光源 (a)。およびファブリーペロー共振器 (b) について説明するための図である。

10

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 1 】

(波長可変光源)

以下、本発明の実施形態に係る波長可変光源について図 1 を用いて説明する。図 1 は本実施形態に係る波長可変光源の模式図である。なお、図中の右向きの矢印は光の進む方向を示している。

【 0 0 1 2 】

本実施形態に係る波長可変光源 1 0 1 は、周波数選択部 1 0 3 を透過した光 L 2 を射出する波長可変光源であり、周波数間隔 Δf_1 の離散ピークを有する光 L 1 を発し、かつ、 Δf_1 を変化させることが可能な発光部 1 0 2 と、発光部 1 0 2 から発せられた光から、周波数間隔 Δf_2 の離散ピークを有する光 L 2 を選択的に透過させる周波数選択部 1 0 3 とを有する。射出そして、発光部 1 0 2 は、 Δf_1 の離散ピークの各中心周波数 f_m が下記の式 (1) に示す関係を満たすように発光する。

20

$$f_m = f_0 + m \Delta f_1 \quad (1)$$

ただし、上記式 (1) において $f_0 > 0$ 、 m は正整数である。

【 0 0 1 3 】

そして、本実施形態に係る波長可変光源 1 0 1 は、制御部 1 0 5 の制御下で、発光部の発する光の周波数間隔 Δf_1 を変化させることによって、射出する光の波長を変化させる。以下、射出する光の波長を変えるメカニズムについて、図 1、2 を用いて詳細に説明する。ここで、発光部 1 0 2 は、図 2 (a) のような発光スペクトルを有する光を発し、 Δf_1 は可変であるように構成されている。また、図 2 (b) のような特性をもつ周波数選択部を用いる。発光部から発せられる離散ピークを有する光の各中心周波数を f_n とし、 $f_{(n+1)} - f_n = \Delta f_1$ (n は正整数) であるとする。図 2 (a) のように、発光部 1 0 2 から発せられる各離散ピーク P_i 、 P_{i+1} 、 \dots 、 P_j の周波数は Δf_1 の整数倍に一致せず、周波数オフセット Δf_0 だけずれている。また、図 2 (a) に示すように、発光している光の周波数は、 f_i から f_j 付近であるとする。

30

【 0 0 1 4 】

周波数選択部で選択される周波数を f_k 、 f_{k+1} 、 \dots とし、 $f_{(k+1)} - f_k = \Delta f_2$ (k は正整数) であるとする。

【 0 0 1 5 】

40

発光部 1 0 2 から図 2 (a) に示すような発光スペクトルを有する光 L 1 が発せられる場合、発光部 1 0 2 から発せられる離散ピークを有する光の各ピークの中心周波数と、図 2 の (b) に示す周波数選択部 1 0 3 での各透過率のピーク P_k 、 P_{k+1} 、 \dots 、 P_l の中心周波数とが一致しないため、周波数選択部では光が透過せず、波長可変光源から光が射出されない。

【 0 0 1 6 】

図 2 の (c) に示すように、発光部 1 0 2 の Δf_1 を変化させることで、離散ピークを有する光のピーク位置を f_1' 、 f_2' 、 \dots と変化させる。このとき、 f_0 も変化するが、0 ではない f_0' の位置に移動する (図 2 (c))。ここで、 f_{i+1}' が f_{k+1} であれば、発光部 1 0 2 から発せられた光のうち、 f_{i+1}' (= f_{k+1}) の周波数

50

の光が周波数選択部 103 によって選択され、波長可変光源からは、 ω_{i+1}' ($= \omega_{k+1}$) の周波数の光が射出される (図 2 (d))。同様に、発光部 102 から発せられる光の ω_1 をさらに変化させ、発光部 102 から発せられる分散ピークを有する光のピークの周波数と、周波数選択部 103 の透過率のピークの周波数とを一致させることによって、 ω_{i+1}' ($= \omega_{k+1}$) と異なる周波数の光を射出させることができる。このように発光部 102 から発せられる光に発光スペクトルを制御することで、射出させる光の波長を変えることができる波長可変光源となる。

【0017】

このように、本実施形態に係る波長可変光源は、発光部 102 から発せられる光がオフセット ω_0 を有する構成であるため、背景技術で示した特許文献 1 のように発光部 102 から発せられる光の全てが、周波数選択部 103 で透過することはない。したがって、外乱などの影響を受けても光量が急激に大きくならない構成であるため、外乱などにより周波数間隔が変化した場合でも、安全に使用できる。

