

(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2011-203550

(P2011-203550A)

(43) 公開日 平成23年10月13日(2011.10.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02F 2/02 (2006.01)	G02F 2/02	2G020
H01S 3/06 (2006.01)	H01S 3/06 B	2G059
H01S 3/098 (2006.01)	H01S 3/098	2K002
H01S 3/00 (2006.01)	H01S 3/00 A	5F172
H01S 3/10 (2006.01)	H01S 3/10 Z	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2010-71544 (P2010-71544)
 (22) 出願日 平成22年3月26日 (2010.3.26)

(71) 出願人 595132359
 ネオアーク株式会社
 東京都八王子市中野町2062番地21
 (74) 代理人 100102864
 弁理士 工藤 実
 (72) 発明者 松本 弘一
 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大
 学院工学系研究科精密機械工学専攻内
 (72) 発明者 高増 潔
 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大
 学院工学系研究科精密機械工学専攻内
 (72) 発明者 石橋 爾子
 東京都八王子市中野町2062番地21
 ネオアーク株式会社内
 Fターム(参考) 2G020 CB23

最終頁に続く

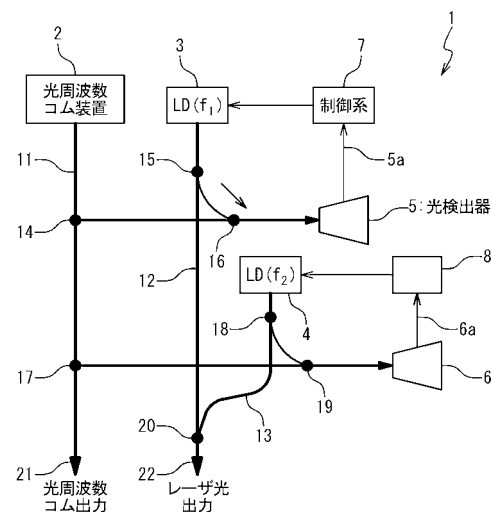
(54) 【発明の名称】 ヘテロダイン光源、並びに、それを用いた光吸収／光損失計測装置及び分光分析装置

(57) 【要約】

【課題】高出力で、且つ、周波数の精度が高いヘテロダイン光源を、光周波数コム装置を用いて実現する。

【解決手段】ヘテロダイン光源(1)が、光周波数コムを生成する光周波数コム装置(1)と、第1出力光を発生する第1周波数可変レーザ(3)と、第1周波数制御機構(5、7)と、第2出力光を発生する第2周波数可変レーザ(4)と、第2周波数制御機構(6、8)と、第1出力光と第2出力光とを重ね合わせて光出力を生成する光結合器(20)とを備えている。第1周波数制御機構は、第1出力光と光周波数コムとを重ね合わせた光にตอบสนองして第1出力光の周波数を光周波数コムの m_1 次モードの周波数から ω_1 だけ高い周波数に調整する。第2周波数制御機構は、第2出力光と光周波数コムとを重ね合わせた光にตอบสนองして第2出力光の周波数を光周波数コムの m_2 次モードの周波数から ω_2 (ω_1)だけ高い周波数に調整する。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光周波数コムを生成する光周波数コム装置と、
 第 1 出力光を発生する第 1 周波数可変レーザと、
 前記第 1 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 1 入力光を受け取り、前記第 1 入力光に
 応答して前記第 1 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_1 次モードの周波数から
 m_1 だけ高い周波数に調整する第 1 周波数制御機構と、
 第 2 出力光を発生する第 2 周波数可変レーザと、
 前記第 2 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 2 入力光を受け取り、前記第 2
 入力光に
 応答して前記第 2 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_2 次モードの周波数から
 m_2 (m_1) だけ高い周波数に調整する第 2 周波数制御機構と、
 前記第 1 出力光と前記第 2 出力光とを重ね合わせて光出力を生成する光結合器
 とを備える
 ヘテロダイン光源。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載のヘテロダイン光源であって、
 前記第 1 周波数制御機構が、前記第 1 入力光から前記第 1 入力光におけるうなりに対応
 する電気信号である第 1 ビート信号を取り出し、前記第 1 ビート信号に
 応答して前記第 1 出力光の周波数を制御するように構成され、
 前記第 2 周波数制御機構が、前記第 2 入力光から前記第 2 入力光におけるうなりに対応
 する電気信号である第 2 ビート信号を取り出し、前記第 2 ビート信号に
 応答して前記第 2 出力光の周波数を制御するように構成された
 ヘテロダイン光源。

20

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 のいずれかに記載のヘテロダイン光源であって、
 前記第 2 周波数制御機構が、前記 m_2 を走査するように構成された
 ヘテロダイン光源。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のヘテロダイン光源であって、
 下記式：

