(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
2012 年 10 月 11 日(11.10.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/137470 A1

(51) 国際特許分類:
G01J 3/45 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/002288

(22) 国際出願日: 2012 年 4 月 2 日(02.04.2012)

(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 2011-083769 2011 年 4 月 5 日(05.04.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): コニカミノルタオプティクス株式会社(**KONICA MINOLTA OPTICS, INC.**) [JP/JP]; 〒5908551 大阪府堺市堺区大仙西町三丁９１番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長井 慶郎 (**NAGAI, Yoshiroh**) [JP/JP]; 〒5908551 大阪府堺市堺区大仙西町三丁９１番地コニカミノルタオプティクス株式会社内 Osaka (JP). 河野 利夫 (**KAWANO, Toshio**) [JP/JP]; 〒5908551 大阪府堺市堺区大仙西町三丁９１番地コニカミノルタオプティクス株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 小谷 悦司, 外(**KOTANI, Etsuji** et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島２丁目２番２号大阪中之島ビル２階 Osaka (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

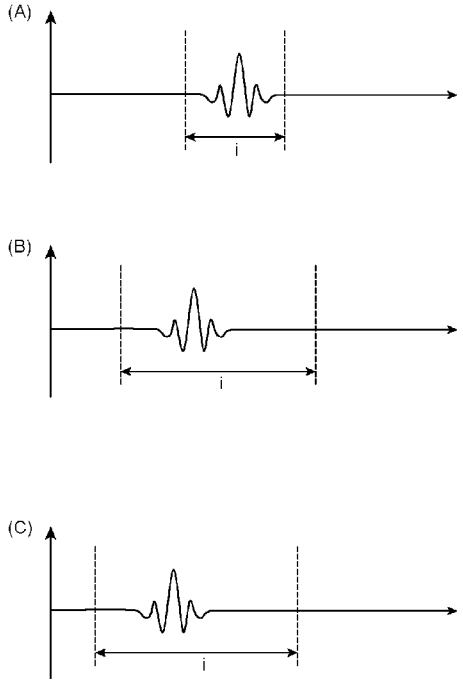
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: FOURIER TRANSFORM SPECTROMETER AND FOURIER TRANSFORM SPECTROSCOPIC METHOD

(54) 発明の名称 : フーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法

[図8]



(57) **Abstract**: This Fourier transform spectrometer (Da) generates an integrated interferogram obtained by integrating a plurality of interferograms, whereupon output is received from an interferometer (11a) in a prescribed range, the range being set in accordance with alignment information about the center burst in an interferogram measured before the measurement of the current interferogram.

(57) 要約: 本発明のフーリエ変換型分光計Ｄａは、インターフェログラムを複数積算した積算インターフェログラムを生成する際に、今般のインターフェログラムの測定よりも以前に測定されたインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて設定された所定範囲で、干渉計１１ａの出力を取り出す。

WO 2012/137470 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

フーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法

技術分野

[0001]　本発明は、フーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法に関し、特に、複数のインターフェログラムを積算して、被測定光のスペクトルを求めるために用いられるインターフェログラムを生成する場合に、好適に複数のインターフェログラムを積算することができるフーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法に関する。

背景技術

[0002]　分光計は、測定対象の被測定光のスペクトルを測定する装置であり、その１つに干渉計で被測定光の干渉光を測定し、この測定結果をフーリエ変換することによって被測定光のスペクトルを求めるフーリエ変換型分光計がある。

[0003]　このフーリエ変換型分光計では、前記干渉計の出力は、前記被測定光に含まれる複数の波長の光が前記干渉計によって一括で干渉された合成波形であり、インターフェログラムと呼ばれ、このインターフェログラムがフーリエ変換されることによって、被測定光のスペクトルが求められる。このインターフェログラムは、所定の範囲で１または複数の急峻なピークを持つと共に残余の範囲では略ゼロレベルとなるプロファイルとなり、この１または複数の急峻なピークのうちの中央のピークは、センターバーストと呼ばれる。

[0004]　そして、フーリエ変換型分光計では、１回の測定で得られたインターフェログラムをフーリエ変換することによって被測定光のスペクトルを求めると、通常、ＳＮ比が悪く、良好な精度の結果が得られ難い。このため、フーリエ変換型分光計では、１個の測定対象に対しインターフェログラムが複数回測定され、これら複数のインターフェログラムが積算されることによって、被測定光のスペクトルを求めるために用いられるインターフェログラム（以

下、「積算インターフェログラム」と呼称する。）が生成される。これら複数回の測定は、通常、干渉計の２つの光路のうちの一方の光路の光路長を連続的に変化させながら行われる。

[0005] このような複数のインターフェログラムを積算する技術は、例えば、特許文献１および特許文献２に開示されている。この特許文献１に開示のインターフェログラム積算装置は、一走査の干渉光を被測定物に照射して得られる単位インターフェログラムを複数積算するインターフェログラム積算装置であって、前記単位インターフェログラムを一時的に記憶する単位インターフェログラム記憶手段と、前記単位インターフェログラム記憶手段に記憶された単位インターフェログラムデータよりセンターバースト位置を検出する最大位置検出手段と、前記最大位置検出手段により検出された単位インターフェログラムのセンターバースト位置を基準として、該単位インターフェログラムの位置軸上で両側にそれぞれ予め定められた所定量ずつ切り取り、切取インターフェログラムを採取する切取手段と、複数の単位インターフェログラムに対応して順次得られる複数の切取インターフェログラムを積算する積算手段とを備えている。

[0006] また、前記特許文献２では、測定光が被測定対象を透過して生じる測定光インターフェログラムと、参照光が前記被測定対象を迂回して生じる参照光インターフェログラムとが同期して測定され、基準波形記憶部に予め記憶されている、基準となる参照光インターフェログラムに対して、今回の測定周期における当該参照光インターフェログラムの位相が最も一致する位相差が演算され、この演算された位相差を基準に同期加算することで、測定光インターフェログラムと参照光インターフェログラムの平均が求められる。

[0007] このような複数のインターフェログラムを積算する場合では、各インターフェログラム間において、同じ光路差の測定データ同士を足し合わせる必要がある。このため、まず、１回の測定で得られた複数の測定データ（各サンプリング点での測定データ）の中から、センターバーストを含む範囲の測定データが取り出され、次に、同じ光路差の測定データが見つけ出され、その

後に、同じ光路差の測定データ同士が足し合わされる。

[0008] ところで、干渉計の光路長を変更するために、例えば共振振動によって反射面を該反射面に垂直な方向に移動させる光反射機構が用いられる場合では、ノイズ、例えば外部の振動等が混入すると、このノイズ（外部の振動等）の影響によって反射面の振幅が変動してしまう。このため、複数回の測定に対して同じ範囲で測定データが取り出された場合、この取り出された範囲の測定データの中にセンターバーストが含まれないケースが生じる場合がある。この結果、インターフェログラムの位置合わせができなくなり、各光路差全体に亘って複数のインターフェログラムを積算することができなくなってしまう。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開平０９－０２６３５８号公報

特許文献2：特開平０９－２９２２８２号公報

発明の概要

[0010] 本発明は、上述の事情に鑑みて為された発明であり、その目的は、インターフェログラムを含む範囲の測定データをより適切に取り出すことによって好適に複数のインターフェログラムを積算することができるフーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法を提供することである。

[0011] 本発明にかかるフーリエ変換型分光計およびフーリエ変換分光方法は、干渉計で生成された被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるものである。そして、前記干渉計の出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、この取り出す所定範囲は、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて設定される。このため、このようなフーリエ変換型分光計および該方法は、以前の位置合わせ情報が参酌されるから、インターフェログラム全体を

完全に含む範囲の測定データをより適切に取り出すことができ、したがって、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0012] 上記並びにその他の本発明の目的、特徴及び利点は、以下の詳細な記載と添付図面から明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]第１実施形態におけるフーリエ変換型分光計の構成を示すブロック図である。

[図2]第１実施形態のフーリエ変換型分光計における主に干渉計の構成を示す図である。

[図3]第１実施形態のフーリエ変換型分光計における干渉計の構成、位相補償板ＣＰを備えない場合の干渉計、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）および位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を説明するための図である。

[図4]第１実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示す図である。

[図5]第１実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した位置測定用光源のレーザ光の干渉波形を示す図である。

[図6]半透鏡で生じる位相ずれを示す図である。

[図7]半透鏡で生じる位相ずれを位相補償した場合における位相を示す図である。

[図8]第１実施形態における取出部で取り出す所定範囲を説明するための図である。

[図9]インターフェログラムと窓関数との関係を示す図である。

[図10]第２実施形態におけるフーリエ変換型分光計の構成を示すブロック図である。

[図11]第２実施形態のフーリエ変換型分光計における主に干渉計の構成を示す図である。

[図12]第２実施形態のフーリエ変換型分光計における位置測定用光源から放

射されるレーザ光のスペクトルを示す図である。

[図13]第２実施形態のフーリエ変換型分光計における包絡線検波部の構成を示す回路図である。

[図14]第２実施形態のフーリエ変換型分光計における干渉計の構成、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）および位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を説明するための図である。

[図15]第２実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示す図である。

[図16]第２実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した位置測定用光源のレーザ光の干渉波形を示す図である。

[図17]第２実施形態における取出部で取り出す所定範囲を説明するための図である。

[図18]第２実施形態のフーリエ変換型分光計における第２態様の干渉計の構成、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）および位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を説明するための図である。

[図19]第２実施形態のフーリエ変換型分光計における第３態様の干渉計の構成を示す図である。

[図20]レーザ光の干渉光における包絡線に基づいてセンターバーストの位置を求める第２態様の方法を説明するための図である。

[図21]レーザ光の干渉光における包絡線に基づいてセンターバーストの位置を求める第３態様の方法を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明にかかる実施の一形態を図面に基づいて説明する。なお、各図において同一の符号を付した構成は、同一の構成であることを示し、適宜、その説明を省略する。

[0015] （第１実施形態）

図１は、第１実施形態におけるフーリエ変換型分光計の構成を示すブロック図である。図２は、第１実施形態のフーリエ変換型分光計における主に干

涉計の構成を示す図である。

[0016] 第１実施形態にかかるフーリエ変換型分光計Ｄａは、測定対象の被測定光のスペクトルを測定する装置であって、前記被測定光を干渉計で測定し、この測定した被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）をフーリエ変換することによって被測定光のスペクトルを求める装置である。そして、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａでは、ＳＮ比を改善し、良好な精度の結果を得るために、前記被測定光のスペクトルを求めるためにフーリエ変換される変換対象には、前記干渉計で生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムが用いられる。このようなフーリエ変換型分光計Ｄａは、例えば、図１および図２に示すように、測定対象物体ＳＭから放射された光（被測定光）が入射され、前記被測定光の干渉光を射出する干渉計１１ａと、干渉計１１ａで得られた被測定光の干渉光を受光して光電変換によって被測定光の干渉光の波形の電気信号（被測定光の干渉光における光強度変化を表す電気信号）を出力する受光処理部２０と、干渉計１１ａの移動鏡１１５の位置を検出する位置検出処理部３０ａと、制御演算部４１ａと、入力部４２と、出力部４３とを備えている。測定対象物体ＳＭは、自発光する光源であってよく、また、他の光源から放射された光が照射され、前記光を反射、透過または再放射（例えば蛍光発光等）することによって光を放射するものであってもよい。

[0017] 干渉計１１ａは、測定対象の被測定光が入射され、この入射された被測定光を２個の第１および第２被測定光に分岐し、これら分岐した第１および第２被測定光のそれぞれを、互いに異なる２個の経路である第１および第２光路のそれぞれに進行（伝播）させ、再び合流させるものであり、この分岐点（分岐位置）から合流点（合流位置、干渉位置）までの間に第１および第２光路間に光路差があると、前記合流の際に位相差が生じているため、前記合流によって干渉縞を生じるものである。干渉計１１ａは、例えばマッハツェンダー干渉計等の種々のタイプの第１および第２光路を備える干渉計を利用することができるが、本実施形態では、図２に示すように、マイケルソン干

渉計によって構成されている。

[0018] より具体的には、図２に示すように、干渉計１１ａは、複数の光学素子として半透鏡１１２、固定鏡１１４、および、光反射面が光軸方向に移動する移動鏡１１５を備え、固定鏡１１４と移動鏡１１５とは、各鏡面の各法線が互いに直交するようにそれぞれ配置され、半透鏡１１２は、その法線が前記固定鏡１１４および移動鏡１１５における各法線の直交点を通り、これら各法線に対し４５度の角度で交差するように配置される。この干渉計１１ａにおいて、干渉計１１ａに入射された被測定光は、半透鏡１１２で２個の第１および第２被測定光に分岐する。この分岐した一方の第１被測定光は、半透鏡１１２で反射されて固定鏡１１４に入射する。この第１被測定光は、固定鏡１１４で反射し、来た光路を逆に辿って再び半透鏡１１２に戻る。一方、この分岐した他方の第２被測定光は、半透鏡１１２を通過して移動鏡１１５に入射する。この第２被測定光は、移動鏡１１５で反射し、来た光路を逆に辿って再び半透鏡１１２に戻る。これら固定鏡１１４で反射された第１被測定光および移動鏡１１５で反射された第２被測定光は、半透鏡１１２で互いに合流して干渉する。このような構成のマイケルソン干渉計１１ａでは、被測定光は、移動鏡１１５の鏡面における法線方向に沿って干渉計１１ａへ入射され、被測定光の干渉光は、固定鏡１１４の鏡面における法線方向に沿って干渉計１１ａから射出される。

[0019] そして、本実施形態では、干渉計１１ａは、被測定光を半透鏡１１２で２個の第１および第２被測定光に分岐する場合において、半透鏡１１２で反射した半透鏡１１２の反射側に配置される位相補償板ＣＰをさらに備えている。すなわち、本実施形態では、半透鏡１１２で反射した第１被測定光は、位相補償板ＣＰを介して固定鏡１１４へ入射され、固定鏡１１４で反射された第１被測定光は、位相補償板ＣＰを介して再び半透鏡１１２へ入射される。位相補償板ＣＰは、第１被測定光の半透鏡１１２の透過回数と第２被測定光の半透鏡１１２の透過回数の相違から生じる第１被測定光と第２被測定光との位相差を無くして前記位相差を補償するものである。このような位相補償

板ＣＰは、等方性の位相板であり、位相補償板ＣＰの厚さと同じの距離を真空中または空気中で進行した光の位相に対し、位相補償板ＣＰ内を進行した光の位相にずれを生じさせるものである。この位相補償板ＣＰについて、後に、さらに説明する。

[0020] 第１被測定光は、このような被測定光の入射位置から、半透鏡１１２、位相補償板ＣＰ、固定鏡１１４および位相補償板ＣＰをこの順に介して半透鏡１１２に再び至る第１光路を辿る。第２被測定光は、このような被測定光の入射位置から、半透鏡１１２および移動鏡１１５をこの順に介して半透鏡１１２に再び至る第２光路を辿る。

[0021] 移動鏡１１５は、光路差形成光学素子の一例であり、共振振動を用いることによって２個の第１および第２光路間に光路差を生じさせる光学素子である。このような移動鏡１１５として、例えば、国際公開ＷＯ２０１０／１２２８７９号パンフレットに開示の光反射機構が挙げられる。この光反射機構は、反射面を表面に有する第１移動部と、前記第１移動部を支持する支持部と、前記第１移動部と前記支持部とを前記支持部の上下で片持梁形式で連結する第１の梁および平行移動梁と、前記第１移動部を移動させるための駆動部とを備え、前記第１移動部を前記反射面に垂直な方向に共振振動させるものであり、ＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical Systems）技術によって製造される。

[0022] また、移動鏡１１５は、好ましくは、図２に示すように、平行板バネを利用した、反射面が並進移動する構成であってよい。この平行板バネ構造の移動鏡１１５では、鏡面を移動する駆動力を外部から与える図略のアクチュエータを備えており、反射面（鏡面）が共振するような駆動信号が前記アクチュエータに与えられる。このような平行板バネ構造が有する並進性を利用した移動鏡１１５では、非駆動時（静止時）における移動鏡１１５の位置は、移動（振動）の中心となり、静止時の基準位置となるから、移動鏡１１５側に分岐された光路長の基準位置となる。したがって、平行板バネの静止時における反射面の位置は、「固定鏡１１４側の光路長と移動鏡１１５側の光路

長とが、仮に同一の媒質で形成されている場合に、これら２個の光路差がゼロ（０）になるように光学素子を配置した場合」の、移動鏡１１５側の光路の基準となる。

[0023] さらに、本実施形態では、測定対象物体ＳＭから放射された被測定光を平行光で半透鏡１１２へ入射させるために、測定対象物体ＳＭと半透鏡１１２との間の適宜な位置に、入射光学系として例えば両凸のコリメータレンズ１１１が配置され、半透鏡１１２で第１および第２被測定光を合流して干渉させることによって生じた被測定光の干渉光を集光して第１受光部２１へ入射させるために、半透鏡１１２と第１受光部２１との間の適宜な位置に、射出光学系として例えば両凸の集光レンズ１１６が配置されている。

[0024] 図１に戻って、受光処理部２０は、例えば、第１受光部２１と、増幅部２２と、アナログーディジタル変換部（以下、「ＡＤ変換部」と呼称する。）２３とを備えている。第１受光部２１は、干渉計１１ａで得られた被測定光の干渉光を受光して光電変換することによって、被測定光の干渉光の光強度に応じた電気信号を出力する回路である。第１受光部２１は、例えばＩｎＧａＡｓフォトダイオードおよびその周辺回路を備えて構成される赤外線センサ等である。増幅部２２は、第１受光部２１の出力を予め設定された所定の増幅率で増幅する増幅器である。ＡＤ変換部２３は、増幅部２２の出力をアナログ信号からディジタル信号へ変換（ＡＤ変換）する回路である。このＡＤ変換のタイミング（サンプリングタイミング）は、後述のゼロクロス検出部３７から入力されたゼロクロスタイミングで実行される。

[0025] また、位置検出処理部３０ａは、例えば、位置測定用光源３１ａと、第２受光部３６と、ゼロクロス検出部３７とを備えている。そして、位置検出処理部３０ａは、この位置測定用光源３１ａから放射されたレーザ光の干渉光を干渉計１１ａで得るために、図２に示すように、コリメータレンズ３２と、ビームスプリッター３３と、ビームスプリッター３４と、集光レンズ３５とをさらに備えている。

[0026] 位置測定用光源３１ａは、単色レーザ光を放射する光源装置である。図２

において、コリメータレンズ３２およびビームスプリッター３３は、位置測定用光源３１から放射されたレーザ光を平行光で干渉計１１ａへ入射させるための入射光学系である。ビームスプリッター３３は、その法線が移動鏡１１５の法線（光軸）に対し４５度で交差するように、コリメータレンズ１１１と半透鏡１１２との間に配置される。コリメータレンズ３２は、例えば両凸のレンズであり、このように配置されたビームスプリッター３３に対し４５度の入射角で位置測定用光源３１ａから放射されたレーザ光が入射されるように、適宜な位置に配置される。そして、ビームスプリッター３４および集光レンズ３５は、干渉計１１ａで生じた前記レーザ光の干渉光を干渉計１１ａから取り出すための射出光学系である。ビームスプリッター３４は、その法線が固定鏡１１４の法線（光軸）に対し４５度で交差するように、半透鏡１１２と集光レンズ１１６との間に配置される。集光レンズ３５は、例えば両凸のレンズであり、このように配置されたビームスプリッター３４において４５度の射出角で射出されるレーザ光の干渉光を集光して第２受光部３６へ入射させる。なお、ビームスプリッター３３は、レーザ光を反射するとともに被測定光を透過するダイクロイックミラーであってもよく、ビームスプリッター３４は、レーザ光の干渉光を反射するとともに被測定光の干渉光を透過するダイクロイックミラーであってもよい。