10

【0018】

(発光部)

本実施形態において発光部は、周波数間隔 ω_1 の分散ピークを有する光を発し、かつ、その ω_1 を変化させることが可能なものであれば特に限定されない。例えば、CW (Continuous Wave) 光 (連続波光) を発する CW 光源と、この CW 光に時間的に周期的な変調をかけてサイドバンドを生成する光変調部とを有する構成が挙げられる。周期的な変調は、CW 光の強度の周期的な変調であってもよいし、位相の周期的な変調であってもよい。このような構成を有する光源をここでは光コム光源と呼ぶ。

20

【0019】

光コム光源の一例を図 3 を用いて説明する。光コム光源 301 は、CW 光 L0 (例えば図 3 (b) で示される波形) を発する光源 302 と、CW 光 L0 に周波数の周期的な変調をかける変調部 303 とを有する。変調部 303 は例えば、CW 光 L0 を受ける素子と、該素子にかける変調周波数を変化させる制御部とからなる。変調部 303 によって変調がかかっていない場合、発せられる光 L1 の発光スペクトルは、例えば図 3 (b) のようになる。変調部 303 によって例えば ω_c の変調がかかると、CW 光の中心周波数 ω_s に対して $\pm \omega_c$ のサイドバンド (SB) が発生し、 ω_2 が ω_c の光となる (図 3 (c))。このとき、 ω_s 、 ω_c を適切な値とすることで、 $\omega = \omega_0 + m \omega_c$ がいかなる正整数 m に対しても 0 にならないようにして、周波数オフセットを生じさせる。周波数オフセットがあることで、上記の通り、発光部 102 から発せられる光のピーク全てが、周波数選択部 103 を透過することはない。上記光コム光源と同様に周波数オフセットを有する発光部の他の例としてモードロックレーザや SC (Supercontinuum) 光 (スーパーコンティニウム光) を発する SC 光源が例として挙げられる。

30

【0020】

光コム光源の例について図 6 を用いて具体的に説明する。本例の光コム光源 610 は、CW 光源 601、光変調素子 602、2 つのハーフミラー 603、604 で構成されるファブリーペローフィルタ、および光変調部 605 を有する。光変調素子 602 は、電気光学結晶 (不図示)、および電気光学結晶に電圧を印加する電極 (不図示) を有する。

40

【0021】

まず、振幅 1 の電界

$$S = \sin \omega_s t \quad (1)$$

で表わされる光が CW 光源 601 から射出される。これは、CW 光源 601 から射出される光の中心周波数が ω_s であることを意味する。S で表わされる光は光変調部 605 内の光変調素子 602 によって、

$$C = A_c \sin \omega_c t \quad (2)$$

で表わされる変調を受け、

$$S \cdot C = A_c \sin \omega_s t \cdot \sin \omega_c t \\ = - (A_c / 2) \{ \cos (\omega_s + \omega_c) t - \cos (\omega_s - \omega_c) t \} \quad (3)$$

50

で表わされる光となって出力される。

【0022】

上記式(2)で表わされる光は、 $(\omega_s + \omega_c)$ 、および $(\omega_s - \omega_c)$ の周波数成分を有する。すなわち、 ω_s で表わされる光を入力光とし、光変調部でかける変調の周波数を ω_c とすると、 $(\omega_s \pm \omega_c)$ の周波数成分をもつ光が発生することがわかる。ハーフミラー604と605との間を往復して得られた光、すなわち光コム光源610から出力される光は $(\omega_s + k\omega_c)$ (k は整数)で表わされる周波数成分を有する光L3である。

【0023】

本実施形態に係る波長可変光源から射出される光の周波数は、光コム光源610を射出した光の有する周波数成分のうちいずれかであるため、 $(\omega_s + k\omega_c)$ (k は整数)で表わされる。周波数オフセットを生じさせるためには、 $(\omega_s + k\omega_c)$ が0とならないように、パルス光源601から出射される光の中心周波数 ω_s 、および光変調素子602でかける変調周波数 ω_c を選択して設定しておけばよい。

【0024】

(周波数選択部)

本実施形態において、周波数選択部は、等周波数間隔で透過率の極大値を有するものであれば特に限定されない。別の言い方をすると、周波数選択部は、広帯域光が透過した結果、等周波数間隔に離散ピークを有する光、すなわち、0より大きい周波数間隔を有する光となるようなものであれば特に限定されない。ここで広帯域光とは10nmの帯域の波長を有する光のことである。