30

$m_1 \quad m_2$
 を成立させる
 ヘテロダイン光源。

【請求項 5】

請求項 1 又は 2 に記載のヘテロダイン光源であって、
 前記第 1 周波数可変レーザと前記第 2 周波数可変レーザが、半導体レーザである
 ヘテロダイン光源。

【請求項 6】

光周波数コムとレーザ光出力とを生成し、前記レーザ光出力を計測対象に入射するヘテ
 ロダイン光源と、
 前記計測対象から得られる信号光と前記光周波数コムとを重ね合わせた重ね合わせ光を
 受け取り、前記重ね合わせ光のうなりに対応するビート信号から前記計測対象における光
 吸収又は光損失を計測する計測系
 とを具備し、
 前記ヘテロダイン光源が、

40

前記光周波数コムを生成する光周波数コム装置と、
 第 1 出力光を発生する第 1 周波数可変レーザと、
 前記第 1 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 1 入力光を受け取り、前記第
 1 入力光に
 応答して前記第 1 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_1 次モードの周波数
 から m_1 だけ高い周波数に調整する第 1 周波数制御機構と、

50

第 2 出力光を発生する第 2 周波数可変レーザと、

前記第 2 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 2 入力光を受け取り、前記第 2 入力光に応答して前記第 2 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_2 次モードの周波数から f_2 (f_1) だけ高い周波数に調整する第 2 周波数制御機構と、

前記第 1 出力光と前記第 2 出力光とを重ね合わせて前記レーザ光出力を生成する光結合器

とを備える

光吸収 / 損失計測装置。

【請求項 7】

光周波数コムとレーザ光出力とを生成し、前記レーザ光出力を計測対象に入射するヘテロダイン光源と、

10

前記計測対象から得られる信号光と前記光周波数コムとを重ね合わせた重ね合わせ光を受け取り、前記重ね合わせ光のうなりに対応するビート信号から前記計測対象における光吸収を計測する計測装置

とを具備し、

前記ヘテロダイン光源が、

前記光周波数コムを生成する光周波数コム装置と、

第 1 出力光を発生する第 1 周波数可変レーザと、

前記第 1 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 1 入力光を受け取り、前記第 1 入力光に応答して前記第 1 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_1 次モードの周波数から f_1 だけ高い周波数に調整する第 1 周波数制御機構と、

20

第 2 出力光を発生する第 2 周波数可変レーザと、

前記第 2 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 2 入力光を受け取り、前記第 2 入力光に応答して前記第 2 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_2 次モードの周波数から f_2 (f_1) だけ高い周波数に調整する第 2 周波数制御機構と、

前記第 1 出力光と前記第 2 出力光とを重ね合わせて前記レーザ光出力を生成する光結合器

とを備え、

前記計測装置が、前記第 2 出力光の周波数を特定の周波数範囲で走査させながら前記光吸収を計測することによって前記周波数範囲における前記計測対象の光吸収スペクトルを取得し、前記光吸収スペクトルを用いて分光分析を行う

30

分光分析装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ヘテロダイン計測法において使用されるヘテロダイン光源に関し、特に、光周波数コム装置を用いたヘテロダイン光源に関する。

【背景技術】

【0002】

光コム又は光周波数コムとは、周波数軸上において等間隔な成分からなる櫛形のスペクトルを持つ光信号のことである。図 1 は、光周波数コムのスペクトルの例である。光周波数コムの n 次モードの周波数 $f(n)$ は、次式で表わされる：

40

$$f(n) = n \cdot f_r + f_0,$$

ここで、 f_0 は、オフセット周波数であり、 f_r は、繰り返し周波数である。光周波数コムは、時間軸上で表わせば、超短光パルスの列となる。

【0003】

近年では、極めて周波数の精度が高い（即ち、上述のオフセット周波数 f_0 、繰り返し周波数 f_r の精度が高い）光周波数コムを発生する光周波数コム装置が開発されている。光周波数コム装置が達成可能な周波数の精度の高さは、協定世界時に同期した光周波数コム装置が、平成 21 年 7 月 16 日に、計量法第 134 条の規定に基づき新しい長さの特定

50

標準器として指定されたことから理解されよう。光周波数コム装置については、例えば、特開 2008-311629 号公報に開示されている。

【0004】

出願人は、光周波数コム装置を光ヘテロダイン計測法において使用される光源（ヘテロダイン光源）に応用することを検討している。光ヘテロダイン計測法とは、概略的には、信号光と参照光とを重ね合わせて得られるビート信号から、該信号光が持っている情報を取り出す方法である。光の周波数は高いため、直接にその波形を電気的信号に変換して観測することは困難である。一方、ビート信号は、信号光と参照光の周波数の差の周波数（ヘテロダイン周波数と呼ばれる）の成分を有しているから、光の周波数よりも相当に低くできる。これは、ビート信号の周波数、振幅、位相は、電気的信号に変換して観測可能であることを意味している。ビート信号から信号光が持つ情報を電気的信号として取り出すことが、光ヘテロダイン計測法の基本的原理である。光ヘテロダイン計測法による計測対象は、広い範囲に及ぶが、例えば、距離計測、速度計測、分光分析等が挙げられる。光ヘテロダイン計測法においては、信号光又は参照光として用いる光の周波数（即ち、波長）の安定性が重要であり、光周波数コム装置をヘテロダイン光源として用いれば、高精度の計測を実現できる可能性がある。