[0027] このようにコリメータレンズ３２、ビームスプリッター３３、３４および集光レンズ３５の各光学素子が配置されると、位置測定用光源３１ａから放射された単色のレーザ光は、コリメータレンズ３２で平行光とされ、その光路がビームスプリッター３３で約９０度曲げられて、干渉計１１ａの光軸（移動鏡１１５の鏡面における法線方向）に沿って進行するようになる。したがって、このレーザ光は、被測定光と同様に、干渉計１１ａ内を進行し、干渉計１１ａでその干渉光を生じさせる。このレーザ光の干渉光は、ビームスプリッター３４で約９０度曲げられて、干渉計１１ａから外部に取り出され、集光レンズ３５で集光されて第２受光部３６で受光される。

[0028] 図１に戻って、第２受光部３６は、干渉計１１ａで得られたレーザ光の干

渉光を受光して光電変換することによって、レーザ光の干渉光の光強度に応じた電気信号を出力する回路である。第２受光部３６は、例えばシリコンフォトダイオード（ＳＰＤ）およびその周辺回路を備えて構成される受光センサ等である。第２受光部３６は、レーザ光の干渉光の光強度に応じた電気信号をゼロクロス検出部３７へ出力する。

[0029] ゼロクロス検出部３７は、第２受光部３６から入力された、レーザ光の干渉光の光強度に応じた電気信号がゼロとなるタイミングを検出する回路である。干渉計１１ａの移動鏡１１５が光軸方向に移動している場合に、半透鏡１１２から固定鏡１１４を介して再び半透鏡に戻ったレーザ光の位相に対し、半透鏡１１２から移動鏡１１５を介して再び半透鏡に戻ったレーザ光の位相がずれるので、レーザ光の干渉光は、その移動量に応じて正弦波状に強弱する。そして、干渉計１１ａの移動鏡１１５がレーザ光の波長の１／２の長さだけ移動すると、半透鏡１１２から移動鏡１１５を介して再び半透鏡に戻ったレーザ光の位相は、この移動の前後において、２πずれる。このため、レーザ光の干渉光は、移動鏡１１５の移動に従って正弦波状に強弱を繰り返すことになる。ゼロクロス検出部３７は、この正弦波状に強弱を繰り返す前記電気信号のゼロクロスを検出している。ゼロクロス検出部３７は、この検出したゼロクロスのタイミングをＡＤ変換部２３へ出力し、ＡＤ変換部２３は、このゼロクロスのタイミングで、第１受光部２１から入力された、被測定光の干渉光の光強度に応じた電気信号をサンプリングしてＡＤ変換する。

[0030] 制御演算部４１ａは、被測定光のスペクトルを求めるべく、フーリエ変換型分光計Ｄａの各部を当該各部の機能に応じてそれぞれ制御するものである。制御演算部４１ａは、例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、このＣＰＵによって実行される種々のプログラムやその実行に必要なデータ等を予め記憶するＲＯＭ（Read Only Memory）やＥＥＰＲＯＭ（Electrically Erasable Programmable Read Only Memory）等の不揮発性記憶素子、このＣＰＵのいわゆるワーキングメモリとなるＲＡＭ（Random Access Memory）等の揮発性記憶素子およびその周辺回路等を備えたマイクロコンピュータによ

って構成される。そして、制御演算部４１ａには、プログラムを実行することによって、機能的に、スペクトル演算部４１１ａが構成される。

[0031] スペクトル演算部４１１ａは、干渉計１１ａで生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるものである。本実施形態では、例えば、このスペクトル演算部４１１ａには、プログラムを実行することによって、機能的に、取出部４１１１と、検索部４１１２と、積算部４１１３と、演算部４１１４ａとが構成される。

[0032] 取出部４１１１は、干渉計１１ａの出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて前記取り出す所定範囲を設定し、干渉計１１ａの出力からこの設定した前記所定範囲の出力を取り出すものである。

[0033] 取出部４１１１で取り出された所定範囲の出力は、該所定範囲における各サンプリング点での各測定データであり、測定データの集合となる。取出部４１１１で取り出された所定範囲の出力は、１個のデータであるサンプリング点（ＡＤ変換点、測定点）での測定データと区別するために、以下「測定データ集合」と適宜に呼称される。

[0034] 前記位置合わせ情報は、積算部４１１３で被測定光のインターフェログラムを複数積算するために取出部４１１１で取り出された各測定データ集合間において、各測定データ集合について、互いにセンターバーストの位置を合わせるためのデータである。この位置合わせ情報を用いることによって、センターバーストの測定点から同じ数だけ離れた測定点の測定データ同士は、同じ光路差の測定データとなる。この位置合わせ情報として、例えば、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量が挙げられる。

[0035] 本実施形態では、取出部４１１１は、より具体的には、例えば、干渉計１

１ａの出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、１回目の測定で取り出した所定範囲に対して測定回数に応じて今回（今般）取り出す所定範囲を広げつつ、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量に応じて前記今回取り出す所定範囲の開始位置をシフトすることによって、この今回（今般）取り出す所定範囲を設定し、干渉計１１ａの出力からこの設定した前記所定範囲の出力を取り出すものである。

[0036] 検索部４１１２は、積算部４１１３で被測定光のインターフェログラムを複数積算するために取出部４１１１で取り出された各所定範囲の各出力において、同じ光路差の測定データを見つけ出すものである。

[0037] 積算部４１１３は、被測定光のインターフェログラムを複数積算するために取出部４１１１で取り出された各所定範囲の各出力（各測定データ集合）において、検索部４１１２で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって積算インターフェログラムを生成するものである。

[0038] 演算部４１１４ａは、積算部４１１３で生成された積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるものである。

[0039] 入力部４２は、例えば、測定開始を指示するコマンド等の各種コマンド、および、例えば測定対象の光源ＳＭにおける識別子の入力やフーリエ変換の際に用いられる窓関数の選択入力等のスペクトルを測定する上で必要な各種データをフーリエ変換型分光計Ｄａに入力する機器であり、例えば、キーボードやマウス等である。出力部４３は、入力部４２から入力されたコマンドやデータ、および、フーリエ変換型分光計Ｄａによって予測された被測定光のスペクトルを出力する機器であり、例えばＣＲＴディスプレイ、ＬＣＤ、有機ＥＬディスプレイおよびプラズマディスプレイ等の表示装置やプリンタ等の印刷装置等である。

[0040] 次に、本実施形態の動作について説明する。図３は、第１実施形態のフー

リエ変換型分光計における干渉計の構成、位相補償板ＣＰを備えない場合の干渉計、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）および位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を説明するための図である。図３（Ａ）は、第１実施形態のフーリエ変換型分光計における干渉計の構成を示し、図３（Ｂ）は、位相補償のための位相補償板ＣＰを備えない場合のマイケルソン干渉計、図３（Ｃ）は、模式的に描いた、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示し、そして、図３（Ｄ）は、模式的に描いた、位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を示す。図４は、第１実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示す図である。図４（Ａ）は、全体を示し、図４（Ｂ）は、ゼロレベル付近を示し、そして、図４（Ｃ）は、センターバースト付近を示す。図５は、第１実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した位置測定用光源のレーザ光の干渉波形を示す図である。図５（Ａ）は、全体を示し、図５（Ｂ）は、端部付近を示し、そして、図５（Ｃ）は、極大値付近を示す。図６は、半透鏡で生じる位相ずれを示す図である。図７は、半透鏡で生じる位相ずれを位相補償した場合における位相を示す図である。図６および図７の横軸は、ｎｍ単位で表す波長を示し、それらの縦軸は、度単位で表す位相を示す。図８は、第１実施形態における取出部で取り出す所定範囲を説明するための図である。図８（Ａ）、（Ｂ）および（Ｃ）のそれぞれは、１回目、（ｎ－１）回目およびｎ回目（ｎは２以上の整数）の各測定における各測定結果を模式的に示す。図９は、インターフェログラムと窓関数との関係を示す図である。図９の横軸は、光路差を示し、その縦軸は、振幅を示す。

[0041] 測定が開始されると、フーリエ変換型分光計Ｄａは、測定対象物体ＳＭから放射される被測定光を取り込む。被測定光は、干渉計１１ａに入射され、被測定光の干渉光となって第１受光部２１で受光される。より具体的には、被測定光は、コリメータレンズ１１１で平行光とされ、ビームスプリッター３３を介して半透鏡１１２で反射および透過することで第１および第２被測

定光に分岐される。半透鏡１１２で反射することによって分岐した第１被測定光は、位相補償板ＣＰを介して固定鏡１１４へ入射し、固定鏡１１４で反射し、来た光路を逆に辿って再び半透鏡１１２に戻る。一方、半透鏡１１２を通過することによって分岐した第２被測定光は、移動鏡１１５へ入射し、移動鏡１１５で反射し、来た光路を逆に辿って再び半透鏡１１２に戻る。これら固定鏡１１４で反射された第１被測定光および移動鏡１１５で反射された第２被測定光は、半透鏡１１２で互いに合流して干渉する。この被測定光の干渉光は、干渉計１１ａから第１受光部２１へ射出される。第１受光部２１は、この入射された被測定光の干渉光を光電変換し、前記被測定光の干渉光における光強度に応じた電気信号を増幅部２２へ出力する。増幅部２２は、所定の増幅率で前記被測定光の干渉光に応じた前記電気信号を増幅し、ＡＤ変換部２３へ出力する。

[0042] 一方、フーリエ変換型分光計Ｄａは、位置測定用光源３１ａから放射された単色のレーザ光も取り込む。このレーザ光は、ビームスプリッター３３を介して干渉計１１ａに入射され、上述と同様に干渉計１１ａで干渉し、レーザ光の干渉光となってビームスプリッター３４を介して第２受光部３６で受光される。第２受光部３６は、この入射されたレーザ光の干渉光を光電変換し、前記レーザ光の干渉光における光強度に応じた電気信号をゼロクロス検出部３７へ出力する。ゼロクロス検出部３７は、前記レーザ光の干渉光に応じた前記電気信号がゼロとなるタイミングをゼロクロスタイミングとして検出し、このゼロクロスタイミングをサンプリングタイミング（ＡＤ変換タイミング）としてＡＤ変換部２３へ出力する。

[0043] このような被測定光およびレーザ光がそれぞれ干渉計１１ａに取り込まれている間に、干渉計１１ａの移動鏡１１５は、制御演算部４１の制御に従って光軸方向に沿って移動される。

[0044] ＡＤ変換部２３は、増幅部２２から出力された、前記被測定光の干渉光における光強度に応じた電気信号を、ゼロクロス検出部３７から入力されたゼロクロスタイミングでサンプリングしてアナログ信号からディジタル信号へ

ＡＤ変換し、このＡＤ変換したディジタル信号の前記電気信号を制御演算部４１のスペクトル演算部４１１へ出力する。一例を挙げると図３（Ｄ）や図５に示すように、単色レーザ光の干渉光における光強度は、移動鏡１１５の移動に応じて正弦波状に強弱を繰り返すので、フーリエ変換型分光計Ｄａは、このゼロクロスタイミングを検出することでＡＤ変換のサンプリングタイミングを得ている。

[0045] このように動作することによって、図３（Ｃ）および図４に示すようなインターフェログラムがＡＤ変換部２３から制御演算部４１のスペクトル演算部４１１に入力される。

[0046] ここで、まず、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおける位相補償について説明する。

[0047] 前記位相補償のための位相補償板ＣＰを備えない場合のマイケルソン干渉計は、図３（Ｂ）に示すように、半透鏡１１２と、固定鏡１１４と、光軸方向に移動する移動鏡１１５とを備え、固定鏡１１４および移動鏡１１５は、互いに光軸が直交するように配置され、半透鏡１１２は、これら各光軸と４５度の角度でそれぞれ交差するとともにこれら各光軸の交差位置に半透鏡面が位置するように、配置される。このようなマイケルソン干渉計では、被測定光は、半透鏡１１２で反射して固定鏡１１４へ入射し、固定鏡１１４で反射して再び半透鏡１１２に戻り、半透鏡１１２を透過する第１光路（ここでは半透鏡１１２→固定鏡１１４→半透鏡１１２）と、半透鏡１１２を透過して移動鏡１１５へ入射し、移動鏡１１５で反射して再び半透鏡１１２に戻り、半透鏡１１２で反射する第２光路（ここでは半透鏡１１２→移動鏡１１５→半透鏡１１２）との２個の光路が形成される。

[0048] ここで、このような２個の第１および第２光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合に、これら２個の第１および第２光路間の光路差がゼロとなるように、これら半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５のそれぞれが配置された配置状態では、合流位置（干渉位置）において、半透鏡１１２で分岐して第１光路を進行（伝播）した第１被測定光と半透鏡１

１２で分岐して第２光路を進行した第２被測定光との間には、位相差が生じない。これら２個の第１および第２光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合とは、例えば、半透鏡１１２の透明基板と同一の材料によって第１および第２光路が形成される場合や、また例えば、これら半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５のそれぞれが真空中または気体中に配置され、半透鏡１１２が半透鏡面のみで形成される場合等である。なお、半透鏡の１１２の半透面鏡は、通常、無視できる厚さである。

[0049] 現実には、図３（Ｂ）に示すように、半透鏡１１２は、被測定光やレーザ光の波長に対して透明な材料、例えばガラス等によって形成された透明基板と、前記透明基板の一方主面に形成された、例えば金属薄膜や誘電体多層膜等の半透鏡面とを備えて構成される。このため、図３（Ｂ）に示すように、合流（干渉）の際に、第１光路の第１被測定光は、半透鏡１１２の前記透明基板を通過しないが、第２光路の第２被測定光は、半透鏡１１２の前記透明基板を２回通過することになる。したがって、被測定光の入射位置から干渉位置までの間に、これら半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５によって形成される２個の第１および第２光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合に前記２個の光路間の光路差がゼロとなるようにこれら半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５が配置された前記配置状態であっても、第１光路と第２光路との位相差は、前記透明基板の屈折率に起因してゼロにならない。そして、半透鏡１１２の前記透明基板によって生じる位相のずれ量は、屈折率が波長依存性を有しているために、一例を挙げると、例えば、図６に示すように、波長依存性を有している。

[0050] このため、本実施形態の干渉計１１ａでは、図３（Ａ）や図２に示すように、このような２個の第１および第２光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合に、これら２個の第１および第２光路間の光路差がゼロとなるように、これら半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５のそれぞれが配置された前記配置状態において、合流位置（干渉位置）で、半透鏡１１２で分岐して第１光路を進行（伝播）した第１被測定光と半透鏡１１２

で分岐して第２光路を進行した第２被測定光との間に実際には生じる上述の位相差を補償するために、半透鏡１１２と固定鏡１１４との間に、半透鏡１１２の前記透明基板と同一の位相特性（屈折率特性）を有する位相補償板ＣＰが配置される。例えば、このような位相補償板ＣＰは、半透鏡１１２の前記透明基板そのものである（もちろん、半透鏡面はない）。このような位相補償板ＣＰを配置することによって、これら第１および第２光路間における位相差は、図７に示すように無くなる。このような位相補償された干渉計１１ａを用いると、被測定光の干渉光におけるインターフェログラムは、被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロとなり、図３（Ｃ）に示すように、センターバーストが大きく、そして、サイドローブが小さいプロファイルとなる。このようなインターフェログラムの一例が図４に示されている。このような被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロである場合のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置は、比較的明瞭である。なお、初期位相は、光路差０の位置（センターバーストの位置）での位相である。また、ここでは、前記位相補償するために位相補償板ＣＰが用いられたが、例えば、ＭｅｒｔｚやＦｏｒｍａｎ等によって考案された位相補償演算によって位相補償が行われてもよい。

[0051] このようなセンターバーストが比較的明瞭なインターフェログラムを含むディジタル信号が受光処理部２０のＡＤ変換部２３から制御演算部４１ａのスペクトル演算部４１１ａへ出力される。そして、スペクトル演算部４１１ａは、ＳＮ比を改善し、良好な精度の結果を得るために、干渉計１１ａで生成された、このような被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって積算インターフェログラムを生成する。

[0052] ここで、この積算インターフェログラムを求める際に、複数の測定のそれぞれにおいて、測定開始時にサンプリングカウント数が０にリセットされ、移動鏡１１５が常に同じように移動していれば、サンプリングカウント数の常に同じ数値（同じ測定点番号）でセンターバーストが現れ、サンプリングカウント数の同じ数値（同じ測定点番号）の測定データは、同じ光路差の測

定データとなる。この場合には、光路差０の位置（センターバーストの位置）を中心とした範囲ｉが取出部４１１１で取り出される所定の範囲として設定され、各測定において、干渉計１１ａの出力から、この範囲ｉで毎回、各サンプリング点での測定データが取り出される。この範囲ｉは、光路差０の位置（センターバーストの位置）をI_0とし、取り出す測定点数をｎｈとすると、例えば、式１で表される。

$$\left(I_0-\frac{nh}{2}\right)\leq i\leq\left(I_0+\frac{nh}{2}-1\right) \qquad \cdots(1)$$

[0053] この場合では、これら取り出された範囲ｉの各測定データ集合には、インターフェログラム全体が完全に含まれることになり、そして、サンプリングカウント数の同じ数値（同じ測定点番号）の測定データは、同じ光路差の測定データとなる。このため、このように取出部４１１１で取り出した各測定データ集合について、同じサンプリングカウント数の各測定データ同士を足し合わせることによって、積算インターフェログラムが生成できる。

[0054] 一方、外部の振動等のノイズの影響を受けると、本実施形態では移動鏡１１５が共振振動を用いることによって第１および第２光路間に光路差を生じさせる素子であることから、反射面の振幅が変動してしまう。このため、図８（Ａ）、（Ｂ）および（Ｃ）に示すように、サンプリングカウント数の常に同じ数値でセンターバーストが現れるとは限らない。このため、各測定において、干渉計１１ａの出力から、毎回同じ範囲ｉで、各サンプリング点での測定データが取り出されると、これら取り出された範囲ｉの各測定データ集合には、センターバーストのうちの一部しか含まないものや、センターバーストを全く含まないものが含まれる場合がある。

[0055] このため、本実施形態の取出部４１１１は、干渉計１１ａの出力から所定範囲ｉの測定データを取り出す場合に、今般の被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて、この取り出す所定の範囲ｉを設定し、干渉計１１ａの出力からこの設定した所定範囲ｉの測定データを

取り出している。より具体的には、本実施形態の取出部４１１１は、干渉計１１ａの出力から所定範囲ｉの測定データを取り出す場合に、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量に応じて前記今回取り出す所定の範囲ｉの開始位置をシフトすることによって、この今回（今般）取り出す所定範囲ｉを設定し、干渉計１１ａの出力からこの設定した所定範囲ｉの測定データを取り出している。すなわち、１回目の測定における光路差０の位置および取り出すデータ点数をそれぞれI_0およびｎｈとし、ｎ回目の測定における取り出すデータ点数を（ｎｈ＋ｎｒ）とし、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定（（ｎ－１）回目の測定）におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量k_0（ｎ－１）とする場合には、１回目の測定では、前記所定範囲ｉは、上記式１で表され（図８（Ａ）参照）、（ｎ－１）回目の測定では、前記所定範囲ｉは、次式の式２で表され（図８（Ｂ）参照）、そして、ｎ回目の測定では、前記所定の範囲ｉは、次式の式３で表される（図８（Ｃ）参照）。

$$\left(\left(I_0 + k_0(n-2) - \frac{nh+nr}{2}\right) \le i < \left(I_0 + k_0(n-2) + \frac{nh+nr}{2}\right)\right) \quad \cdots(2)$$

$$\left(\left(I_0 + k_0(n-1) - \frac{nh+nr}{2}\right) \le i < \left(I_0 + k_0(n-1) + \frac{nh+nr}{2}\right)\right) \quad \cdots(3)$$