【0025】

本実施形態において、 ω_2 が、各ピークの半値全幅以上であることが好ましい。

【0026】

本実施形態に係る周波数選択部として、ファブリーペローフィルタなどの光学素子、マッハツェンダー干渉計、マイケルソン干渉計などの光学系を用いることができる。また、エアギャップを有する構成、具体的には、エアギャップを介して対向するハーフミラーを用いても良く、光ファイバ内に対向する多層膜ミラー(Distributed Bragg Reflector、以下DBRと略することがある)を作製したものであってもよい。本実施形態に係る周波数選択部として、フィネスを高くしやすいファブリーペローフィルタであることが好ましい。ファブリーペローフィルタとして例えばファブリーペローエタロンが挙げられる。

【0027】

ファブリーペローエタロンについて図4を用いて説明する。ファブリーペローエタロンの一例は、透過させたい波長に対して透明な基板401の両面にDBR402を設けた構成となっている。DBRは透過させたい波長に対して透明な層の複数からなり、層の数や、各層の屈折率を変えることで、ファブリーペローエタロンの反射率を設計することができる。反射率を高くすることでフィネスは高くなり、波長選択性は高くなる。透明な基板、層を構成する材料としては、誘電体、半導体を用いることができる。上記の透明な基板401は特に限定されないが、光学ガラスを用いることが好ましい。

【0028】

また、本実施形態に係る周波数選択部として、エアギャップを有するファブリーペローフィルタ、または、光学ガラスからなるエタロン板であることが、光のロスが少ないという観点から好ましい。

【0029】

本実施形態に係る波長選択フィルタを有する波長可変光源を用いたOCT装置において、第一の周波数選択部、第二の周波数選択部がファブリーペローフィルタである場合、フィルタが狭帯域であることが好ましい。これは、フィルタが狭帯域であるほど、透過率の極大値におけるスペクトルの線幅が狭いため、正確に、等周波数間隔で干渉光の強度の値をサンプリングしやすく、正確に、等周波数間隔でサンプリングできると、歪みの少ない

10

20

30

40

50

断層画像を得やすいからである。例えば、サンプリングする光の周波数間隔が18.7 GHzである場合、ファブリーペロフィルタの透過率の極大値のピークの線幅はその1/10以下であることが好ましく、1/100以下であることがさらに好ましい。これは、ファブリーペロフィルタを構成する両端の反射鏡の反射率をそれぞれ、75%以上、90%以上に設定することで実現する。

【0030】

なお、第一の周波数選択部、第二の周波数選択部は、透過光を用いる形態に限らず、反射、吸収、散乱等を用いるものであってもよい。

【0031】

(広帯域光)

上記広帯域光とは、例えば10nm以上の幅の波長成分を有する光のことである。また、50nm以上の幅の波長成分を有する光であることが好ましく、70nm以上であることがさらに好ましく、200nm以下であることが好ましい。広帯域光は例えば利得媒体(gain medium)から得られる。利得媒体は、広帯域にわたる波長成分を有する自然放出光を発生し、利得媒体に入射する入射光に対しては誘導放出による光増幅機能を有するものであれば特に限定されない。本実施形態における利得媒体の動作波長は700nm乃至2000nmのうち、波長帯域50nm乃至200nm程度を有するものが望ましい。特に、利得媒体から発せられる光は780nm乃至900nm、800nm乃至880nm、980nm乃至1100nm、または1250nm乃至1400nmのいずれかの範囲の波長成分を有することが好ましい。利得媒体の代表的なものとして半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier、以下、SOAと略すことがある)が挙げられる。SOAの他には、エルビウムやイットリビウム、ネオジウムなどを含有した希土類添加ファイバ、色素を光増幅材として含有した光ファイバなどが挙げられる。SOAの活性層を構成する材料は、一般的な半導体レーザの活性層を構成する化合物半導体を用いることができ、具体的にはInGaAs系、InGaAsP系、GaAsP系、AlGaAs系等が挙げられる。SOAが持つ利得の中心波長は840nm、1060nm、1300nmなどを代表として挙げることができる。

【0032】

(用途)

本発明の実施形態に係る波長可変光源はOCT装置などに用いることができる。

【0033】

(OCT装置)