10

【0005】

光周波数コム装置をヘテロダイン光源として使用する場合における一つの問題は、大強度の光周波数コムを発生することが、實際上、困難なことである。光周波数コム装置の構成としては、概略的には、チタンサファイアレーザを用いた構成と、モード同期ファイバレーザを用いた構成が挙げられる。チタンサファイアレーザを用いた光周波数コム装置は、高出力且つ広帯域という特長を有しているが、大型で高価であり、計測装置としての実用的な応用は難しい。一方、モード同期ファイバレーザを用いた光周波数コム装置は、小型且つ安価であるが、出力が低いという問題がある。

20

【0006】

したがって、高出力で、且つ、周波数の精度が高いヘテロダイン光源を、光周波数コム装置を用いて実現することには、技術的ニーズが存在する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

30

【特許文献 1】特開 2008-311629 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

したがって、本発明の目的は、高出力で、且つ、周波数の精度が高いヘテロダイン光源を、光周波数コム装置を用いて実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一の観点では、ヘテロダイン光源が、光周波数コムを生成する光周波数コム装置と、第 1 出力光を発生する第 1 周波数可変レーザと、第 1 周波数制御機構と、第 2 出力光を発生する第 2 周波数可変レーザと、第 2 周波数制御機構と、前記第 1 出力光と前記第 2 出力光とを重ね合わせて光出力を生成する光結合器とを備えている。第 1 周波数制御機構は、前記第 1 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 1 入力光を受け取り、前記第 1 入力光に応答して前記第 1 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_1 次モードの周波数から ω_1 だけ高い周波数に調整する。第 2 周波数制御機構は、前記第 2 出力光と前記光周波数コムとを重ね合わせた第 2 入力光を受け取り、前記第 2 入力光に応答して前記第 2 出力光の周波数を前記光周波数コムの m_2 次モードの周波数から ω_2 (ω_1) だけ高い周波数に調整する。

40

【0010】

このような構成のヘテロダイン光源では、 ω_1 と ω_2 の差分の周波数成分を有するうな

50

りを発生可能であり、光ヘテロダイン計測法に適用可能である。また、本発明のヘテロダイン光源は、光周波数コム装置とは別に第1周波数可変レーザ及び第2周波数可変レーザとが設けられ、第1周波数可変レーザ及び第2周波数可変レーザによってレーザ光出力が生成される。このような構成では、第1周波数可変レーザ及び第2周波数可変レーザとして高出力のレーザ（例えば、半導体レーザ）を使用することにより、光ヘテロダイン計測法による計測に適した高出力のレーザ光出力を生成することができる。加えて、本発明によって光ヘテロダイン干渉を利用可能になると、光高周波数のスーパーヘテロダインのほかに、微弱光の光検出や、機械的振動などの影響の減少が可能になる。

【0011】

ヘテロダイン光源に含まれる周波数可変レーザ及び周波数制御機構の数は、3以上であることも可能である。

10

【0012】

一実施形態では、第1周波数制御機構が、前記第1入力光から前記第1入力光におけるうなりに対応する電気信号である第1ビート信号を取り出し、前記第1ビート信号にตอบสนองして前記第1出力光の周波数を制御するように構成され、第2周波数制御機構が、前記第2入力光から前記第2入力光におけるうなりに対応する電気信号である第2ビート信号を取り出し、前記第2ビート信号にตอบสนองして前記第2出力光の周波数を制御するように構成される。

【0013】

特定用途では、第2周波数制御機構が前記 ω_2 を走査するように構成されていることも好ましい。

20

【0014】

当該ヘテロダイン光源は、下記式：

$$m_1 \omega_1 + m_2 \omega_2$$

を成立させるように構成されることも好ましい。この場合でも、該光周波数コム装置によって生成された光周波数コムを用いるスーパーヘテロダインによって $\omega_2 - \omega_1$ のヘテロダイン周波数のビート信号を生成可能である。

【0015】

一実施形態では、第1周波数可変レーザと第2周波数可変レーザが、半導体レーザである。

30

【0016】

本発明の他の観点では、光吸収計測装置が、光周波数コムとレーザ光出力とを生成し、該レーザ光出力を計測対象に入射する上記の構成のヘテロダイン光源と、前記計測対象から得られる信号光と前記光周波数コムとを重ね合わせた重ね合わせ光を受け取り、前記重ね合わせ光のうなりに対応するビート信号から前記計測対象における光吸収を計測する計測系とを具備する。