[0056] このように取出部４１１１で各測定データ集合が取り出されると、検索部４１１２は、これら取出部４１１１で取り出された各測定データ集合において、同じ光路差の測定データを見つけ出す。

[0057] 本実施形態では、例えば、検索部４１１２は、１回目の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合とにおいて、相互相関の最大値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出している。よ

り具体的には、検索部４１１２は、まず、サンプリングカウント数（測定点番号）をｉとし、１回目の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合をＩｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_1$（ｉ）とし、ｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_n$（ｉ）とする場合に、ｋの値を０≦ｋ≦（ｎｒ－１）の範囲で順次にずらしながら、次式４－１によってｎｈ点の相互相関関数φ（ｋ）を求める。次に、検索部４１１２は、相互相関関数φ（ｋ）の最大値ｋを見つける。そして、検索部４１１２は、次式４－２によって求められるシフト量ｋ$_0$（ｎ）だけ、ｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_n$（ｉ）の測定点番号をシフトすることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。すなわち、１回目の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_1$（ｉ）における測定点番号ｊ（ｊ∈ｉ）の測定データと、ｎ回目の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_n$（ｉ）における測定点番号ｊ＋ｋ$_0$（ｎ）の測定データとが、同じ光路差の測定データである。

$$\phi(k)=\sum_{j=0}^{nh-1}\left\{\mathrm{Interferogram}_1\left(I_0-\frac{nh}{2}+j\right)\times\mathrm{Interferogram}_n\left(I_0-\frac{nh}{2}-\frac{nr}{2}+k_0(n-1)+k+j\right)\right\}$$
$$(0\le k\le(nr-1)) \qquad \cdots(4\text{-}1)$$

$$k_0(n)=k_0(n-1)+k \quad \cdots(4\text{-}2)$$

[0058] また例えば、検索部４１１２は、１回目の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_1$（ｉ）とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ$_n$（ｉ）とにおいて、測定点についての差の２乗の和における最小値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出してもよい。より具体的には、検索部４１１２は、まず、ｋの値を０≦ｋ≦（ｎｒ－１）の範囲で順次にずらしながら、次式５－１によってｎｈ点の差の

２乗和Δ_2（ｋ）を求め、この差の２乗和Δ_2（ｋ）の最小値ｋを見つける。そして、検索部４１１２は、次式５－２によって求められるシフト量k_0（ｎ）だけ、ｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合$\mathrm{Interferogram}_n$（ｉ）の測定点番号をシフトすることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。

$$\Delta_2(k)=\sum_{j=0}^{nh-1}\left\{\mathrm{Interferogram}_1\left(I_0-\frac{nh}{2}+j\right)-\mathrm{Interferogram}_n\left(I_0-\frac{nh}{2}-\frac{nr}{2}+k_0(n-1)+k+j\right)\right\}^2$$

$$(0\le k\le(nr-1)) \quad \cdots(5\text{-}1)$$

$$k_0(n)=k_0(n-1)+k \quad \cdots(5\text{-}2)$$

[0059] また例えば、検索部４１１２は、１回目の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合$\mathrm{Interferogram}_1$（ｉ）とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合$\mathrm{Interferogram}_n$（ｉ）とにおいて、測定点についての差の絶対値の和における最小値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出してもよい。より具体的には、検索部４１１２は、まず、ｋの値を０≦ｋ≦（ｎｒ－１）の範囲で順次にずらしながら、次式６－１によってｎｈ点の差の絶対値の和Δ_A（ｋ）を求め、この差の絶対値の和Δ_A（ｋ）の最小値ｋを見つける。そして、検索部４１１２は、次式6－２によって求められるシフト量k_0（ｎ）だけ、ｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で取出部４１１１で取り出された測定データ集合$\mathrm{Interferogram}_n$（ｉ）の測定点番号をシフトすることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。

$$\Delta_A(k)=\sum_{j=0}^{nh-1}\mathrm{abs}\left\{\mathrm{Interferogram}_1\left(I_0-\frac{nh}{2}+j\right)-\mathrm{Interferogram}_n\left(I_0+-\frac{nh}{2}-\frac{nr}{2}+k_0(n-1)+k+j\right)\right\}$$

$$(0\le k\le(nr-1)) \quad \cdots(6\text{-}1)$$

$$k_0(n)=k_0(n-1)+k \quad \cdots(6\text{-}2)$$

[0060] なお、１つ前のシフト量k_0（ｎ－１）に応じて検索範囲が広げられてもよい。例えば、k_0（ｎ－１）＜０の場合にはｎ回目の測定データ集合$\mathrm{Interferogram}_n$（ｉ）において位置合わせで用いるデータとして、［（

$I_0+k_0(n-1)-(nh+nr)/2) \leqq i \leqq (I_0+(nh+nr)/2)$ ］の範囲の（$nh+nr-k_0(n-1)$）点のデータが用いられ、$k_0(n-1)>0$の場合にはｎ回目の測定データ集合$Interferogram_n(i)$において位置合わせで用いるデータとして、［$(I_0-(nh+nr)/2) \leqq i \leqq (I_0+k_0(n-1)-(nh+nr)/2)$］の範囲の（$nh+nr-k_0(n-1)$）点のデータが用いられる。

[0061] このように検索部４１１２で各測定データ集合における同じ光路差のデータが見つけ出されると、積算部４１１３は、取出部４１１１で取り出された各測定データ集合において、検索部４１１２で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって積算インターフェログラムを生成する。

[0062] より具体的には、まず、ｍ回目の測定でのインターフェログラム$F_m(x_i)$は、光路差をx_iとし、波数をν_jとし、波数ν_jのスペクトル振幅を$B(\nu_j)$とし、光路差０の位置をX_0とし、波数ν_jの光路差０の位置における位相を$\phi(\nu_j)$とする場合に、式７で表される。なお、ｍは、ｍ番目の測定による測定結果であることを表す。

$$F_m(x_i)=\sum_j B(\nu_j)\cdot\cos(2\pi\cdot\nu_j\cdot(x_i-X_0)+\varphi(\nu_j)) \quad \cdots(7)$$

[0063] したがって、積算インターフェログラム$F(x_i)$は、式８で表される。

$$F(x_i)=\sum_{m=1}^{M}F_m(x_i) \quad \cdots(8)$$

[0064] このように積算インターフェログラムが積算部４１１３で求められると、演算部４１１４ａは、積算部４１１３で生成された積算インターフェログラムを例えば高速フーリエ変換（ＦＦＴ）することによって被測定光のスペクトルを求める。

[0065] より具体的には、高速フーリエ変換する場合には、サイドローブの発生を低減するために、図９に示すように、光路差０の位置（センターバーストの位置）を中心に左右対称な窓関数$A_{window}(x_i)$が掛け合わされてから（

式９）、高速フーリエ変換が行われ、被測定光のスペクトルの振幅｜$B_{window}(\nu_j)$｜が求められる（式１０）。

$$B_{window}(\nu_j) = \mathrm{fft}(F(x_i) \times A_{window}(x_i)) \quad \cdots(9)$$

$$\left|B_{window}(\nu_j)\right| = \sqrt{B_{window}(\nu_j) \times B^*_{window}(\nu_j)} \quad \cdots(10)$$

[0066] 上記窓関数$A_{window}(x_i)$は、適宜な種々の関数を挙げることができるが、例えば、式１１－１ないし式１１－３で表される関数である。式１１－１および式１１－２は、Ｈａｍｍｉｎｇ　Ｗｉｎｄｏｗ（ハミング窓）関数と呼ばれ、式１１－３は、Ｂｌａｃｋｍａｎ　Ｗｉｎｄｏｗ（ブラックマン窓）関数と呼ばれる。

$$A_{window}(x) = 0.5 + 0.5 \times \cos\left(\frac{2\pi \cdot x}{L_0}\right) \quad \cdots(11\text{-}1)$$

$$A_{window}(x) = 0.54 + 0.46 \times \cos\left(\frac{2\pi \cdot x}{L_0}\right) \quad \cdots(11\text{-}2)$$

$$A_{window}(x) = 0.42 + 0.5 \times \cos\left(\frac{2\pi \cdot x}{L_0}\right) + 0.08 \times \cos\left(\frac{4\pi \cdot x}{L_0}\right) \quad \cdots(11\text{-}3)$$

[0067] このような取り出し範囲の適正化によってスペクトル演算部４１１ａは、干渉計１１ａによって得られた被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって積算インターフェログラムを生成し、この生成した積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって被測定光のスペクトルを求めている。そして、この求めた被測定光のスペクトルは、出力部４３に出力される。

[0068] 以上、説明したように、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法では、干渉計１１ａの出力から所定範囲ｉの出力を取り出す場合に、この取り出す所定範囲ｉは、今般の被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて設定される。このため、本実施形態のフーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型

分光方法は、以前の位置合わせ情報が参酌されるから、インターフェログラム全体を完全に含む範囲の測定データをより適切に取り出すことができ、したがって、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0069] また、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法では、前記位置合わせ情報として、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量k_0（ｎ－１）が用いられている。このため、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法は、今回より１つ前に測定されたインターフェログラムと今回測定されたインターフェログラムとではズレ量k_0（ｎ－１）が小さい場合に好適に対応することができ、インターフェログラム全体を完全に含む範囲の測定データをより適切に取り出すことができ、したがって、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0070] また、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法において、相互相関によって同じ光路差の測定データを見つけ出す場合には、より正確に同じ光路差の測定データを見つけ出すことができる。このため、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法は、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0071] また、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法において、差の２乗の和によって同じ光路差の測定データを見つけ出す場合には、より正確に同じ光路差の測定データを見つけ出すことができる。このため、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法は、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0072] また、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法において、差の絶対値の和によって同じ光路差の測定データを見つけ出す場合には、より簡易な情報処理で同じ光路差の測定デー

タを見つけ出すことができる。

[0073] 次に、別の実施形態について説明する。

[0074] （第２実施形態）

第１実施形態におけるフーリエ変換型分光計Ｄａでは、第１および第２光路間における半透鏡１１２で生じる位相差を位相補償板ＣＰで補償しているので、センターバーストは、比較的明瞭であり、そして、その振幅は、比較的大きい。このセンターバーストでＡＤ変換部２３を飽和させないために、ＡＤ変換部２３のダイナミックレンジ全体をセンターバーストに設定すると、インターフェログラムのゼロレベル付近における微小な信号が高分解能で検出することが難しくなる。そのため、インターフェログラムのセンターバースト付近における比較的大きな信号をＡＤ変換するＡＤ変換部と、インターフェログラムのゼロレベル付近における微小な信号をＡＤ変換するＡＤ変換部とで、インターフェログラムをＡＤ変換する手法が考えられるが、この手法では、２個のＡＤ変換部が必要であり、そして、各出力を合成する手間も必要となる。そこで、第２実施形態におけるフーリエ変換型分光計Ｄｂは、１個のＡＤ変換部でもインターフェログラムのゼロレベル付近における微小な信号もより高分解能で検出することができる装置およびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法である。

[0075] 図１０は、第２実施形態におけるフーリエ変換型分光計の構成を示すブロック図である。図１１は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における主に干渉計の構成を示す図である。図１２は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における位置測定用光源から放射されるレーザ光のスペクトルを示す図である。図１２の横軸は、波数（１／波長）であり、その縦軸は、振幅の大きさである。図１３は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における包絡線検波部の構成を示す回路図である。

[0076] 第２実施形態にかかるフーリエ変換型分光計Ｄｂは、第１実施形態かかるフーリエ変換型干渉計Ｄａと同様に、測定対象の被測定光を干渉計で測定し、この測定した被測定光の積算インターフェログラムをフーリエ変換するこ

とによって被測定光のスペクトルを求める装置である。このようなフーリエ変換型分光計Ｄｂは、例えば、図１０および図１１に示すように、測定対象物体ＳＭから放射された光（被測定光）が入射され、前記被測定光の干渉光を射出する干渉計１１ｂと、干渉計１１ｂで得られた被測定光の干渉光を受光して光電変換によって被測定光の干渉光の波形の電気信号（被測定光の干渉光における光強度変化を表す電気信号）を出力する受光処理部２０と、干渉計１１ｂの移動鏡１１５の位置を検出する位置検出処理部３０ｂと、制御演算部４１ｂと、入力部４２と、出力部４３とを備えている。

[0077] これら第２実施形態における受光処理部２０、入力部４２および出力部４３は、それぞれ、第１実施形態における受光処理部２０、入力部４２および出力部４３と同様であるので、その説明を省略する。

[0078] 干渉計１１ｂは、第１実施形態における干渉計１１ａと同様に、測定対象の被測定光が入射され、この入射された被測定光を２個の第１および第２被測定光に分岐し、これら分岐した第１および第２被測定光のそれぞれを、互いに異なる２個の経路である第１および第２光路のそれぞれに進行（伝播）させ、再び合流させるものであり、この分岐点（分岐位置）から合流点（合流位置、干渉位置）までの間に第１および第２光路間に光路差があると、前記合流の際に位相差が生じているため、前記合流によって干渉縞を生じるものである。そして、第２実施形態では、干渉計１１ｂは、２個の第１および第２光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合にこれら２個の第１および第２光路間の光路差がゼロとなるように、これら２個の第１および第２光路を形成する複数の光学素子を配置した場合において実際には前記第１および第２光路間に位相差を持つ有位相差干渉計である。このような干渉計１１ｂは、例えばマイケルソン干渉計で説明すると、例えば、図１１に示すように、図２に示す上述の干渉計１１ａの場合と同様に配置される、半透鏡１１２、固定鏡１１４、および、光反射面が光軸方向に移動する移動鏡１１５を備え、そして、被測定光を半透鏡１１２で２個の第１および第２被測定光に分岐する場合において、半透鏡１１２を透過した半透鏡１１２の透

過側に配置される第１位相差板１１３をさらに備えている。すなわち、本実施形態では、半透鏡１１２を透過した第２被測定光は、第１位相差板１１３を介して移動鏡１１５へ入射され、移動鏡１１５で反射された第２被測定光は、第１位相差板１１３を介して再び半透鏡１１２へ入射される。

[0079] これら第２実施形態の干渉計１１ｂにおける半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５は、それぞれ、第１実施形態の干渉計１１ａにおける半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５と同様であるので、その説明を省略する。

[0080] 第１位相差板１１３は、等方性の位相板であり、第１位相差板１１３の厚さと同じの距離を真空中または空気中で進行した光の位相に対し、第１位相差板１１３内を進行した光の位相にずれを生じさせるものである。このように第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａの干渉計１１ａのように位相補償板ＣＰを備えることなく、第１位相差板１１３を備えている。

[0081] さらに、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂでも入射光学系として例えばコリメータレンズ１１１および射出光学系として例えば集光レンズ１１６を備えており、これらは、それぞれ、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおけるコリメータレンズ１１１および集光レンズ１１６と同様であるので、その説明を省略する。

[0082] また、位置検出処理部３０ｂは、例えば、位置測定用光源３１ｂと、第２受光部３６と、ゼロクロス検出部３７と、包絡線検波部３８とを備えている。そして、位置検出処理部３０ｂは、この位置測定用光源３１ｂから放射されたレーザ光の干渉光を干渉計１１ｂで得るために、図１１に示すように、コリメータレンズ３２と、ビームスプリッター３３と、ビームスプリッター３４と、集光レンズ３５とをさらに備えている。すなわち、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａに対し、位置測定用光源３１ａに代え位置測定用光源３１ｂを備え、さらに、包絡線検波部３８を備えている。このため、第２実施形態のフーリエ変換型

分光計Ｄｂにおける第２受光部３６、ゼロクロス検出部３７、コリメータレンズ３２、ビームスプリッター３３、ビームスプリッター３４および集光レンズ３５は、それぞれ、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおける第２受光部３６、ゼロクロス検出部３７、コリメータレンズ３２、ビームスプリッター３３、ビームスプリッター３４および集光レンズ３５と同様であるので、その説明を省略する。なお、これらコリメータレンズ３２、ビームスプリッター３３、ビームスプリッター３４および集光レンズ３５は、図２に示す上述の干渉計１１ａの場合と同様に配置される。

[0083] この位置測定用光源３１ｂは、予め設定された所定の線幅を持つレーザ光を放射する光源装置である。位置測定用光源３１ｂは、例えば、所定の線幅を持つレーザ光を放射する半導体レーザを備えて構成される。また例えば、位置測定用光源３１ｂは、単色レーザ光を放射するレーザ装置と、前記レーザ装置から放射された単色レーザ光を高周波重畳する高周波重畳装置とを備え、単色レーザ光を高周波重畳ことによって前記所定の線幅を持つレーザ光を放射するものである。前記所定の線幅は、干渉計１１ｂによって得られたレーザ光の干渉光における振幅の大きさが干渉計１１ｂの移動鏡１１５の移動に従って変化する程度の波長幅（周波数幅）である。なお、レーザ光が輝線である場合には、第１実施形態の説明で用いた図３（Ｄ）や図５に示すように、このレーザ光の干渉光における振幅の大きさが干渉計１１ａの移動鏡１１５の移動によって変化しない。このような所定の線幅を持つレーザ光は、一例を挙げると、図１２に示すように、中心波数１５１５１．５２／ｃｍに対し半値幅（ＦＷＨＭ）２．３／ｃｍであるガウス型のプロファイルを持つ。

[0084] この位置測定用光源１１ｂから射出されたレーザ光は、干渉計１１ｂへ入射され、このレーザ光の干渉光は、第２受光部３６で受光される。第２受光部３６は、レーザ光の干渉光の光強度に応じた電気信号をゼロクロス検出部３７および包絡線検波部３８のそれぞれへ出力する。

[0085] 包絡線検波部３８は、第２受光部３６から入力された、レーザ光の干渉光

の光強度に応じた電気信号の包絡線を検出する回路である。包絡線検波部３８は、種々の回路構成を採用することができるが、一例を挙げると、図１３に示すように、ダイオードＤと、ダイオードＤのカソード端子と接続されることでダイオードＤに直列に接続される抵抗素子Ｒと、抵抗素子Ｒに並列に接続されるコンデンサＣとを備えて構成され、直列接続のダイオードＤおよび抵抗素子Ｒの両端が入力端とされ、抵抗素子Ｒの両端が出力端とされる。包絡線検波部３８は、このような簡易な回路構成で包絡線を検波することができる。包絡線検波部３８は、この検出したレーザ光の干渉光の光強度に応じた電気信号の包絡線を制御演算部４１へ出力する。

[0086] 制御演算部４１ｂは、被測定光のスペクトルを求めるべく、フーリエ変換型分光計Ｄｂの各部を当該各部の機能に応じてそれぞれ制御するものである。そして、制御演算部４１ｂには、プログラムを実行することによって、機能的に、スペクトル演算部４１１ｂと、センターバースト位置演算部４１２とが構成される。