本発明の実施形態に係るOCT装置について図5を用いて説明する。なお、図中の矢印は光の進む方向を示している。

【0034】

実施形態に係るOCT装置は、光源部501、干渉光学系502、光検出部503、情報取得部504、を少なくとも有する構成である。光源部501は上述の本実施形態に係る波長可変光源を用いる。また、図示していないが、情報取得部504はフーリエ変換器を有する。ここで、情報取得部504がフーリエ変換器を有するとは、情報取得部が入力されたデータに対してフーリエ変換する機能を有していれば形態は特に限定されない。一例は、情報取得部504が演算部を有し、該演算部がフーリエ変換する機能を有する場合である。具体的には、該演算部がCPUを有するコンピュータであり、このコンピュータが、フーリエ変換機能を有するアプリケーションを内蔵する場合である。他の例は、情報取得部504がフーリエ変換機能を有するフーリエ変換回路を有する場合である。光源部501から出た光は干渉光学系502を経て測定対象の物体513の情報に有する干渉光となって出力される。干渉光は光検出部503において受光される。なお光検出部503は差動検出型でも良いし単純な強度モニタ型でも良い。干渉光の強度の時間波形の情報は光検出部503から情報取得部504に送られる。情報取得部504では、受光された干渉光の強度の時間波形をフーリエ変換をし、物体513の情報(例えば断層像の情報)を取得する。なお、本発明の目的を達成する範囲において、ここで挙げた光源部501、干

10

20

30

40

50

渉光学系 502、光検出部 503、情報取得部 504 以外のものを任意に設けることができる。例えば、光源部 501 から出た光のうち一方を光路 506 に導波し、もう一方を光路 520 に導波する構成とし、光路 520 上に波数クロック (k-clock) 光学系 505 を設けてもよい。波数クロック光学系 505 は、光源部 501 から射出される、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 (等周波数間隔) となるタイミングごとに信号を発信する。波数クロック光学系 505 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。波数クロック光学系 805 から発信された信号は電気回路 830 を介して情報取得部 804 へと伝えられる。

【0035】

以下、光源部 501 から光が発振されてから、測定対象の物体の断層像の情報を得るまでについて詳細に説明する。光の波長を変化させる光源部 501 から出た光は、ファイバ (光路) 506 を通って、カップラ 507 に入り、照射光用のファイバ 508 を通る照射光と、参照光用のファイバ 509 を通る参照光とに分岐される。照射光はコリメーター 510 を通って平行光になり、ミラー 511 で反射される。ミラー 511 で反射された光はレンズ 512 を通って物体 513 に照射され、物体 513 の奥行き方向の各層から反射される。一方、参照光はコリメーター 514 を通ってミラー 515 で反射される。カップラ 507 では、物体 513 からの反射光とミラー 515 からの反射光による干渉光が発生する。干渉した光はファイバ 516 を通り、コリメーター 518 を通って集光され、光検出部 103 で受光される。光検出部 503 で受光された干渉光の強度の情報は電圧などの電気的な情報に変換されて、情報取得部 504 に送られる。情報取得部 504 では、フーリエ変換器によってフーリエ変換することによって、物体 513 の断層像の情報を得る。フーリエ変換して得られる値は、干渉光に含まれる周波数成分に相当し、周波数成分は、カップラ 507 から物体表面で反射されカップラ 507 へ到達する光路の長さ、カップラ 507 からミラー 515 で反射されてカップラ 507 に到達する光路の長さとの差に比例する。したがって、物体 513 断層像の情報として、例えば、物体表面からの奥行き方向の長さ、物体 513 の各層からの反射光の強度との関係についての情報を得ることができる。

【0036】

断層像の情報は、情報取得部 504 から画像表示部 519 に送って画像として表示させてもよい。なお、ミラー 512 を照射光の入射する方向と垂直な平面内で走査することで、測定対象の物体 513 の 3次元の断層像を得ることができる。また、光源部 501 の制御は情報取得部 504 が行ってもよい。また図示しないが、光源部 501 から出る光の強度を逐次モニタリングし、そのデータを干渉光の強度の信号の振幅補正に用いてもよい。

【実施例】

【0037】

本発明の実施例について説明するが、本発明はこれらに限られない。

【0038】

(実施例 1)