【0017】

本発明の他の観点では、分光分析装置が、光周波数コムとレーザ光出力とを生成し、該レーザ光出力を計測対象に入射する上記の構成のヘテロダイン光源と、前記計測対象から得られる信号光と前記光周波数コムとを重ね合わせた重ね合わせ光を受け取り、前記重ね合わせ光のうなりに対応するビート信号から前記計測対象における光吸収を計測する計測装置とを具備する。計測装置は、前記第2出力光の周波数を特定の周波数範囲で走査させながら前記光吸収を計測することによって前記周波数範囲における前記計測対象の光吸収スペクトルを取得し、前記光吸収スペクトルを用いて分光分析を行う。

40

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、高出力で、且つ、周波数の精度が高いヘテロダイン光源を、光周波数コム装置を用いて実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

50

【図 1】図 1 は、光周波数コムのスเปクトルの例を示すグラフである。

【図 2】図 2 は、本発明の一実施形態におけるヘテロダイン光源の構成を示すブロック図である。

【図 3】図 3 は、一実施形態において、光周波数コム装置が生成する光周波数コムと、各レーザダイオードが生成するレーザ光の周波数スเปクトルを示すグラフである。

【図 4】図 4 は、本実施形態のヘテロダイン光源が適用された分光分析装置の構成を示すブロック図である。

【図 5】図 5 は、本実施形態のヘテロダイン光源が適用された光分析装置の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0020】

図 2 は、本発明の一実施形態におけるヘテロダイン光源 1 の構成を示すブロック図である。ヘテロダイン光源 1 は、光周波数コム装置 2 と、レーザダイオード（半導体レーザ）3、4 と、光検出器 5、6 と、制御系 7、8 とを備えている。光周波数コム装置 2 は、光周波数コムを生成し、光ファイバ 11 に出力する。一実施形態では、光周波数コム装置 2 としてモード同期ファイバレーザが使用される。レーザダイオード 3 は、単色のレーザ光を生成して光ファイバ 12 に出力し、同様に、レーザダイオード 4 は、単色のレーザ光を生成して光ファイバ 13 に出力する。レーザダイオード 3、4 は、それらが生成するレーザ光の周波数（即ち、波長）が可変であるように構成されている。

【0021】

20

図 3 は、光周波数コム装置 2 が生成する光周波数コムと、レーザダイオード 3、4 が生成するレーザ光の周波数スเปクトルを示す図である。光周波数コム装置 2 が生成する光周波数コムは、周波数軸上において等間隔な成分から構成されており、当該光周波数コムの n 次モードの周波数 $f(n)$ は、次式で表わされる：

$$f(n) = n \cdot f_r + f_0, \quad \dots (1)$$

ここで、 f_0 は、オフセット周波数であり、 f_r は、繰り返し周波数である。一方、レーザダイオード 3、4 は、単一の周波数成分のレーザ光を発生する。以下では、レーザダイオード 3 が生成するレーザ光の周波数を f_1 、レーザダイオード 4 が生成するレーザ光の周波数を f_2 と記載する。

【0022】

30

レーザダイオード 3 が生成するレーザ光の周波数 f_1 が該光周波数コムの m_1 次モードの周波数 $f(m_1)$ と、 $(m_1 + 1)$ 次モードの周波数 $f(m_1 + 1)$ の間にあるとして、差分 Δ_1 を下記のように定義する：

$$\Delta_1 = f_1 - f(m_1), \quad \dots (2)$$

同様に、レーザダイオード 4 が生成するレーザ光の周波数 f_2 が該光周波数コムの m_2 次モードの周波数 $f(m_2)$ と、 $(m_2 + 1)$ 次モードの周波数 $f(m_2 + 1)$ の間にあるとして、差分 Δ_2 を下記のように定義する：

$$\Delta_2 = f_2 - f(m_2), \quad \dots (3)$$

ここで、 m_1 、 m_2 は、同じであっても異なってもよい。

【0023】

40

式 (1)、(2) によれば、レーザダイオード 3、4 が生成するレーザ光の周波数 f_1 、 f_2 は、それぞれ、下記の式で表わされる。

$$f_1 = m_1 \cdot f_r + f_0 + \Delta_1, \quad \dots (4)$$

$$f_2 = m_2 \cdot f_r + f_0 + \Delta_2, \quad \dots (5)$$

一実施形態では、レーザダイオード 3、4 が生成するレーザ光の周波数 f_1 、 f_2 は、数百 THz のオーダーであり、繰り返し周波数 f_r は、数十 MHz から数 GHz のオーダーである。