[0087] スペクトル演算部４１１ｂは、干渉計１１ｂで生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるものである。本実施形態では、例えば、このスペクトル演算部４１１ｂには、プログラムを実行することによって、機能的に、取出部４１１１と、検索部４１１２と、積算部４１１３と、演算部４１１４ｂが構成される。すなわち、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂにおけるスペクトル演算部４１１ｂは、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおけるスペクトル演算部４１１ａに対し、演算部４１１４ａに代え、演算部４１１４ｂが機能的に構成される。したがって、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂにおけるスペクトル演算部４１１ｂの取出部４１１１、検索部４１１２および積算部４１１３は、それぞれ、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおけるスペクトル演算部４１１ｂの取出部４１１１、検索部４１１２および積算部４１１３と同様であるので、その説明を省略する。

[0088] 演算部４１１４ｂは、積算部４１１３で生成された積算インターフェログラムを、センターバースト位置演算部４１２によって検出されたセンターバーストの位置に基づいてフーリエ変換を行うことによって被測定光のスペクトルを求めるものである。

[0089] センターバースト位置演算部４１２は、被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロである場合のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置を検出するものである。より具体的には、センターバースト位置演算部４１２は、本実施形態では、包絡線検波部３８で検波された包絡線の極大値を与える位置をセンターバーストの位置として検出するものである。このように本実施形態では、センターバーストの位置は、所定の線幅を持つレーザ光を干渉計１１ｂに入射させることによって得られた前記レーザ光の干渉光における光強度の包絡線を検波し、この検波された包絡線の極大値を与える位置を検出することによって求められる。

[0090] 次に、本実施形態の動作について説明する。図１４は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における干渉計の構成、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）および位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を説明するための図である。図１４（Ａ）は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における干渉計の構成を示し、図１４（Ｂ）は、模式的に描いた、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示し、そして、図１４（Ｃ）は、模式的に描いた、位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を示す。図１５は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示す図である。図１５（Ａ）は、全体を示し、図１５（Ｂ）は、ゼロレベル付近を示し、そして、図１５（Ｃ）は、センターバースト付近を示す。図１６は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計において、一例として、実測した位置測定用光源のレーザ光の干渉波形を示す図である。図１６（Ａ）は、全体を示し、図１６（Ｂ）は、端部付近を示し、そして、図１６（Ｃ）は、極大値付近を示す。図１７は、第２実施形態における取出部で取り出す所定範囲を説明するた

めの図である。図１７（Ａ）、（Ｂ）および（Ｃ）のそれぞれは、１回目、（ｎ－１）回目およびｎ回目（ｎは２以上の整数）の各測定における各測定結果を模式的に示す。

[0091] 測定が開始されると、フーリエ変換型分光計Ｄｂは、測定対象物体ＳＭから放射される被測定光を取り込む。被測定光は、干渉計１１ｂに入射され、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａの干渉計１１ａの場合と同様に、被測定光の干渉光となって第１受光部２１で受光される。なお、第２実施形態のフーリエ型分光計Ｄｂにおける干渉計１１ｂでは、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおける干渉計１１ａのように、第１被測定光は、位相補償板ＣＰを介することがない一方、第２被測定光は、第１位相差板１１３を介する。このように、フーリエ変換型分光計Ｄｂは、２個の第１および第２光路を通過する光の屈折の回数がそれぞれ異なるように、少なくとも一方の光路中に例えば透明基板から成る光学素子である第１位相差板１１３を備えている（図１１参照）。第１受光部２１は、この入射された被測定光の干渉光を光電変換してその出力の電気信号を増幅部２２へ出力し、そして、増幅部２２は、前記電気信号を増幅し、ＡＤ変換部２３へ出力する。一方、フーリエ変換型分光計Ｄｂは、位置測定用光源３１ｂから放射された所定の半幅を持つレーザ光も取り込む。このレーザ光は、ビームスプリッター３３を介して干渉計１１ｂに入射され、上述と同様に干渉計１１ｂで干渉し、レーザ光の干渉光となってビームスプリッター３４を介して第２受光部３６で受光される。第２受光部３６は、この入射されたレーザ光の干渉光を光電変換してその出力の電気信号をゼロクロス検出部３７および包絡線検波部３８のそれぞれへ出力する。ゼロクロス検出部３７は、前記電気信号のゼロクロスタイミングを検出してＡＤ変換部２３へ出力する。

[0092] このような被測定光およびレーザ光がそれぞれ干渉計１１ｂに取り込まれている間に、干渉計１１ｂの移動鏡１１５は、制御演算部４１ｂの制御に従って光軸方向に沿って移動される。

[0093] ＡＤ変換部２３は、増幅部２２からの前記電気信号を、ゼロクロス検出部

３７からのゼロクロスタイミングでサンプリングしてアナログ信号からディジタル信号へＡＤ変換し、このＡＤ変換したディジタル信号の前記電気信号を制御演算部４１ｂのスペクトル演算部４１１ｂへ出力する。

[0094] このように動作することによって、図１４（Ｂ）および図１５に示すようなインターフェログラムがＡＤ変換部２３から制御演算部４１ｂのスペクトル演算部４１１ｂに入力される。

[0095] ここで、第２実施形態におけるフーリエ変換型分光計Ｄｂによって生成されるインターフェログラムについて、位相補償板ＣＰによって位相補償された第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａによって生成されるインターフェログラムと対比して説明する。

[0096] 第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａは、上述したように、位相補償板ＣＰを備えているので、位相補償されるから、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａでは、被測定光の干渉光におけるインターフェログラムは、被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロとなり、図３（Ｃ）や図４に示すように、センターバーストが比較的明瞭で大きく、そして、サイドローブが小さいプロファイルとなる。

[0097] これに対し、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、この位相補償板ＣＰを備えず、さらに、第２光路のみに位相差板１１３を備えている。すなわち、第２実施形態における干渉計１１ｂは、被測定光の入射位置から干渉位置までの間に、複数の光学素子（図１０に示す例では半透鏡１１２、固定鏡１１４および移動鏡１１５）によって形成される２個の第１および第２光路を備え、これら２個の第１および第２光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合にこれら２個の第１および第２光路間の光路差がゼロとなるように前記複数の光学素子を配置した前記配置状態において前記光路間に位相差を持つ有位相差干渉計である。言い換えれば、有位相差干渉計は、位相補償板ＣＰを備えた干渉計１１ａのように仮に位相補償された場合において移動鏡１１４がセンターバーストの位置にある配置状態で、実際には、これら２個の第１および第２光路間に位相差を持つものである。このよう

に第２実施形態では、干渉計１１ｂは、有位相差干渉計であるので、一例として、図４と図１５とを比較すると分かるように、位相補償板ＣＰを備えた干渉計１１ａによるインターフェログラムに較べて、その振幅の大きさ（レベル）が小さくなる。例えば、位相補償板ＣＰを備えた干渉計１１ａによるインターフェログラムにおける最大振幅の大きさＹは、図４（Ｃ）に示すように、約３２００であるが、第２実施形態の干渉計１１ｂによるインターフェログラムにおける最大振幅の大きさＸは、図１５（Ｃ）に示すように、約１４００である（Ｘ＜Ｙ）。

[0098] したがって、同じビット数ＺのＡＤ変換器によってこれらインターフェログラムをＡＤ変換した場合に、一単位振幅レベルに割り当てられるＡ／Ｄカウントは、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂの方が第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａより多くなる。すなわち、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂにおけるインターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅をＸとし、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａにおけるインターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅をＹとする場合に、Ｘ＜Ｙであり、ＡＤ変換器のビット数をＺとする場合では、一単位振幅レベルに割り当てられるＡ／Ｄカウントは、$2^Z/X > 2^Z/Y$となり、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄの方が第１実施形態のフーリエ変換型分光計より多くなる。したがって、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂの方が第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａに較べて、ゼロレベル付近の電気信号に対して相対的により多くのＡ／Ｄカウントが割り当てられる（$2^Z/X > 2^Z/Y$）。このため、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、１個のＡＤ変換器でもインターフェログラムのゼロレベル付近における微小な信号もより高分解能で検出することができる。

[0099] 一方、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂでは、上述したように、干渉計１１ｂとして有位相差干渉計が用いられているので、例えば、一例として図１５（Ｂ）に示すように、センターバーストの位置が不明瞭である。そこで、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、このセンターバース

トの位置を、所定の線幅を持つレーザ光の干渉光における包絡線から求めている。

[0100] 第１実施形態と比較すると、第１実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄａでは、干渉計１１ａにおける移動鏡１１５の移動位置を検出してＡＤ変換のサンプリングタイミングを得るために、単色のレーザ光が用いられている。この単色レーザ光の干渉光における光強度は、図５（Ａ）、（Ｂ）および（Ｃ）に示すように、光路差０の位置でもサイドバンドの位置でも略一定の振幅である。この光路差０の位置は、被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロである場合のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置に対応する。

[0101] 一方、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂでは、前記単色レーザ光に代えて、所定の線幅を持つレーザ光が用いられている。このような所定の線幅を持つレーザ光の干渉光は、図１６に示すように、ゼロクロスタイミングは、単色レーザ光の場合と同様であるが、図１６（Ａ）、（Ｂ）および（Ｃ）に示すように、光路差０の位置でその振幅が最も大きく、サイドバンドの位置へ近づくに従ってその振幅が徐々に小さくなるプロファイルを持つ。したがって、所定の線幅を持つレーザ光の干渉光における光強度の包絡線を検波することによってセンターバーストの位置が検出可能である。より具体的には、包絡線検波部３８は、第２受光部３６から入力された、前記レーザ光の干渉光における光強度に応じた電気信号を包絡線検波し、その結果を制御演算部４１ｂのセンターバースト位置演算部４１２へ出力する。センターバースト位置演算部４１２は、包絡線検波部３８から入力された包絡線の極大値を検出し、この極大値を与える位置をセンターバーストの位置として求める。そして、センターバースト位置演算部４１２は、この求めたセンターバーストの位置をスペクトル演算部４１１へ出力する。

[0102] 以上の動作によって、スペクトル演算部４１１ｂには、被測定光のインターフェログラムがＡＤ変換部２３から入力され、センターバースト位置がセンターバースト位置演算部４１２から入力される。

[0103] そして、スペクトル演算部４１１ｂは、第１実施形態と同様の動作によって取出部４１１１、検索部４１１２および積算部４１１３で積算インターフェログラムを生成し、この被測定光の積算インターフェログラムを、この検出されたセンターバーストの位置に基づいてフーリエ変換、例えば高速フーリエ変換を行い、被測定光のスペクトルを求める。より具体的には、取出部４１１１は、干渉計１１ｂの出力から所定範囲ｉの測定データを取り出す場合に、例えば、１回目の測定では前記所定範囲ｉが上記式１で表され（図１７（Ａ）参照）、（ｎ－１）回目の測定では前記所定範囲ｉが上記式２で表され（図１７（Ｂ）参照）、そして、ｎ回目の測定では前記所定の範囲ｉが上記式３で表されるように（図１７（Ｃ）参照）、１回目の測定で取り出した範囲に対して測定回数に応じて今回（今般）取り出す所定範囲ｉを広げつつ、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量に応じて前記今回取り出す所定の範囲ｉの開始位置をシフトすることによって、この今回（今般）取り出す所定範囲ｉを設定し、干渉計１１ｂの出力からこの設定した所定範囲ｉの測定データを取り出す。次に、検索部４１１２は、これら取出部４１１１で取り出された各測定データ集合において、例えば上記式４（式４－１、式４－２）ないし式６（式６-１、式６－２）のいずれかを用いた上述の手法によって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。次に、積算部４１１３は、取出部４１１１で取り出された各測定データ集合において、検索部４１１２で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって積算インターフェログラムを生成する。次に、演算部４１１４ｂは、上記式８ないし式１０によって、前記被測定光の積算インターフェログラムを、前記検出されたセンターバーストの位置に基づいて高速フーリエ変換を行い、被測定光のスペクトルを求める。そして、この求めた被測定光のスペクトルは、出力部４３に出力される。

[0104] 以上、説明したように、第２実施形態におけるフーリエ変換型分光計Ｄｂおよびこれに実装されたフーリエ変換型分光方法は、干渉計１１ｂを構成す

る光学素子が仮想的な光路差ゼロの配置位置であっても位相差を有する有位相差干渉計である干渉計１１ｂによって被測定光の干渉光が生成されているので、そのインターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅Ｘは、前記位相補償した干渉計１１ａによって生成された被測定光の干渉光に対応するインターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅Ｙよりも小さくなる（Ｘ＜Ｙ）。このため、干渉光を受光して得られた電気信号をＺビットのＡＤ変換器でＡＤ変換する場合に、ゼロレベル付近の電気信号に対して相対的により多くのＡ／Ｄカウントが割り当てられる（2^Z／Ｘ＞2^Z／Ｙ）。したがって、第２実施形態におけるフーリエ変換型分光計Ｄｂおよびこれに実装されるフーリエ変換型分光方法は、ＡＤ変換器が用いられる場合に、１個のＡＤ変換器でもインターフェログラムのゼロレベル付近における微小な信号もより高分解能で検出することができる。

[0105] また、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、上述のように、Ｘ＜Ｙであるので、増幅部２２の増幅器として、スルーレートの比較的低いオペアンプ（入力信号に対する追従性の比較的遅いオペアンプ）を用いることができ、低ノイズアンプを用いることができる。増幅部２２の増幅器として低ノイズアンプ（ＬＮＡ）を用いることによって、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、いわゆるＳＮ比の向上を図ることができる。

[0106] また、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、半透鏡１１２の透過側に第１位相差板１１３をさらに備えるので、干渉計１１における第１および第２光路間の位相差をさらに大きくすることができる。この結果、本実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、インターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅Ｘを、後述の図１８（Ａ）に示す第１位相差板１１３を備えないで半透鏡１１２の透明基板で生じる位相差だけの有位相差干渉計によるインターフェログラムに較べて、より小さくすることができる。

[0107] また、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、所定の線幅を持つレーザ光の干渉光における光強度の包絡線を検波することによってセンターバ

ーストの位置を検出するので、例えば、図１３に示すような、より簡易な回路構成で検波回路を構成することができる。

[0108] また、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、レーザ光が所定の線幅を持つレーザ光とされ、センターバーストの位置を検出するための構成として、移動鏡１１２の位置を検出するための一部の構成が流用されている。より具体的には、位置測定用光源３１ｂから第２受光部３６までの構成が共用され、第２受光部３６の出力がゼロクロス検出部３７および包絡線検波部３８のそれぞれに出力される。このため、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂは、より少ない回路構成でセンターバーストの位置を検出することができる。

[0109] また、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂでは、位置測定用光源３１ｂとして、単色レーザ光を高周波重畳することによって所定の線幅を持つレーザ光を放射するレーザ装置、あるいは、所定の線幅を持つレーザ光を放射する半導体レーザが用いられる。このため、第２実施形態では、より簡易に前記所定の線幅を持つレーザ光を放射する位置測定用光源３１ｂが構成され得る。

[0110] 図１８は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における第２態様の干渉計の構成、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）および位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を説明するための図である。図１８（Ａ）は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における第２態様の干渉計の構成を示し、図１８（Ｂ）は、模式的に描いた、被測定光の干渉光の波形（インターフェログラム）を示し、そして、図１８（Ｃ）は、模式的に描いた、位置測定用光源のレーザ光の干渉光の波形を示す。図１９は、第２実施形態のフーリエ変換型分光計における第３態様の干渉計の構成を示す図である。

[0111] なお、上述の第２実施形態では、有位相差干渉計として、図１１や図１４（Ａ）に示すように、半透鏡１１２と移動鏡１１５との間に位相差板１１３を有する干渉計１１ｂ（第２実施形態における第１態様の干渉計１１ｂ）が用いられたが、これに限定されるものではなく、例えば、図１８に示す構成

の第２実施形態における第２態様の干渉計１１ｃや、図１９に示す構成の第２実施形態における第３態様の干渉計１１ｄであってもよい。

[0112] より具体的には、前記第２態様の干渉計１１ｃは、上述したように、半透鏡１１２が透明基板を備えるために半透鏡１１２自身が位相差を生じさせるので、図１８（Ａ）に示すように、前記第１態様の干渉計１１ｂにおける位相差板１１３を除いた構成である。このように、半透鏡面を一方主面に形成した透明基板を備える通常の半透鏡１１２を用いたごく一般的な構成のマイケルソン干渉計において、図３（Ａ）を用いて上述した位相補償を行うための位相補償板ＣＰを備えないことで、前記有位相差干渉計を簡単に構成することができる。すなわち、この第２態様の干渉計１１ｃは、図１８に示すように、半透鏡１１２と、固定鏡１１４と、光軸方向に移動する移動鏡１１５とを備え、被測定光を半透鏡１１２で２個の第１および第２被測定光に分岐して固定鏡１１４および移動鏡１１５にそれぞれ入射させ、固定鏡１１４で反射された第１被測定光および移動鏡１１５で反射された第２被測定光を半透鏡１１２で互いに干渉させるマイケルソン干渉計であって、半透鏡１１２は、透明基板と、前記透明基板の一方主面に形成された半透鏡面とを備えて構成されるものである。

[0113] このような前記第２態様の干渉計１１ｃによっても前記第１態様の干渉計１１ｂと同様の作用効果を奏するが、図１４（Ｂ）および（Ｃ）と図１８（Ｂ）および（Ｃ）とを対比すると分かるように、位相差板１１３をさらに備えるために、前記第１態様の干渉計１１ｂの方が前記第２態様の干渉計１１ｃよりも、被測定光の干渉光における最大振幅が小さく、また、レーザ光の干渉光における包絡線の振幅変化が大きい。このため、前記第１態様の干渉計１１ｂと前記第２態様の干渉計１１ｃとを比較する場合では、前記第１態様の干渉計１１ｂの方が有利である。

[0114] また、前記第３態様の干渉計１１ｄは、図１９に示すように、半透鏡１１２と、固定鏡１１４と、光軸方向に移動する移動鏡１１５とを備え、被測定光を半透鏡１１２で２個の第１および第２被測定光に分岐して固定鏡１１４

および移動鏡１１５にそれぞれ入射させ、固定鏡１１４で反射された第１被測定光および移動鏡１１５で反射された第２被測定光を半透鏡１１２で互いに干渉させるマイケルソン干渉計であって、半透鏡１１２は、透明基板と、前記透明基板の一方主面に形成された半透鏡面とを備える。そして、この第３態様の干渉計１１ｄは、前記被測定光を半透鏡１１２で２個の第１および第２被測定光に分岐する場合において、半透鏡１１２で反射された半透鏡１１２の反射側に配置される第２位相差板１１７をさらに備えており、この第２位相差板１１７は、半透鏡１１２で生じる位相差と異なる位相差を生じさせるものである。このような第２位相差板１１７は、例えば、半透鏡１１２の前記透明基板と同一の厚さであって半透鏡１１２の前記透明基板と異なる屈折率（屈折率特性）を持つ材料によって形成される。また例えば、第２位相差板１１７は、例えば、半透鏡１１２の前記透明基板と同一の屈折率（屈折率特性）を持つ材料（例えば同一の材料）によって半透鏡１１２の前記透明基板と異なる厚さで形成される。

[0115] このような前記第３態様の干渉計１１ｄは、半透鏡１１２の反射側に第２位相差板１１７をさらに備えるので、図１８（Ａ）に示す構成の前記第２態様の干渉計１１ｃに較べて、第１および第２光路間の位相差をさらに大きくすることができる。

[0116] なお、図１１および図１４（Ａ）に示す構成の前記第１態様の干渉計１１ｂにおいて、第２位相差板１１７をさらに備えて第２実施形態における第４態様の干渉計１１ｅ（図略）が構成されてもよい。