本実施例に係る波長可変光源について説明する。

【0039】

本実施例に係る波長可変光源は実施形態で説明した図 1 で示すような構成である。

【0040】

実施例 1 において、発光部 102 として光コム光源、周波数選択部 103 として、BK7 からなるエタロン板を用いる。周波数選択部を透過した光の λ_2 が $\lambda_2 = 12.7736 \text{ GHz}$ (半値全幅 4.8 MHz) となるようにする。これは、 $\lambda_2 = 12.7736 \text{ GHz}$ の光は、 800 nm から 880 nm の範囲に、等周波数間隔に 2667 個の離散ピークを有する光である。すなわち、周波数選択部は 12.7736 GHz で透過率の極大値を有するエタロン板である。発光部 (光コム光源) の構成は図 6 で示される。

【0041】

10

20

30

40

50

まず、発光部 102 において光変調素子を通過した光に変調をかけることによって、 $f_1 = 12.7688 \text{ GHz}$ (半値全幅 4.8 MHz) の光が発するようにする。 $f_1 = 12.7688 \text{ GHz}$ の光とは、 800 nm から 880 nm の範囲に、等周波数間隔に 2668 個の離散ピークを有する光である。次に発光部 102 において変調周波数をかけることによって f_2 を変化させる。変調周波数は、発光部 102 から発せられた離散ピークを有する光のうちのピークの中心周波数のうちの 1 つと、周波数選択部の透過率の極大値に相当する周波数とが一致するような周波数とする。その結果、 f_1 と、一致させた周波数 (波長) の光が射出される。同様にして、異なる周波数 (波長) の光が射出されるように、変調周波数を変化させることによって、射出する光の波長を変化させることができる。

10

【0042】

(実施例 2)

本実施例に係る光干渉断層撮像装置 (OCT 装置) の構成は、実施形態で説明した構成である。ただし、光源部 501 として実施例 2 で説明した波長可変光源、光検出部 503 としてフォトディテクタ (Photo detector、以下 PD と略することがある) を用いる。

【0043】

波長可変光源は波長 800 nm から 880 nm までを周期 5 ns で掃引しこれを繰り返す動作をおこなう。これは掃引周波数にして 200 kHz に相当する。本実施例に係る OCT 装置では光源部 501 の光が射出される点からミラー 515 までの光路長と、光源部 501 の光が射出される点から物体 513 の表面までの光路長を等しくし、物体の表面から照射光の光軸方向に深さ 4 mm の部位まで観察する。

20

【0044】

物体の表面から照射光の光軸方向に深さ 4 mm の位置に単一の反射物体がある場合、得られる干渉強度のスペクトルは周波数 37.5 GHz 毎に強度が強まる信号となる。これを周波数 37.5 GHz のサイン波と見なすならば、この信号の周波数成分を解析するためには少なくともこの半分の周波数間隔以下で干渉光の強度の値をサンプリングする必要がある。つまり 18.75 GHz 以下の周波数間隔でサンプリングする必要がある。

【0045】

物体の表面から照射光の光軸方向に 4 mm までが最大の深さであると想定すると、周波数を解析すべき信号の周波数は 37.5 GHz 以下の信号となるため、上記 18.75 GHz 以下の周波数間隔にて信号を取得すれば、断層像を得るために必要な周波数帯域の信号は得られる。

30

【0046】

本実施例では、このサンプリング間隔を、k クロック光学系 505 にて規定する。具体的には、等波数間隔、かつ、 18.7 GHz 未満になるようなタイミングで k クロック信号を発信させる。次に、本実施例に係る OCT 装置を用いて PD で得られる受光電圧の強度の時間波形から、k クロック信号が発信されるタイミングに相当するデータを取得する。取得したデータをフーリエ変換することで物体の断層像を取得出来る。