【0024】

図 2 に戻り、光検出器 5 には、光周波数コム装置 2 が生成した光周波数コムとレーザダイオード 3 が生成したレーザ光とを重ね合わせた光が入力される。詳細には、光ファイバ

50

1 1 に光分波器 1 4 が設けられ、光周波数コム装置 2 が生成した光周波数コムが分波される。同様に、光ファイバ 1 2 に光分波器 1 5 が設けられ、レーザダイオード 3 が生成したレーザ光が分波される。光分波器 1 4、1 5 によって分波された光周波数コム及びレーザ光は、光結合器 1 6 に入力される。光分波器 1 4、1 5 の出力と光結合器 1 6 の入力、光ファイバで結合される。光結合器 1 6 は、その出力が光検出器 5 に接続されており、受け取った光周波数コム及びレーザ光を合波して光検出器 5 に供給する。光検出器 5 は、受け取った入力光（即ち、光周波数コム装置 2 が生成した光周波数コムとレーザダイオード 3 が生成したレーザ光とを重ね合わせた光）に対応する電気信号 5 a を出力する。電気信号 5 a には、レーザダイオード 3 が発生したレーザ光の周波数 f_1 と、光周波数コムの m_1 次モードの周波数 $f(m_1)$ ($= m_1 \cdot f_r + f_0$) との差分 Δf_1 の周波数の成分が含まれている。

10

【0025】

同様に、光検出器 6 には、光周波数コム装置 2 が生成した光周波数コムとレーザダイオード 4 が生成したレーザ光とを重ね合わせた光が入力される。詳細には、光ファイバ 1 1 に光分波器 1 7 が設けられ、光周波数コム装置 2 が生成した光周波数コムが分波される。同様に、光ファイバ 1 3 に光分波器 1 8 が設けられ、レーザダイオード 4 が生成したレーザ光が分波される。光分波器 1 7、1 8 によって分波された光周波数コム及びレーザ光は、光結合器 1 9 に入力される。光分波器 1 7、1 8 の出力と光結合器 1 9 の入力、光ファイバで結合される。光結合器 1 9 は、その出力が光検出器 6 に接続されており、受け取った光周波数コム及びレーザ光を合波して光検出器 6 に出力する。光検出器 6 は、受け取った入力光（即ち、光周波数コム装置 2 が生成した光周波数コムとレーザダイオード 4 が生成したレーザ光とを重ね合わせた光）に対応する電気信号 6 a を出力する。電気信号 6 a には、レーザダイオード 4 が発生したレーザ光の周波数 f_2 と、光周波数コムの m_2 次モードの周波数 $f(m_2)$ ($= m_2 \cdot f_r + f_0$) との差分 Δf_2 の周波数の成分が含まれている。

20

【0026】

制御系 7 は、レーザダイオード 3 が発生するレーザ光の周波数 f_1 と、光周波数コムの m_1 次モードの周波数 $f(m_1)$ との差分 Δf_1 が所望値になるようにレーザダイオード 3 が発生するレーザ光の周波数 f_1 を制御する。この制御は、光検出器 5 から出力される電気信号 5 a に応答して行われる。電気信号 5 a には差分 Δf_1 の周波数の成分が含まれているから、電気信号 5 a から差分 Δf_1 を検出することができる。制御系 7 は、検出した差分 Δf_1 に応答して差分 Δf_1 が所望値になるようにレーザダイオード 3 が発生するレーザ光の周波数 f_1 を制御する。

30

【0027】

同様に、制御系 8 は、レーザダイオード 4 が発生するレーザ光の周波数 f_2 と、光周波数コムの m_2 次モードの周波数 $f(m_2)$ との差分 Δf_2 が所望値になるようにレーザダイオード 4 が発生するレーザ光の周波数 f_2 を制御する。この制御は、光検出器 6 から出力される電気信号 6 a に応答して行われる。電気信号 6 a には差分 Δf_2 の周波数の成分が含まれているから、電気信号 6 a から差分 Δf_2 を検出することができる。制御系 8 は、検出した差分 Δf_2 に応答して差分 Δf_2 が所望値になるようにレーザダイオード 4 が発生するレーザ光の周波数 f_2 を制御する。ここで、レーザダイオード 4 が発生するレーザ光の周波数 f_2 は、差分 Δf_2 が上述の差分 Δf_1 とは異なるように調節される。

40

【0028】

光ファイバ 1 1 には、光周波数コム出力ポート 2 1 が設けられる。光周波数コム出力ポート 2 1 は、光周波数コム装置 2 によって生成された光周波数コムを外部に出力する。一方、光ファイバ 1 2 には、レーザダイオード 3、4 が発生したレーザ光を合波する光結合器 2 0 が設けられる。光結合器 2 0 の出力側にレーザ光出力ポート 2 2 が設けられる。レーザ光出力ポート 2 2 は、光結合器 2 0 によって合波された光（レーザダイオード 3、4 が発生したレーザ光を合波して得られる光）を外部に出力する。以下では、光周波数コム出力ポート 2 1 から出力される光を光周波数コム出力と呼び、レーザ光出力ポート 2 2 か