[0117] 図２０は、レーザ光の干渉光における包絡線に基づいてセンターバーストの位置を求める第２態様の方法を説明するための図である。図２０（Ａ）は、前記包絡線を示し、図２０（Ｂ）は、前記包絡線の差分波形を示す。図２１は、レーザ光の干渉光における包絡線に基づいてセンターバーストの位置を求める第３態様の方法を説明するための図である。図２０および図２１の横軸は、光路差（移動鏡１１５の位置）を示し、これらの縦軸は、レベルを示す。

[0118] また、上述の第２実施形態において、センターバースト位置演算部４１２は、包絡線検波部３８から入力された包絡線の極大値を、移動鏡１１２の移動（光路差の変化）に従って前記包絡線の振幅値（レベル）が増加から減少に転じた点で検出してもよいが、一例として、図２０（Ａ）に示すように前記包絡線が前記極大値付近では移動鏡１１２の移動（光路差の変化）に従って比較的緩やかに変化する場合には、前記点を精度よく検出することは容易ではない。このため、センターバースト位置演算部４１２は、包絡線検波部３８で検波された包絡線の差分情報に基づいて包絡線検波部３８で検波された包絡線の極大値を与える位置をセンターバーストの位置として検出してもよい。

[0119] より具体的には、センターバースト位置演算部４１２は、適宜な間隔で、包絡線上の２点間の差分を求める。例えば、図２０（Ａ）に示す包絡線に対し、この包絡線上の２点間の差分を求めて行くと、前記差分情報として、図２０（Ｂ）に示す差分のグラフが得られる。この差分のグラフにおいて、差分値が正値から負値へ転じるゼロクロス点が前記極大値を与える位置に対応するので、センターバースト位置演算部４１２は、この差分のグラフにおいて、差分値が正値から負値へ転じるゼロクロス点を求め、ゼロクロス点をセンターバーストの位置とすればよい。

[0120] ここで、差分を求める前記間隔が大きいほど、差分値が大きくなり、より精度よくゼロクロス点が検出可能となり、この結果、より精度よくセンターバーストの位置が検出可能となる。

[0121] また、このような差分を求める場合において、包絡線の測定結果を格納する記憶素子の記憶容量が制約されて前記間隔があまり大きく取れない場合や、ＡＤ変換部２３のビット数Ｚが少なくて分解能があまり大きくない場合では、前記差分は、ゼロクロス点付近では図２１に示すように、階段状になってしまう場合がある。このような場合では、ゼロクロス点付近の差分のグラフを最小２乗法によって直線近似し、この近似直線のゼロクロス点を求めることによって、センターバーストの位置が求められてもよい。

[0122] このような包絡線の差分情報を用いることによって、第２実施形態のフーリエ変換型分光計Ｄｂにおけるセンターバースト位置演算部４１２は、前記包絡線の極大値を与える位置をより精度よく検出することができ、仮に前記包絡線の変化が緩やかであるために前記包絡線の極大値が見分け難い場合であっても、前記包絡線の極大値を与える位置を検出することができる。

[0123] 本明細書は、上記のように様々な態様の技術を開示しているが、そのうち主な技術を以下に纏める。

[0124] 一態様にかかるフーリエ変換型分光計は、測定対象の被測定光が入射され、前記被測定光の入射位置から干渉位置までの間に２個の光路を形成する複数の光学素子を備え、前記複数の光学素子には、前記２個の光路間に光路差を生じさせる光路差形成光学素子が含まれる干渉計と、前記干渉計で生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるスペクトル演算部とを備え、前記スペクトル演算部は、前記干渉計の出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて前記取り出す所定範囲を設定し、前記干渉計の出力からこの設定した前記所定範囲の出力を取り出す取出部と、前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出部で取り出された各所定範囲の各出力において、同じ光路差の測定データを見つけ出す検索部と、前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出部で取り出された各所定範囲の各出力において、前記検索部で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって前記積算インターフェログラムを生成する積算部と、前記積算部で生成された前記積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求める演算部とを備える。

[0125] そして、他の一態様にかかるフーリエ変換型分光方法は、測定対象の被測

定光が入射され、前記被測定光の入射位置から干渉位置までの間に２個の光路を形成する複数の光学素子を備え、前記複数の光学素子には、前記２個の光路間に光路差を生じさせる光路差形成光学素子が含まれる干渉計と、前記干渉計で生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるスペクトル演算部とを備えるフーリエ変換型分光計に用いられるフーリエ変換型分光方法であって、前記被測定光のスペクトルを求める際に、前記干渉計の出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて前記取り出す所定範囲を設定し、前記干渉計の出力からこの設定した前記所定範囲の出力を取り出す取出工程と、前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出工程で取り出された各所定範囲の各出力において、同じ光路差の測定データを見つけ出す検索工程と、前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出工程で取り出された各所定範囲の各出力において、前記検索工程で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって前記積算インターフェログラムを生成する積算工程と、前記積算工程で生成された前記積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求める演算工程とを備える。

[0126] このようなフーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法では、前記干渉計の出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、この取り出す所定範囲は、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて設定される。このため、このような構成のフーリエ変換型分光計およびフーリエ変換型分光方法は、以前の位置合わせ情報が参酌されるから、インターフェログラム全体を完全に含む範囲の測定データをより適切に取り出すことができ、したがって、好適に複数のインターフェログ

ラムを積算することができる。

[0127] また、他の一態様では、上述のフーリエ変換型分光計において、前記取出部で用いられる前記位置合わせ情報は、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量である。

[0128] このようなフーリエ変換型分光計では、前記位置合わせ情報として、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量が用いられる。このため、このフーリエ変換型分光計は、今回より１つ前に測定されたインターフェログラムと今回測定されたインターフェログラムとではズレ量が小さい場合に好適に対応することができ、インターフェログラム全体を完全に含む範囲の測定データをより適切に取り出すことができ、したがって、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0129] また、他の一態様では、これら上述のフーリエ変換型分光計において、前記検索部は、１回目の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とにおいて、相互相関の最大値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。

[0130] このようなフーリエ変換型分光計では、相互相関によって同じ光路差の測定データが見つけ出されるので、より正確に同じ光路差の測定データを見つけ出すことができる。このため、このような構成のフーリエ変換型分光計は、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0131] また、他の一態様では、これら上述のフーリエ変換型分光計において、前記検索部は、１回目の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とにおいて、測定点についての差の２乗の和における最小値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。

[0132] このようなフーリエ変換型分光計では、差の２乗の和によって同じ光路差

の測定データが見つけ出されるので、より正確に同じ光路差の測定データを見つけ出すことができる。このため、このフーリエ変換型分光計は、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0133] また、他の一態様では、これら上述のフーリエ変換型分光計において、前記検索部は、１回目の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とにおいて、測定点についての差の絶対値の和における最小値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出す。

[0134] このようなフーリエ変換型分光計では、差の絶対値の和によって同じ光路差の測定データが見つけ出されるので、より簡易な情報処理で同じ光路差の測定データを見つけ出すことができる。

[0135] また、他の一態様では、これら上述のフーリエ変換型分光計において、前記被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロである場合のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置を検出するセンターバースト位置検出部をさらに備え、前記干渉計は、前記２個の光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合に前記２個の光路間の光路差がゼロとなるように前記複数の光学素子を配置した場合において実際には前記光路間に位相差を持つ有位相差干渉計であり、前記スペクトル演算部の前記演算部は、前記積算インターフェログラムを、前記センターバースト位置検出部によって検出されたセンターバーストの位置に基づいてフーリエ変換を行うことによって前記被測定光のスペクトルを求める。

[0136] このようなフーリエ変換型分光計では、有位相差干渉計によって被測定光の干渉光が生成されているので、そのインターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅Ｘは、前記位相差を補償した通常の干渉計によって生成された被測定光の干渉光に対応するインターフェログラムの１または複数のピークにおける最大の振幅Ｙよりも小さくなる（Ｘ＜Ｙ）。このため、干渉光を受光して得られた電気信号をアナログ信号からディジタル信号へ変換するＺビットのアナログーディジタル変換器（ＡＤ変換器）を用いる

場合に、ゼロレベル付近の電気信号に対して相対的により多くのＡ／Ｄカウントが割り当てられる（2^{Z}／Ｘ＞2^{Z}／Ｙ）。したがって、このようなフーリエ変換型分光計は、ＡＤ変換器が用いられる場合に、１個のＡＤ変換器でもインターフェログラムのゼロレベル付近における微小な信号もより高分解能で検出することができる。このため、このフーリエ変換型分光計は、より正確に同じ光路差の測定データを見つけ出すことができ、したがって、好適に複数のインターフェログラムを積算することができる。

[0137] この出願は、２０１１年４月５日に出願された日本国特許出願特願２０１１－８３７６９を基礎とするものであり、その内容は、本願に含まれるものである。

[0138] 本発明を表現するために、上述において図面を参照しながら実施形態を通して本発明を適切且つ十分に説明したが、当業者であれば上述の実施形態を変更および／または改良することは容易に為し得ることであると認識すべきである。したがって、当業者が実施する変更形態または改良形態が、請求の範囲に記載された請求項の権利範囲を離脱するレベルのものでない限り、当該変更形態または当該改良形態は、当該請求項の権利範囲に包括されると解釈される。

産業上の利用可能性

[0139] 本発明によれば、フーリエ変換分光計およびフーリエ変換分光方法を提供することができる。

請求の範囲

［請求項1］ 測定対象の被測定光が入射され、前記被測定光の入射位置から干渉位置までの間に２個の光路を形成する複数の光学素子を備え、前記複数の光学素子には、前記２個の光路間に光路差を生じさせる光路差形成光学素子が含まれる干渉計と、

前記干渉計で生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるスペクトル演算部とを備え、

前記スペクトル演算部は、

前記干渉計の出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて前記取り出す所定範囲を設定し、前記干渉計の出力からこの設定した前記所定範囲の出力を取り出す取出部と、

前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出部で取り出された各所定範囲の各出力において、同じ光路差の測定データを見つけ出す検索部と、

前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出部で取り出された各所定範囲の各出力において、前記検索部で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって前記積算インターフェログラムを生成する積算部と、

前記積算部で生成された前記積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求める演算部とを備えること

を特徴とするフーリエ変換型分光計。

［請求項2］ 前記取出部で用いられる前記位置合わせ情報は、１回目の測定におけるインターフェログラムのセンターバースト位置と前回の測定にお

けるインターフェログラムのセンターバースト位置とのズレ量であること

を特徴とする請求項１に記載のフーリエ変換型分光計。

［請求項3］ 前記検索部は、１回目の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とにおいて、相互相関の最大値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出すこと

を特徴とする請求項１に記載のフーリエ変換型分光計。

［請求項4］ 前記検索部は、１回目の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とにおいて、測定点についての差の２乗の和における最小値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出すこと

を特徴とする請求項１に記載のフーリエ変換型分光計。

［請求項5］ 前記検索部は、１回目の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とｎ回目（ｎは２以上の整数）の測定で前記取出部で取り出された所定範囲の出力とにおいて、測定点についての差の絶対値の和における最小値を求めることによって、同じ光路差の測定データを見つけ出すこと

を特徴とする請求項１に記載のフーリエ変換型分光計。

［請求項6］ 前記被測定光の各波長成分の初期位相差がゼロである場合のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置を検出するセンターバースト位置検出部をさらに備え、

前記干渉計は、前記２個の光路のそれぞれが仮に同一の媒質で形成されている場合に前記２個の光路間の光路差がゼロとなるように前記複数の光学素子を配置した場合において実際には前記光路間に位相差を持つ有位相差干渉計であり、

前記スペクトル演算部の前記演算部は、前記積算インターフェログ

ラムを、前記センターバースト位置検出部によって検出されたセンターバーストの位置に基づいてフーリエ変換を行うことによって前記被測定光のスペクトルを求めること

を特徴とする請求項１に記載のフーリエ変換型分光計。

［請求項7］ 測定対象の被測定光が入射され、前記被測定光の入射位置から干渉位置までの間に２個の光路を形成する複数の光学素子を備え、前記複数の光学素子には、前記２個の光路間に光路差を生じさせる光路差形成光学素子が含まれる干渉計と、前記干渉計で生成された前記被測定光のインターフェログラムを複数積算することによって得られた積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求めるスペクトル演算部とを備えるフーリエ変換型分光計に用いられるフーリエ変換型分光方法において、

前記被測定光のスペクトルを求める際に、

前記干渉計の出力から所定範囲の出力を取り出す場合に、今般の前記被測定光のインターフェログラムの測定よりも以前に測定された前記被測定光のインターフェログラムにおけるセンターバーストの位置合わせ情報に応じて前記取り出す所定範囲を設定し、前記干渉計の出力からこの設定した前記所定範囲の出力を取り出す取出工程と、

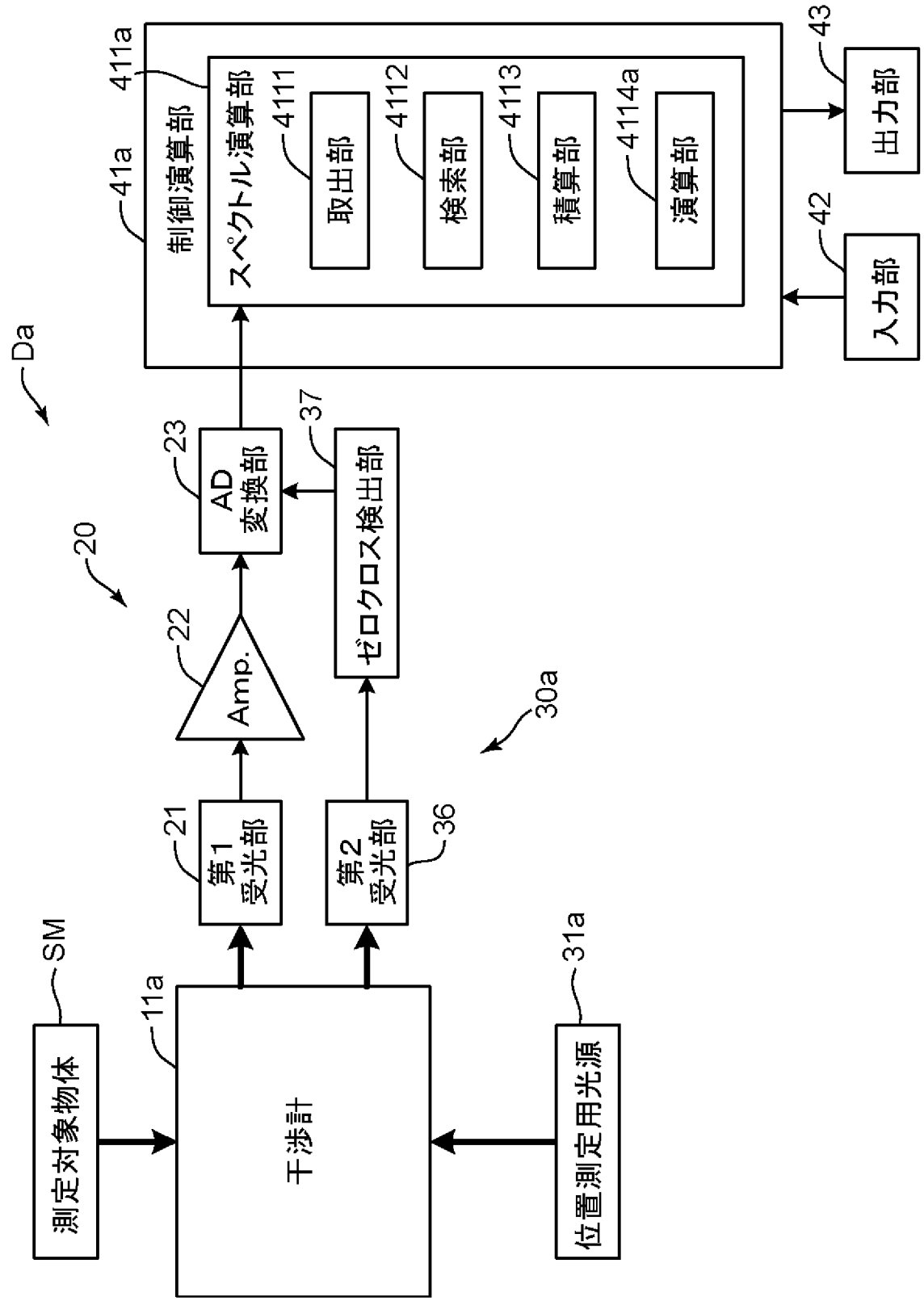
前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出工程で取り出された各所定範囲の各出力において、同じ光路差の測定データを見つけ出す検索工程と、

前記被測定光のインターフェログラムを複数積算するために前記取出工程で取り出された各所定範囲の各出力において、前記検索工程で見つけ出された同じ光路差の測定データ同士を足し合わせることによって前記積算インターフェログラムを生成する積算工程と、

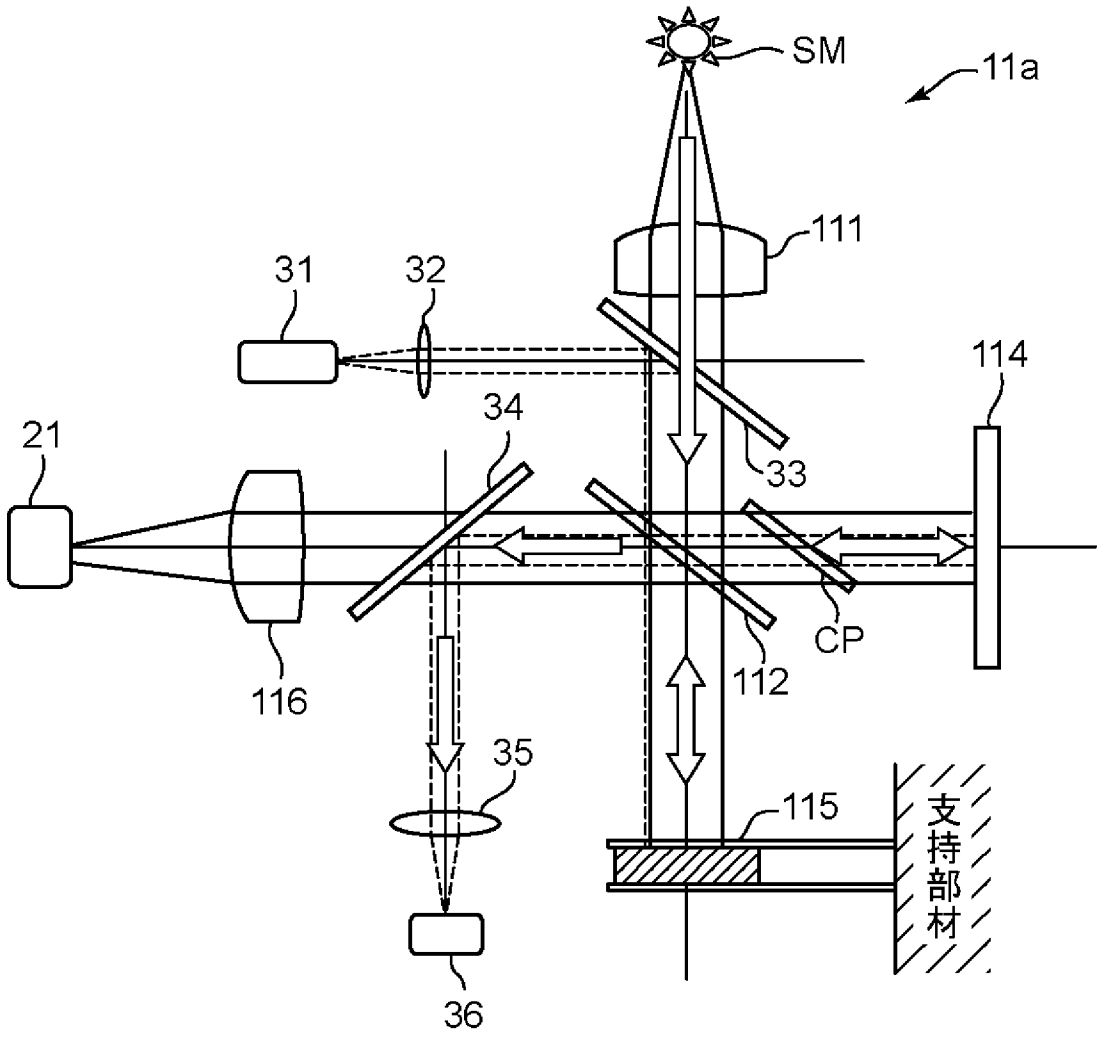
前記積算工程で生成された前記積算インターフェログラムをフーリエ変換することによって前記被測定光のスペクトルを求める演算工程とを備えること