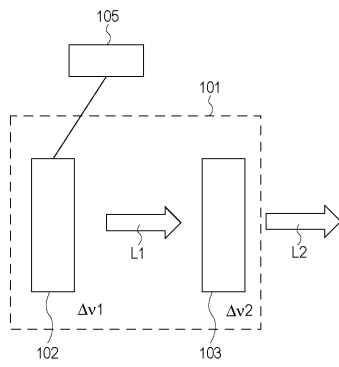
40

【符号の説明】

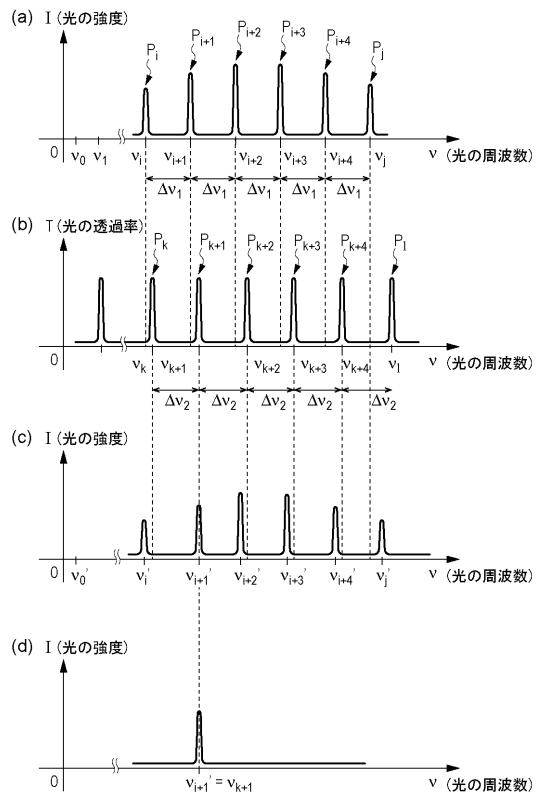
【0047】

- 101 波長可変光源
- 102 発光部
- 103 周波数選択部
- 105 制御部

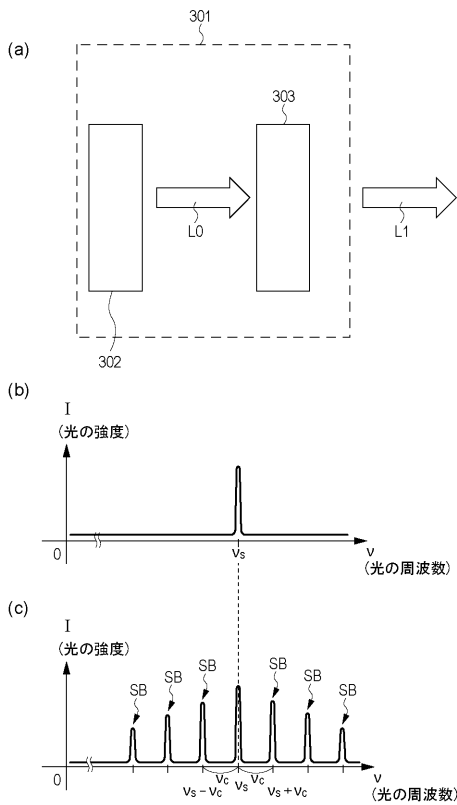
【 図 1 】



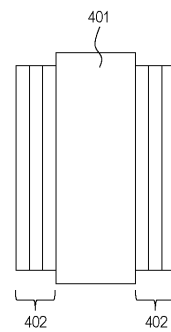
【 図 2 】



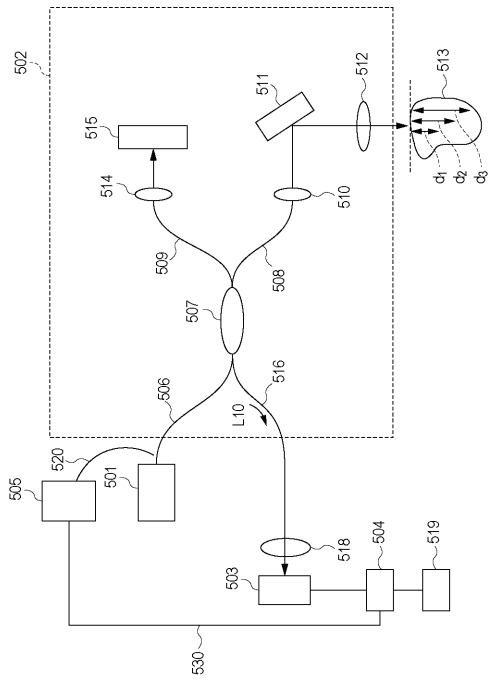
【 図 3 】



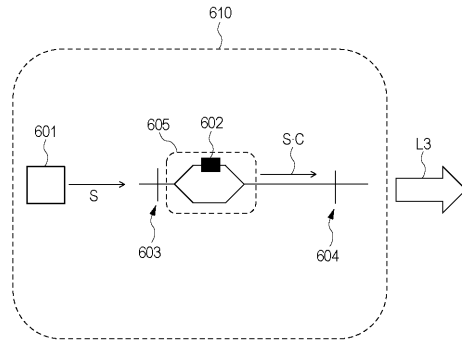
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