50

ら出力される光をレーザ光出力と呼ぶことにする。

【0029】

上記のように構成されたヘテロダイン光源 1 は、光ヘテロダイン計測法に使用可能である。レーザ光出力ポート 22 から出力されたレーザ光出力を信号光の生成に用い、光周波数コム出力ポート 21 から出力された光周波数コム出力を参照光として用いることにより、 $f_2 - f_1$ のヘテロダイン周波数の成分を有するビート信号が得られる。このビート信号から周波数 f_2 における計測対象に関する情報を得る、即ち、光ヘテロダイン計測を行うことができる。例えば、 $f_2 - f_1$ が約 50 kHz になるようにレーザダイオード 3、4 を設定すれば、ビート信号の 50 kHz 近傍の周波数帯域の成分から周波数 f_2 における計測対象に関する情報を得ることができる。このとき、制御系 8 によって f_2 を逐次に走査すれば、計測対象から情報を得る周波数 f_2 を走査することができる。

10

【0030】

ここで、レーザダイオード 3、4 が生成するレーザ光の周波数 f_1 、 f_2 が近接していなくても、即ち、 $m_1 = m_2$ であっても、スーパーヘテロダインによって光ヘテロダイン計測を行うことができることに留意されたい。光周波数コム出力を併用することにより、 $m_1 = m_2$ であり、周波数 f_1 、 f_2 が近接していなくても、ヘテロダイン周波数 $f_2 - f_1$ の成分を有するビート信号が得られる。これは、レーザダイオード 3、4 が生成すべきレーザ光の周波数 f_1 、 f_2 の自由度が高いことを意味しており、光ヘテロダイン計測法によって計測を行う上で好適である。

20

【0031】

本実施形態のヘテロダイン光源 1 の利点は、高出力で、且つ、生成した光（レーザ光出力及び光周波数コム）の周波数の精度を高くできることである。光周波数コム出力ポート 21 から出力される光周波数コムは、例えば光周波数コム装置 2 としてモード同期ファイバレーザを用いることにより、その周波数の精度を高くすることができる。また、レーザ光出力ポート 22 から出力されるレーザ光出力は、光周波数コムを基準として周波数が制御されるため、やはり、周波数の精度を高くすることができる。その一方で、レーザ光出力は、レーザダイオード 3、4 によって生成されるので、高い出力を実現できる。このような利点を持つ本実施形態のヘテロダイン光源 1 によって光ヘテロダイン干渉を利用できると、光高周波数のスーパーヘテロダインのほかに、微弱光の光検出や、機械的振動などの影響の減少が可能になる。

30

【0032】

以上には、本発明のヘテロダイン光源の実施形態が具体的に記載されているが、本発明の実施形態は、当業者には自明な様々な変更がなされ得る。例えば、レーザダイオード 3、4 の代わりに、他の周波数可変レーザを用いてもよい。

【0033】

また、図 2 には、2 つのレーザダイオード 3、4 によって生成されたレーザ光を合波してレーザ光出力を生成するヘテロダイン光源 1 が図示されているが、3 以上のレーザダイオード（周波数可変レーザ）によって生成されたレーザ光を合波してレーザ光出力を生成してもよい。この場合、対応する数の光検出器及び制御系がヘテロダイン光源 1 に追加される。例えば、周波数 f_3 のレーザ光を生成する第 3 のレーザダイオードが、レーザダイオード 3、4 に追加して設けられてもよい。ここで、周波数 f_3 が、光周波数コム出力の m_3 次モードの周波数 $f(m_3)$ と、 $(m_3 + 1)$ 次モードの周波数 $f(m_3 + 1)$ の間にあるとして、差分 Δf_3 を

40

$$\Delta f_3 = f_3 - f(m_3), \quad \dots (6)$$

として定義する。この場合には、レーザ光出力から生成される信号光と光周波数コム出力とを重ね合わせた光から、 $f_2 - f_1$ のヘテロダイン周波数の成分と、 $\Delta f_3 - f_1$ のヘテロダイン周波数の成分とを有するビート信号が得られる。ヘテロダイン周波数 $f_2 - f_1$ 、及び $\Delta f_3 - f_1$ を適切に調節すれば、周波数 f_2 、 f_3 における計測対象に関する情報が、異なる周波数帯に含まれるようなビート信号を生成することができる。これは、周波数 f_2 、 f_3 に関する情報を同一のビート信号から得られることを意味しており、多くの