を特徴とするフーリエ変換型分光方法。

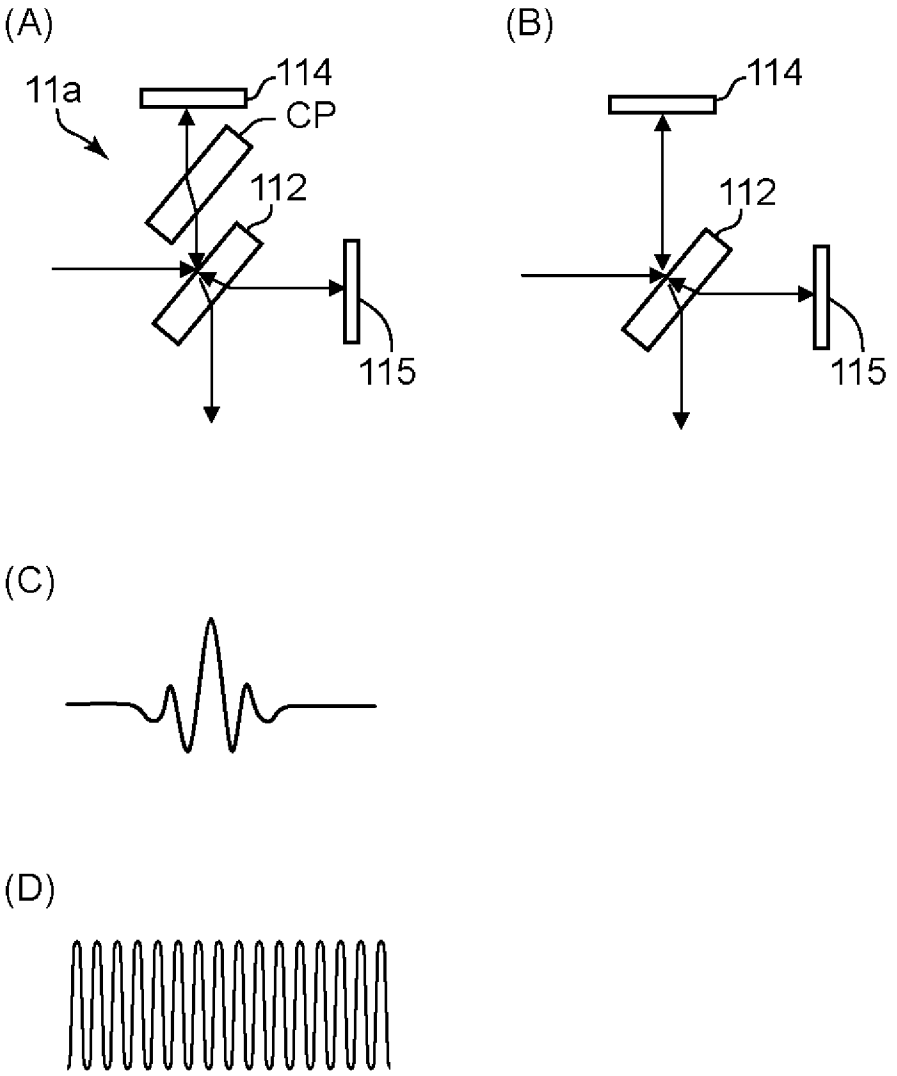
[図1]


Da
20
SM
測定対象物体
11a
干渉計
21
第1
受光部
22
Amp.
23
AD
変換部
41a
制御演算部
411a
スペクトル演算部
4111
取出部
4112
検索部
4113
積算部
4114a
演算部
43
出力部
42
入力部
36
第2
受光部
37
ゼロクロス検出部
30a
31a
位置測定用光源

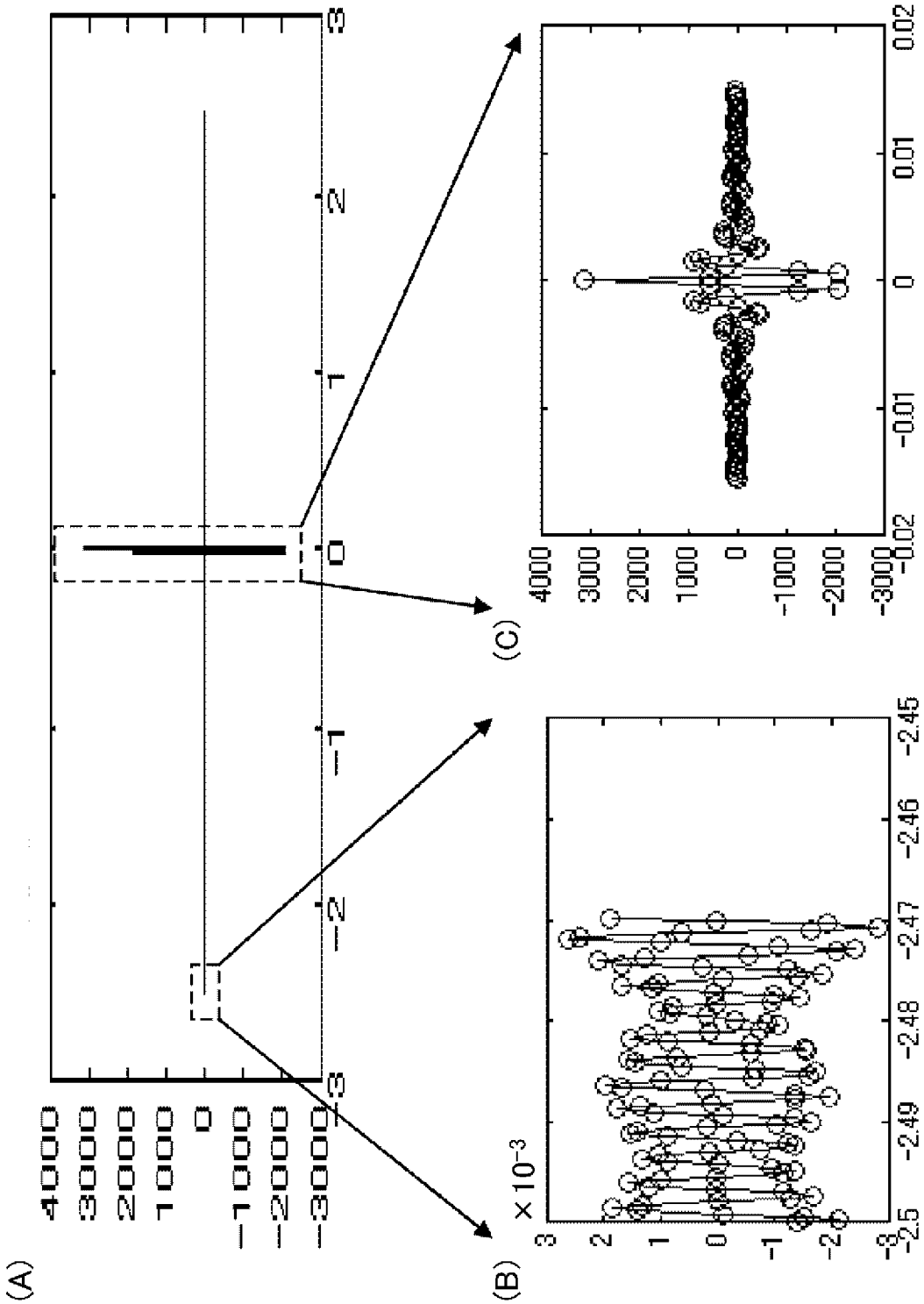
[図2]



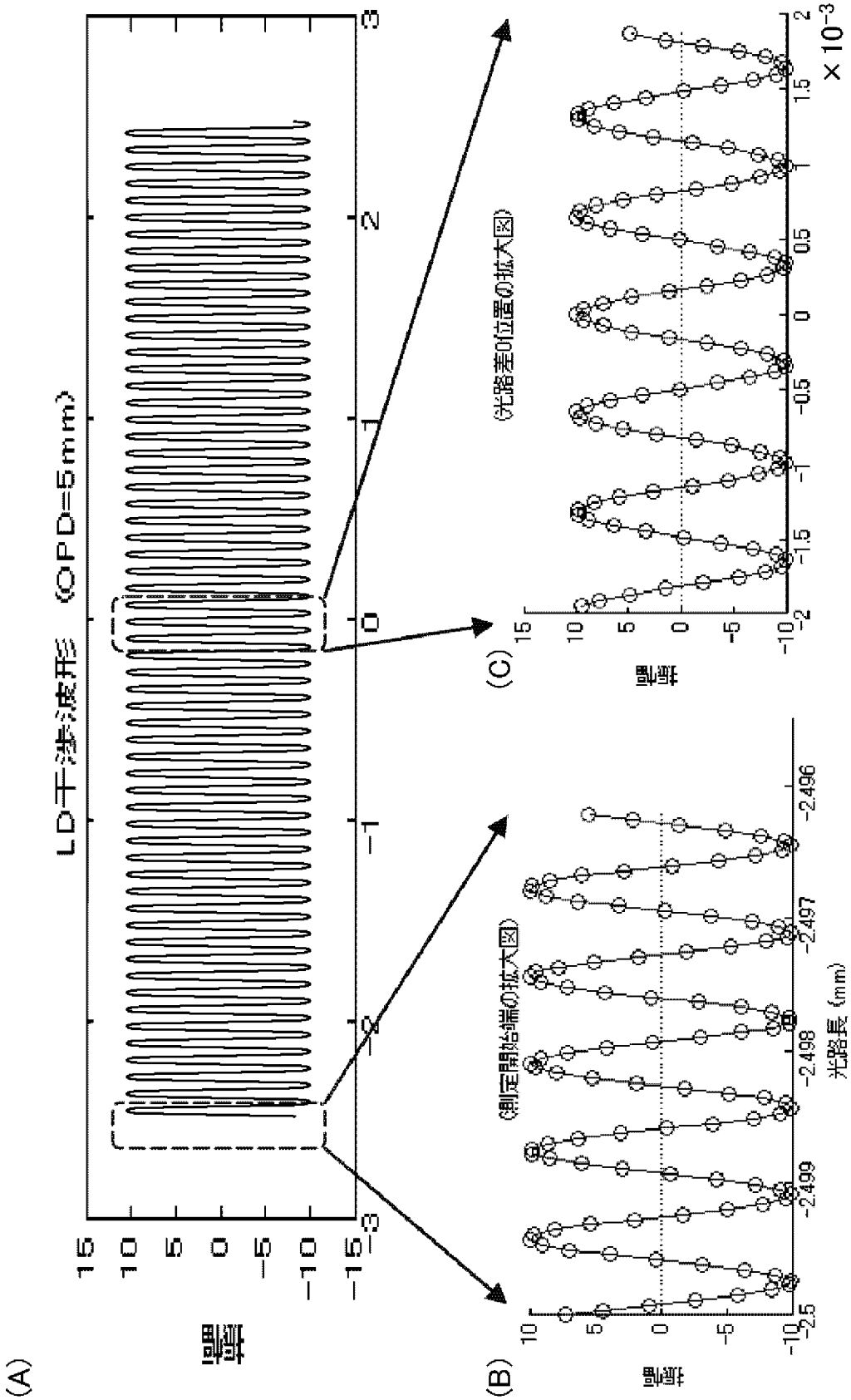
[図3]



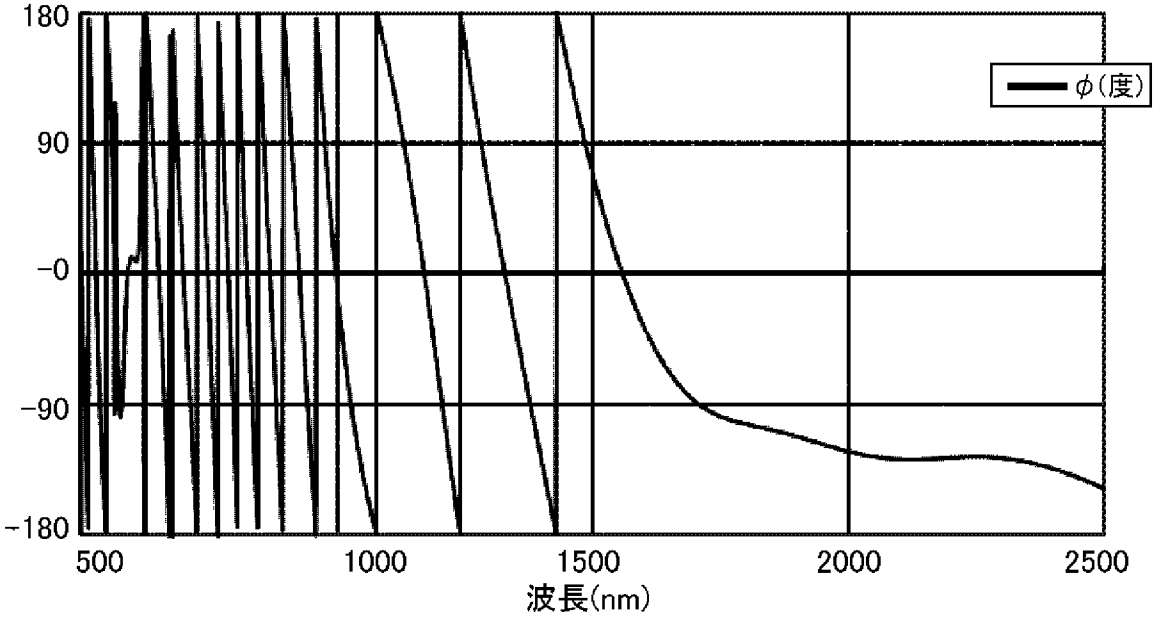
[図4]


(A)
4000
3000
2000
1000
0
−1000
−2000
−3000
−3
−2
−1
0
1
2
3
(B)
×10⁻³
3
2
1
0
-1
-2
-3
-2.5
-2.49
-2.48
-2.47
-2.46
-2.45
(C)
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02

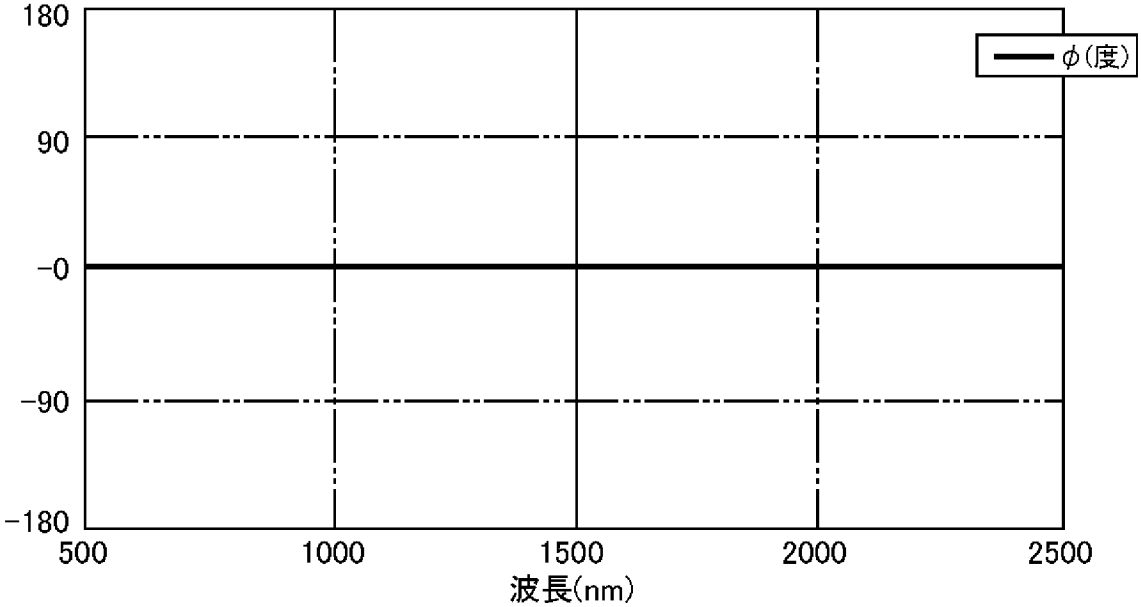
[図5]



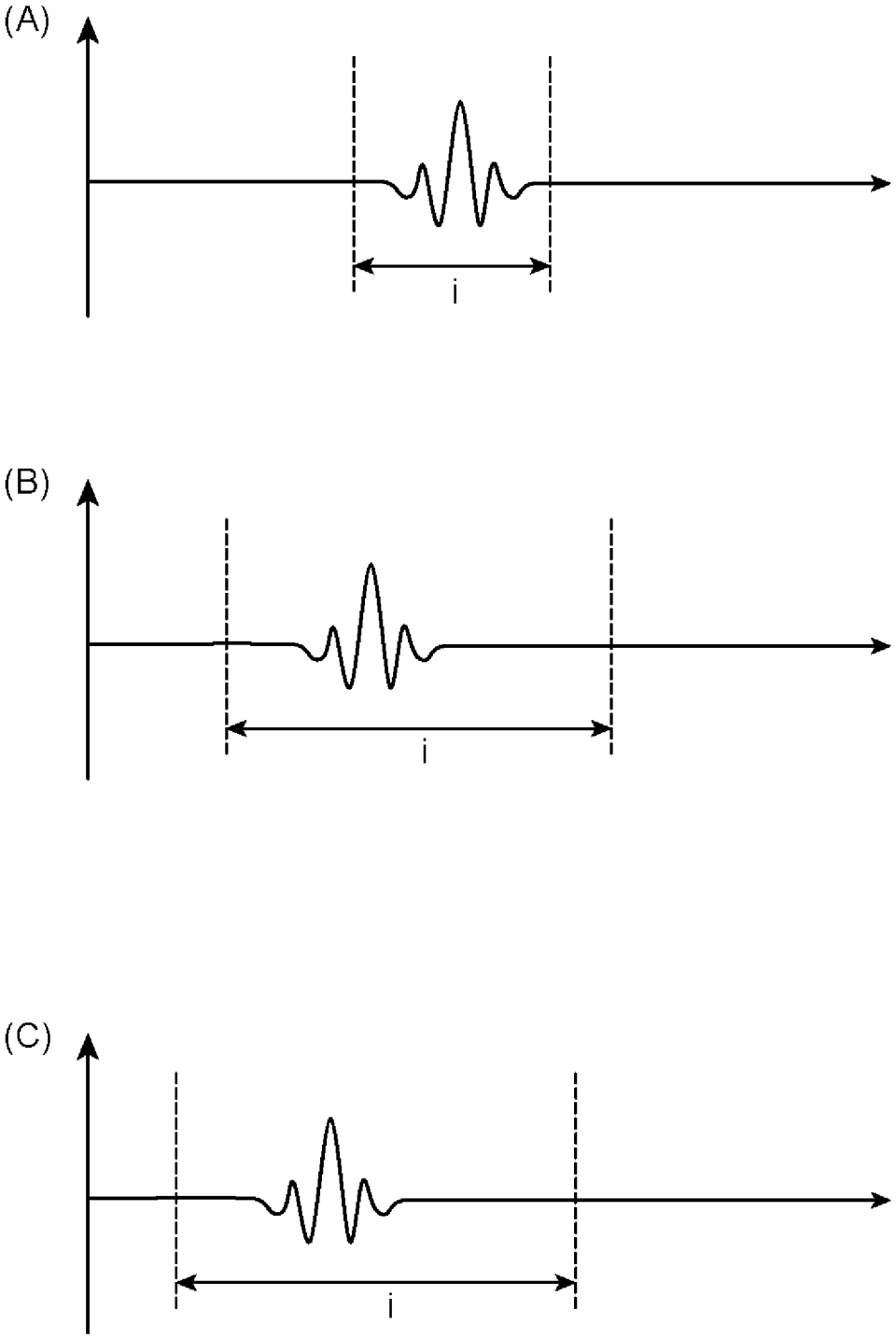
[図6]