50

情報を得る光ヘテロダイン計測を実現する上で好ましい。

【0034】

続いて、図2の構成のヘテロダイン光源1の具体的な応用例について説明する。図2の構成のヘテロダイン光源1の好適な応用例の一つは、光吸収や光損失の計測である。以下では、光吸収や光損失を計測する計測システムへのヘテロダイン光源1の応用について述べる。

【0035】

図4は、図2の構成のヘテロダイン光源1を用いた分光分析システム30の構成を示す図である。図4の分光分析システム30は、計測対象の光吸収を計測して分光分析を行う構成を有しており、ヘテロダイン光源1と計測セル31と光検出器32と信号処理装置33とを備えている。計測対象は計測セル31に収容される。

10

【0036】

ヘテロダイン光源1のレーザ光出力ポート22は光ファイバ34の一端に接続されており、ヘテロダイン光源1によって生成されたレーザ光出力は、光ファイバ34に入力される。光ファイバ34の他端から出射されたレーザ光出力は、集光レンズ35を介して計測セル31に入射される。レーザ光出力が計測セル31を通過すると、計測対象による光吸収が起こる。計測セル31から出射された信号光は、対物レンズ36を介して光ファイバ37に入射される。一方、ヘテロダイン光源1の光周波数コム出力ポート21は光ファイバ38の一端に接続されており、ヘテロダイン光源1によって生成された光周波数コム出力は、光ファイバ38に入力される。光結合器39は、計測セル31から出射された信号光と光周波数コム出力とを合波し、光ファイバ39aを介して光検出器32に送る。信号処理装置33は、光検出器32から出力される電気信号に対して分光分析のための演算処理を行う。

20

【0037】

このような分光分析システム30の構成では、以下のようにして計測セル31に収容されている計測対象の分光分析が行われる。光検出器32は、計測セル31から出射された信号光とヘテロダイン光源1によって生成された光周波数コム出力とを重ね合わせた光を受け取る。したがって、光検出器32から出力される電気信号は、ヘテロダイン周波数 $f_2 - f_1$ の成分を有するビート信号を含んでいる。このビート信号から、信号処理装置33は、計測セル31の計測対象の周波数 f_2 における光吸収を得ることができる。このとき、差分 f_2 を所望の範囲で走査すれば、即ち、ヘテロダイン光源1のレーザダイオード4が生成するレーザ光の周波数 f_2 を所望の周波数範囲で走査すれば、当該周波数範囲における光吸収スペクトルを得ることができる。得られた光吸収スペクトルを用いて計測セル31内の計測対象の分光分析を行うことができる。

30

【0038】

一方、図5は、図2の構成のヘテロダイン光源1を用いた光損失計測システム40の構成を示す図である。図5の光損失計測システム40は、計測対象である光デバイス41で発生する光損失を計測する構成を有しており、ヘテロダイン光源1と光検出器42と信号処理装置43とを備えている。

【0039】

ヘテロダイン光源1のレーザ光出力ポート22は光ファイバ44の一端に接続されており、ヘテロダイン光源1によって生成されたレーザ光出力は、光ファイバ44に入力される。光ファイバ44の他端は、光サーキュレータ45の第1のポートに接続されている。光サーキュレータ45の第2のポートは、光ファイバ46を介して光デバイス41に接続される。光サーキュレータ45の第3のポートは、光ファイバ47を介して光結合器48に接続される。光サーキュレータ45は、ヘテロダイン光源1によって生成されたレーザ光出力を光ファイバ46を介して光デバイス41に送ると共に、光デバイス41から返ってきた信号光を光ファイバ47を介して光結合器48に送る。一方、ヘテロダイン光源1の光周波数コム出力ポート21は光ファイバ49の一端に接続されており、ヘテロダイン光源1によって生成された光周波数コム出力は、光ファイバ49に入力される。光結合器

40

50

４８は、光デバイス４１から出射された信号光と光周波数コム出力とを合波し、光ファイバ５０を介して光検出器４２に送る。信号処理装置４３は、光検出器４２から出力される電気信号に対して光損失計測のための演算処理を行う。

【００４０】

このような光損失計測システム４０の構成では、以下のようにして光デバイス４１における光損失の計測が行われる。光検出器４２は、光デバイス４１から出射された信号光とヘテロダイン光源１によって生成された光周波数コム出力とを重ね合わせた光を受け取る。したがって、光検出器４２から出力される電気信号は、ヘテロダイン周波数 $f_2 - f_1$ の成分を有するビート信号を含んでいる。このビート信号から、信号処理装置４３は、光デバイス４１の周波数 f_2 における光損失を得ることができる。このとき、ヘテロダイン光源１のレーザダイオード４が生成するレーザ光の周波数 f_2 を所望の周波数範囲で走査すれば、当該周波数範囲における光損失の周波数特性を得ることができる。