180
90
-0
-90
-180
500
1000
1500
2000
2500
波長(nm)
φ(度)

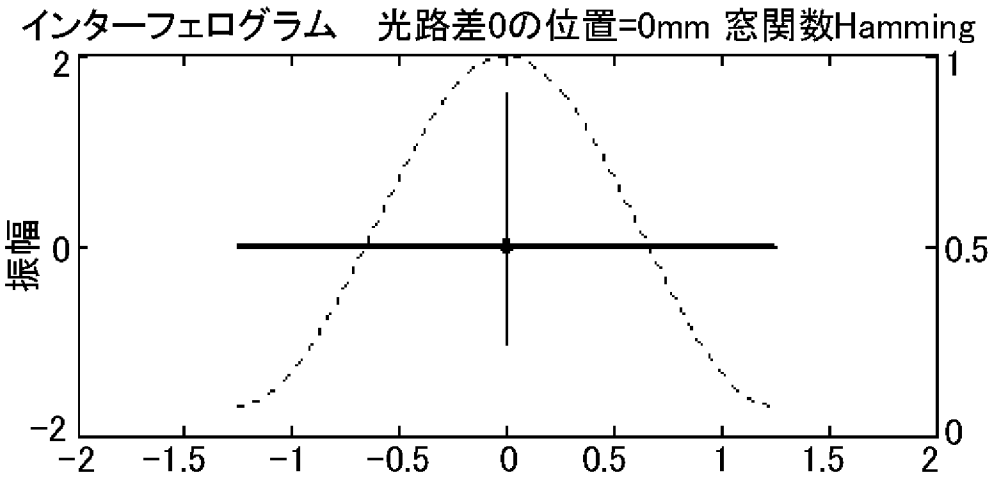
[図7]


180
90
-0
-90
-180
500
1000
1500
2000
2500
波長(nm)
φ(度)

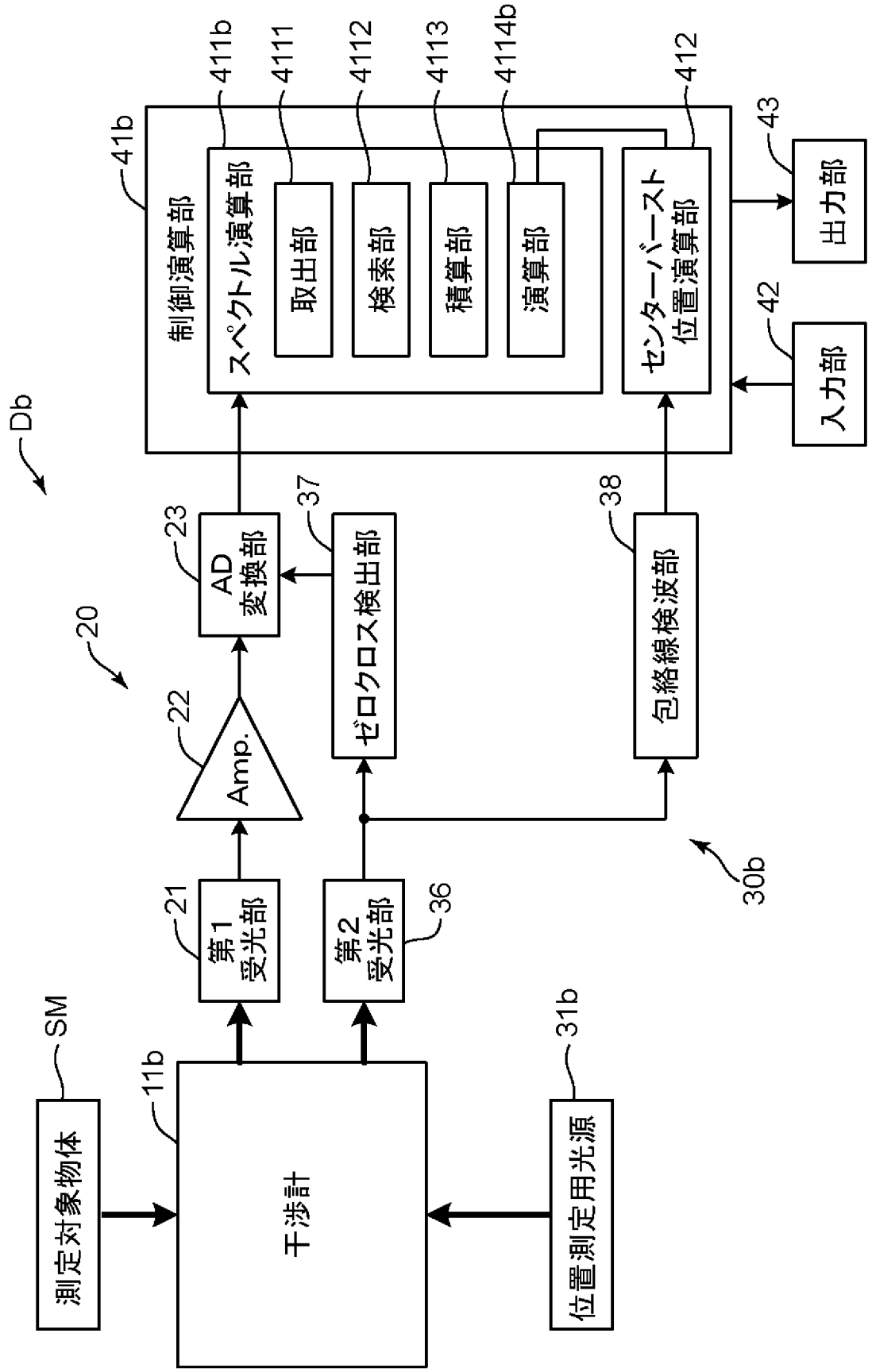
[図8]



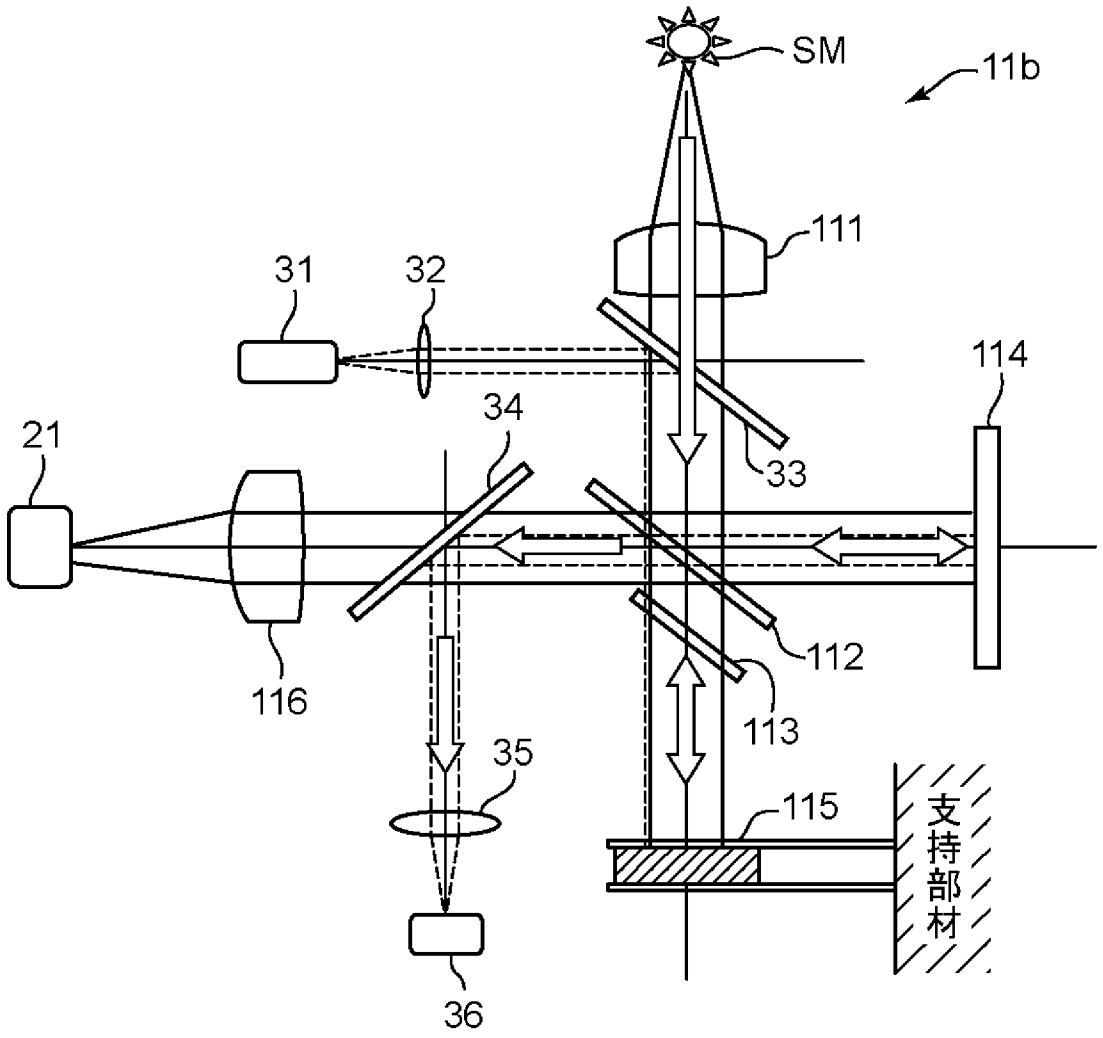
[図9]


インターフェログラム　光路差0の位置=0mm 窓関数Hamming
振幅
2
0
−2
1
0.5
0
−2
−1.5
−1
−0.5
0
0.5
1
1.5
2

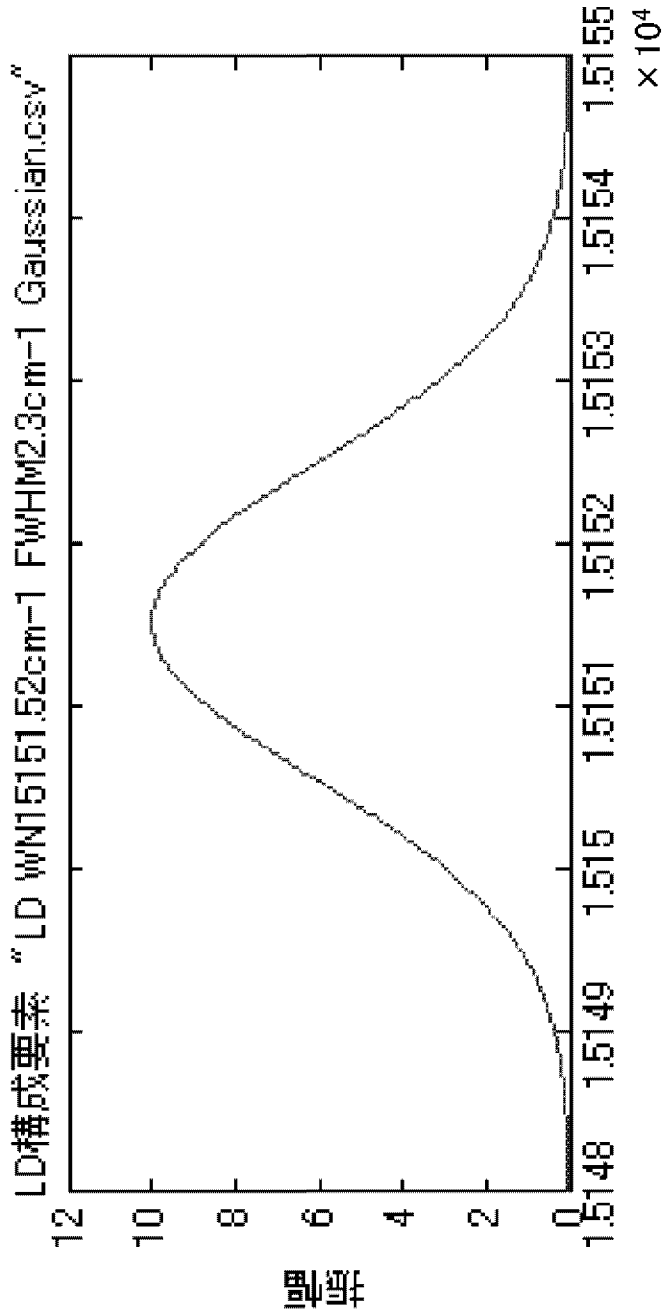
[図10]


Db
20
41b
制御演算部
411b
スペクトル演算部
4111
取出部
4112
検索部
4113
積算部
4114b
演算部
412
センターバースト位置演算部
43
出力部
42
入力部
23
AD変換部
37
ゼロクロス検出部
38
包絡線検波部
22
Amp.
30b
21
第1受光部
36
第2受光部
SM
測定対象物体
11b
干渉計
31b
位置測定用光源

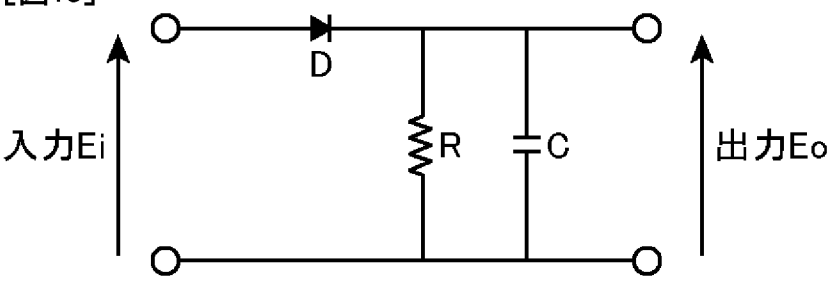
[図11]



[図12]

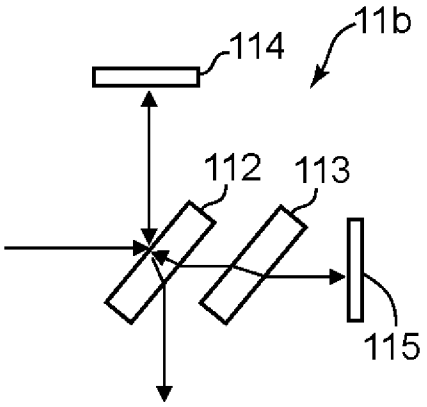

LD構成要素 "LD WN15151.52cm-1 FWHM2.3cm-1 Gaussian.csv"
振幅
12
10
8
6
4
2
0
1.5148
1.5149
1.515
1.5151
1.5152
1.5153
1.5154
1.5155
×10^4

[図13]


入力Ei
D
R
C
出力Eo

[図14]

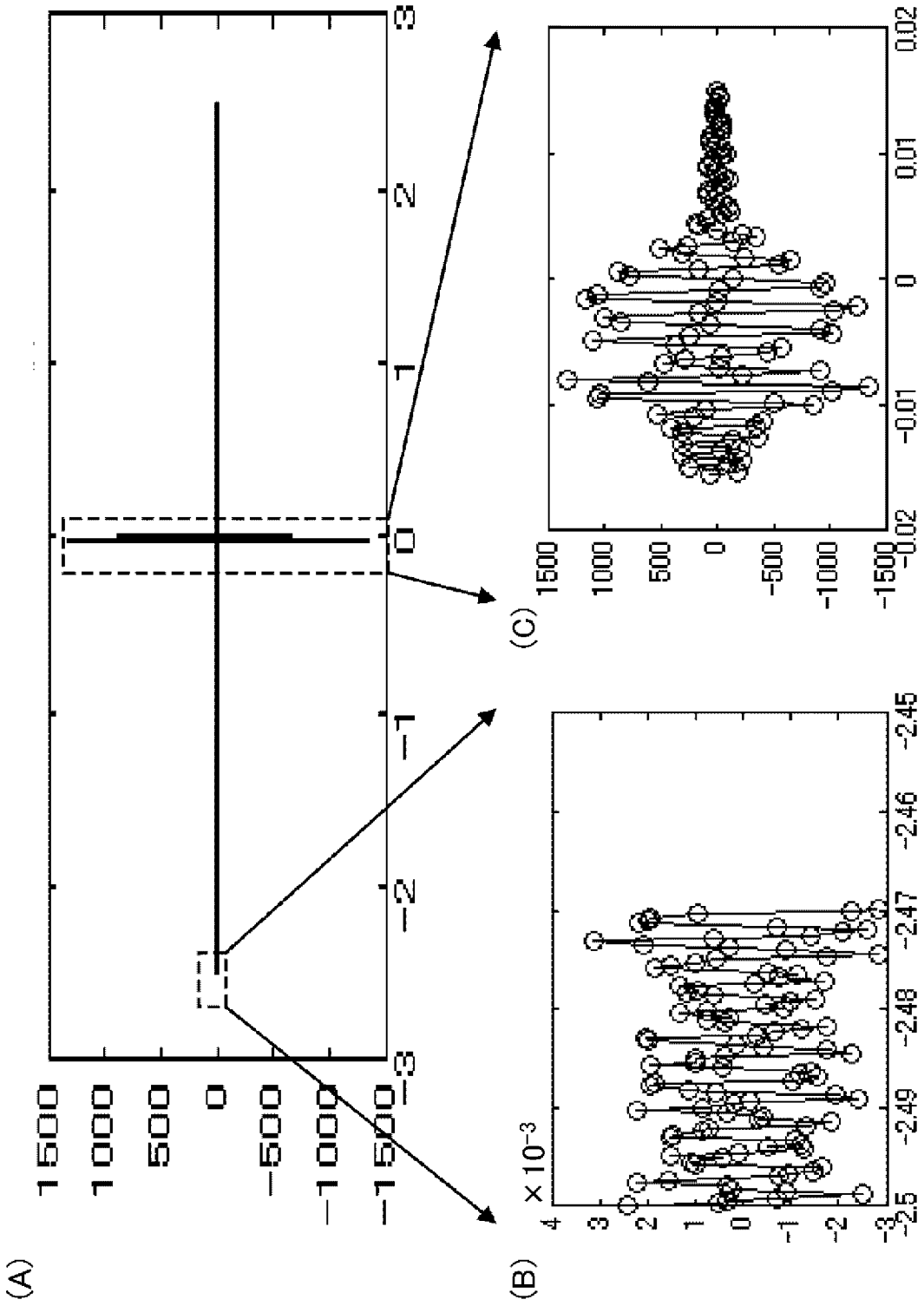
(A)