10

【００４１】

この光損失計測システムにおいて、光デバイス４１の代わりに光ネットワークを接続すれば、当該光ネットワークの周波数 f_2 における光吸収を計測できる。また、光デバイス４１の代わりに様々な計測対象を接続すれば、当該計測対象の光損失を計測することができる。

【００４２】

以上には、光吸収の計測のための計測システムの構成を提示したが、本発明のヘテロダイン光源は、他にも、光ヘテロダイン計測法による様々な計測に応用できる。例えば、本発明のヘテロダイン光源は、光ヘテロダイン計測法による物体の速度の計測にも適用可能である。

20

【符号の説明】

【００４３】

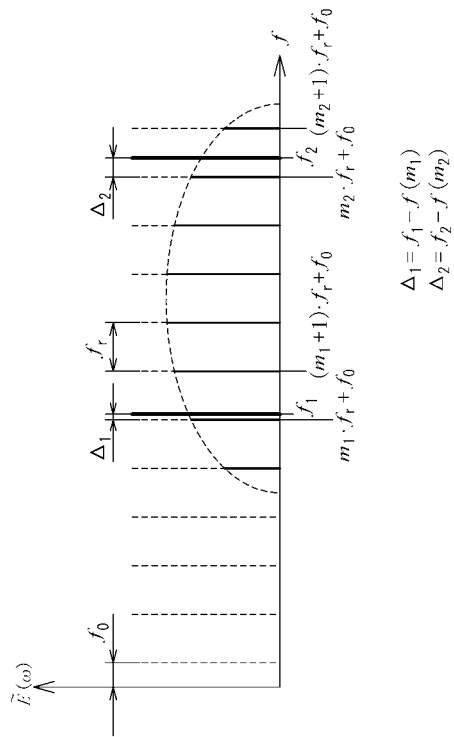
- １：ヘテロダイン光源
- ２：光周波数コム装置
- ３、４：レーザダイオード
- ５、６：光検出器
- ５ａ、６ａ：電気信号
- ７、８：制御系
- １１、１２、１３：光ファイバ
- １４、１５、１７、１８：光分波器
- １６、１９、２０：光結合器
- ２１：光周波数コム出力ポート
- ２２：レーザ光出力ポート
- ３０：分光分析システム
- ３１：計測セル
- ３２：光検出器
- ３３：信号処理装置
- ３４、３７、３８：光ファイバ
- ３５：集光レンズ
- ３６：対物レンズ
- ３９：光結合器
- ３９ａ：光ファイバ
- ４０：光損失計測システム
- ４１：光デバイス
- ４２：光検出器
- ４３：信号処理装置
- ４４：光ファイバ
- ４５：光サーキュレータ

30

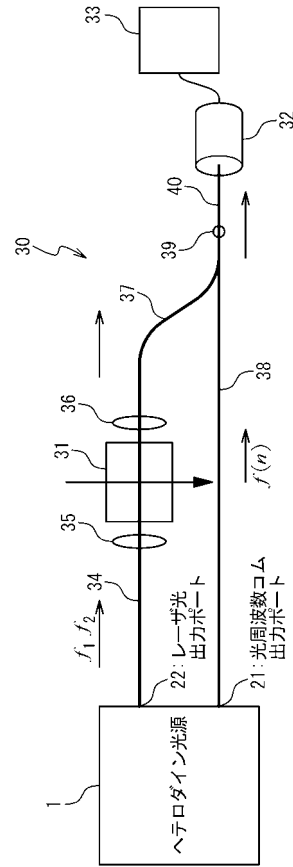
40

50

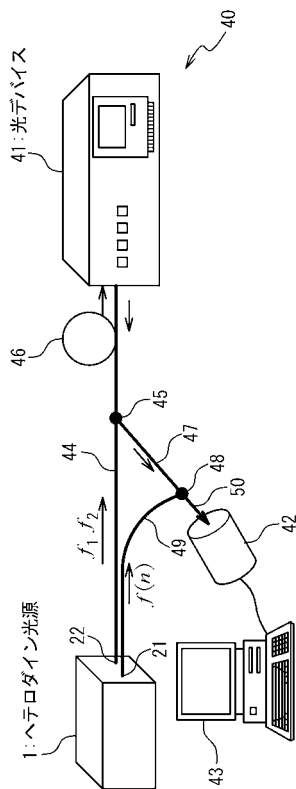
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 N 21/39 (2006.01)	G 0 1 N 21/39	
G 0 1 J 3/10 (2006.01)	G 0 1 J 3/10	
G 0 1 N 21/01 (2006.01)	G 0 1 N 21/01	D

F ターム(参考) 2G059 EE12 GG01
2K002 AA04 AB12 AB27 BA02 DA10 EA30 GA10 HA13
5F172 AM08 NN14 ZZ11