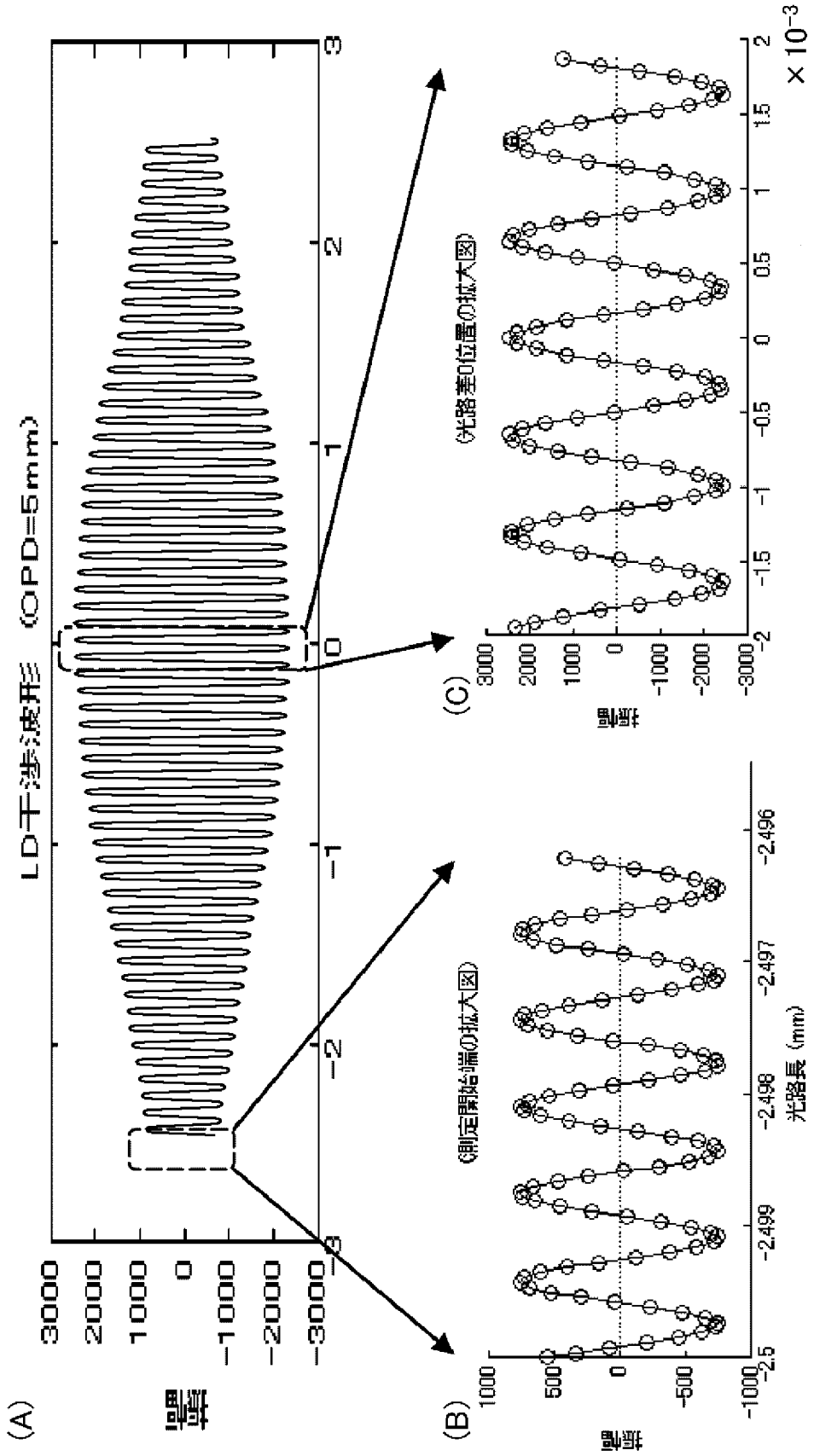
(B)

(C)

[図15]

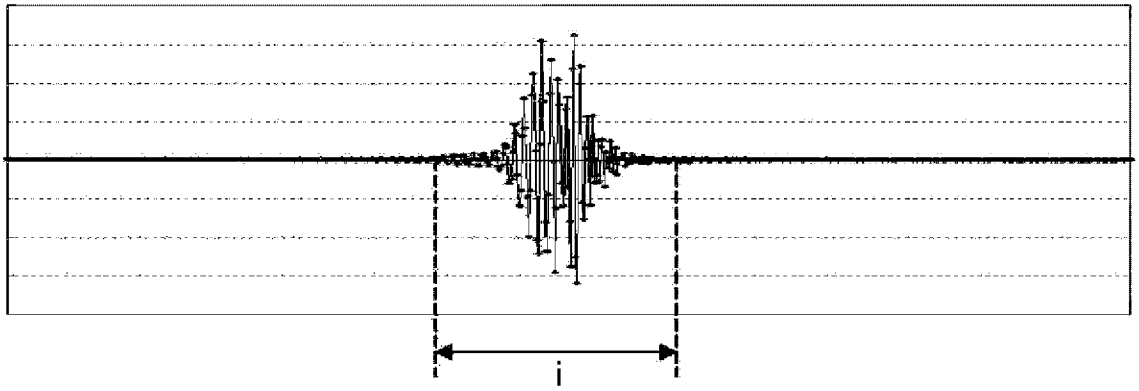

(A)
1500
1000
500
0
−500
−1000
−1500
−3
−2
−1
0
1
2
3
(B)
×10⁻³
4
3
2
1
0
−1
−2
−3
−2.5
−2.49
−2.48
−2.47
−2.46
−2.45
(C)
1500
1000
500
0
−500
−1000
−1500
−0.02
−0.01
0
0.01
0.02

[図16]

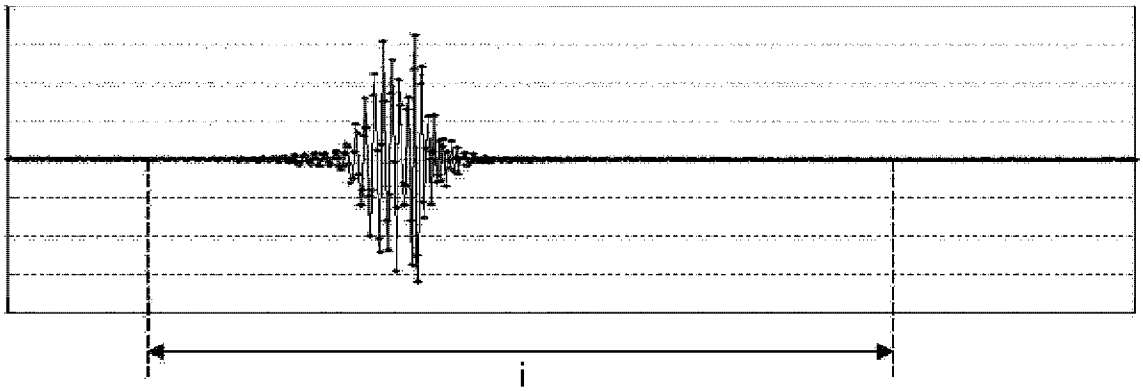


[図17]

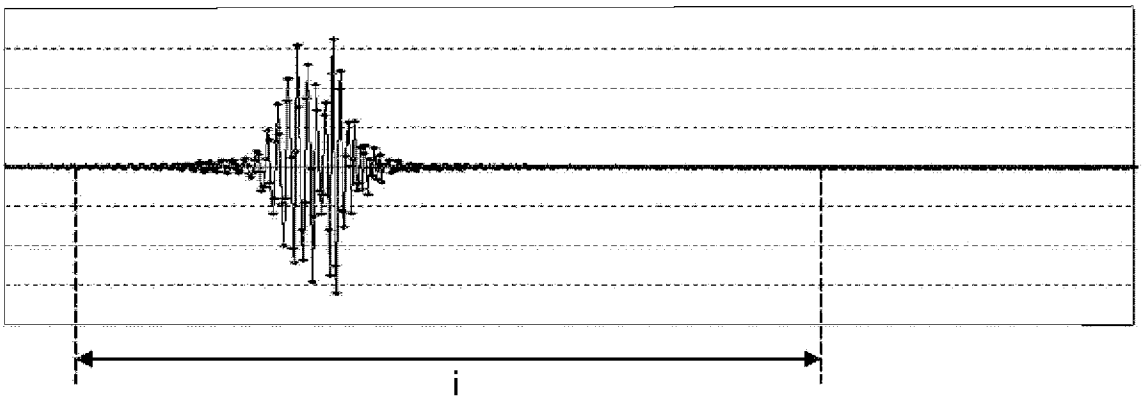
(A)



(B)

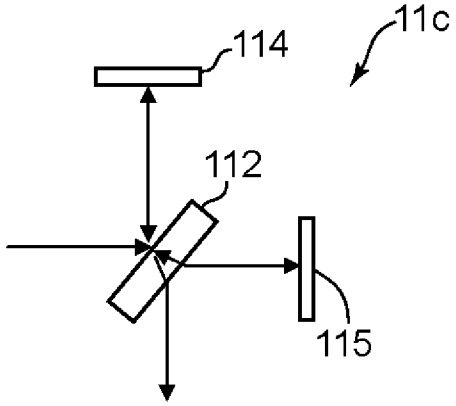


(C)



[図18]

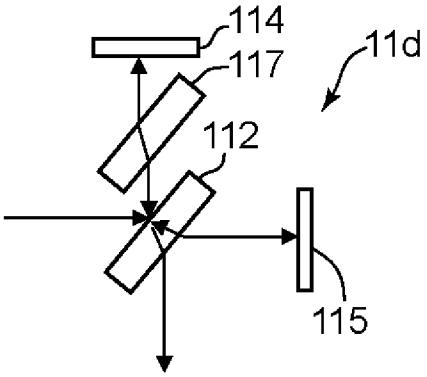
(A)



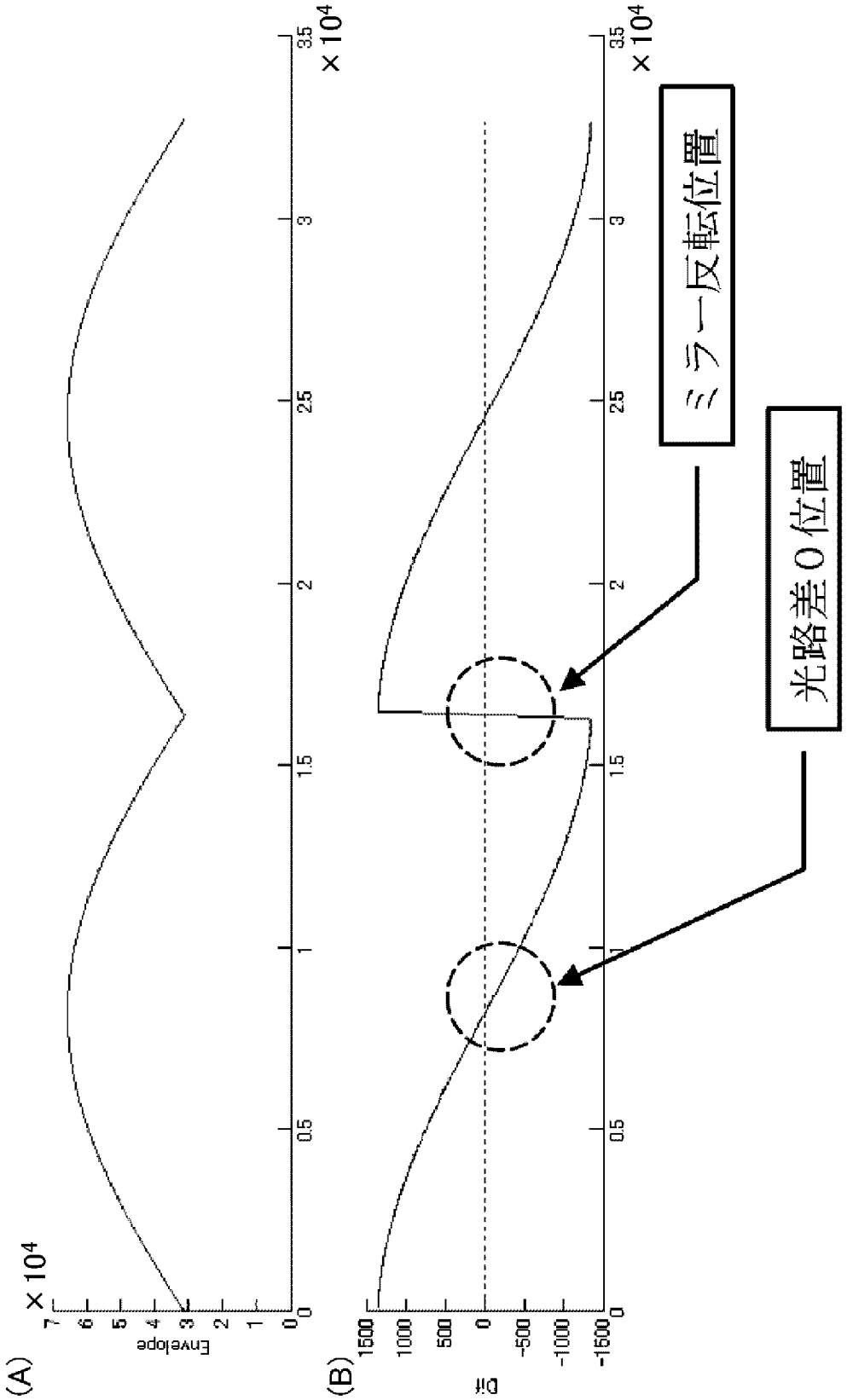
(B)

(C)

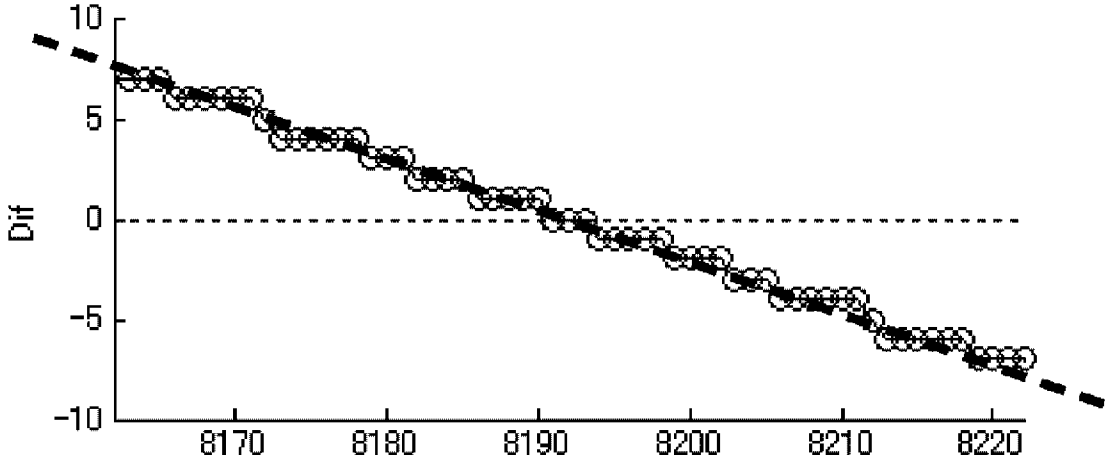
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/002288

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01J3/45(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)
G01J3/00-G01J3/52, G01N21/00-G01N21/61

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
WPI, JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2008-134133 A (Shimadzu Corp.), 12 June 2008 (12.06.2008), paragraphs [0001], [0014] to [0015], [0020] to [0021], [0031], [0037]; fig. 1 to 3	1-3,7 4-6
A	JP 10-090065 A (Kurabo Industries Ltd.), 10 April 1998 (10.04.1998), paragraph [0030]; fig. 1	1,7
Y	JP 62-038324 A (Shimadzu Corp.), 19 February 1987 (19.02.1987), claims; page 3, lower left column to lower right column; fig. 2	4-5

☒ 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 17 April, 2012 (17.04.12)	Date of mailing of the international search report 01 May, 2012 (01.05.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/002288

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2004/0136006 A1 (ABBINK, RE), 15 July 2004 (15.07.2004), fig. 6a; paragraph [0027]	6

JP 2008-134133 A	2008.06.12	JP 4830815 B2	2011.12.07
		US 2008/315103 A1	2008.12.25
		US 7535004 B2	2009.05.19
JP 10-090065 A	1998.04.10	(Family: none)	
JP 62-038324 A	1987.02.19	JP 6-068458 B	1994.08.31
US 2004/136006 A1	2004.07.15	AU 2003293461 A1	2004.08.13
		AU 2003296344 A8	2004.08.13
		AU 2003296344 A1	2004.08.13
		EP 1590624 A1	2005.11.02
		EP 1590624 A4	2007.08.01
		EP 1590625 A2	2005.11.02
		EP 1590625 A4	2007.08.01
		US 6952266 B2	2005.10.04
		US 2005/002039 A1	2005.01.06
		US 6989901 B2	2006.01.24
		US 2005/270539 A1	2005.12.08
		US 7388669 B2	2008.06.17
		WO 2004/065894 A2	2004.08.05
		WO 2004/065894 A3	2004.09.23
		WO 2004/065898 A1	2004.08.05

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／００２２８８

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

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.　G01J 3/00 - G01J 3/52, G01N 21/00 - G01N 21/61

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	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２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）

WPI, JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)

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
X	JP 2008-134133 A (株式会社島津製作所) 2008.06.12	1-3,7
Y	[0001],[0014]-[0015],[0020]-[0021],[0031],[0037], 図1-3	4-6
A	JP 10-090065 A (倉敷紡績株式会社) 1998.04.10, [0030], 図1	1,7
Y	JP 62-038324 A (株式会社島津製作所) 1987.02.19 特許請求の範囲, 第3頁左下欄－右下欄, 第2図	4-5

☑　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

「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

「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

「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）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１７．０４．２０１２	０１．０５．２０１２

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	2W	２９１０
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	髙場　正光 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９２		

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
Y	US 2004/0136006 A1 (ABBINK, RE) 2004.07.15 Fig.6a, [0027]	6

JP 2008-134133 A	2008.06.12	JP 4830815 B2	2011.12.07
		US 2008/315103 A1	2008.12.25
		US 7535004 B2	2009.05.19
JP 10-090065 A	1998.04.10	（ファミリーなし）	
JP 62-038324 A	1987.02.19	JP 6-068458 B	1994.08.31
US 2004/136006 A1	2004.07.15	AU 2003293461 A1	2004.08.13
		AU 2003296344 A8	2004.08.13
		AU 2003296344 A1	2004.08.13
		EP 1590624 A1	2005.11.02
		EP 1590624 A4	2007.08.01
		EP 1590625 A2	2005.11.02
		EP 1590625 A4	2007.08.01
		US 6952266 B2	2005.10.04
		US 2005/002039 A1	2005.01.06
		US 6989901 B2	2006.01.24
		US 2005/270539 A1	2005.12.08
		US 7388669 B2	2008.06.17
		WO 2004/065894 A2	2004.08.05
		WO 2004/065894 A3	2004.09.23
		WO 2004/065898 A1	2004.08.05