

(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5月3日(03.05.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/056813 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 3/45 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/070208
- (22) 国際出願日: 2011年9月6日(06.09.2011)
- (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 2010-242411 2010年10月28日(28.10.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): コニカミノルタホールディングス株式会社(Konica Minolta Holdings, Inc.) [JP/JP]; 〒1000005 東京都千代田区丸の内1-6-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平尾 祐亮 (HIRAO Yusuke) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町1番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 佐野 静夫(SANO Shizuo); 〒5400032 大阪府大阪市中央区天満橋京町2-6天満橋八千代ビル別館 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, 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

[続葉有]

(54) Title: INTERFEROMETER AND FOURIER-TRANSFORM SPECTROSCOPIC ANALYZER

(54) 発明の名称: 干渉計およびフーリエ変換分光分析装置

[図1]

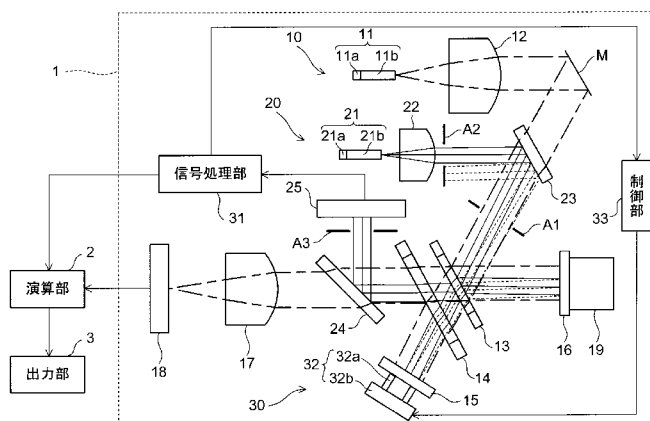


FIG. 1:
 2 OPERATION UNIT
 3 OUTPUT UNIT
 31 SIGNAL PROCESSING UNIT
 33 CONTROL UNIT

(57) Abstract: An interferometer (1) measures a measuring interference beam, while detecting the position of a moving mirror (16) on the basis of detection results obtained from a reference beam detector (25). In the interferometer, a reference beam source (21) is configured by including a light source (21a) composed of a semiconductor laser device. A reference optical system (20) has a collimating optical system (22) for a reference beam, said collimating optical system converting a laser beam outputted from the reference beam source (21) into a collimated beam, and the collimated beam is diagonally inputted to a fixed mirror (15).

(57) 要約: 参照光検出器(25)での検出結果に基づいて移動鏡(16)の位置を検知しながら、測定干渉光を計測する干渉計(1)において、参照光源(21)は、半導体レーザからなる光源(21a)を含んで構成される。参照光学系(20)は、参照光源(21)から出射されるレーザ光をコリメート光に変換する参照光用コリメート光学系(22)を有しており、上記コリメート光は、固定鏡(15)に対して斜めに入射する。



WO 2012/056813 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称： 干渉計およびフーリエ変換分光分析装置

技術分野

[0001] 本発明は、マイケルソン型の干渉計と、その干渉計を備えたフーリエ変換分光分析装置とに関するものである。

背景技術

[0002] FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) に利用されるマイケルソン2光束干渉計では、光源から発した赤外光をビームスプリッタで固定鏡および移動鏡の2方向に分割し、その固定鏡および移動鏡でそれぞれ反射して戻ってきた光を上記ビームスプリッタで1つの光路に合成するという構成が採用されている。移動鏡を前後に（入射光の光軸方向に）移動させると、分割された2光束の光路差が変化するため、合成された光はその移動鏡の移動量に応じて光の強度が変化する測定干渉光（インターフェログラム）となる。このインターフェログラムをサンプリングし、AD変換およびフーリエ変換することにより、入射光のスペクトル分布を求めることができ、このスペクトル分布から、波数（1/波長）ごとの測定干渉光の強度を求めることができる。

[0003] 上記のインターフェログラムは、移動鏡と固定鏡との位相差、すなわち、移動鏡での反射光と固定鏡での反射光との光路差の関数で示されることから、測定干渉光の強度を求めるにあたっては、移動鏡の位置を常に監視する必要がある。そこで、通常は、赤外光を出射する光源とは別に、He-Neレーザなどの参照光源を用いて移動鏡の位置を監視している。具体的には、参照光源から出射される参照光をビームスプリッタで分離して移動鏡および固定鏡に導き、移動鏡および固定鏡で反射される各光をビームスプリッタで合成し、参照干渉光として位置検出用の参照光検出器に導く。参照干渉光の強度は、移動鏡の位置に応じて変化するので、参照光検出器にて参照干渉光の強度変化を検出することにより、移動鏡の位置を求めることが可能となる。

[0004] ところで、上記のビームスプリッタは、所定の分岐比（例えば50：50）で入射光を2光束に分離するものであるため、ビームスプリッタで分離されて固定鏡に入射した参照光が固定鏡で反射された後、再度ビームスプリッタに入射したときに、入射光の一部は参照光検出器の方向に反射されるものの、残りの光はビームスプリッタを透過し、参照光源側に戻る戻り光となる。戻り光が参照光源に入射すると、ハーモニック共振を起こしてレーザの発振が不安定となり、モードホップ現象によって参照光検出器からの出力波形が変化し、結果的に、移動鏡の位置を求めることができなくなる。

[0005] この点に関して、例えば特許文献1では、参照光源の光出射側に、入射光束の広がり角を拡大するレンズを配置している。この構成では、参照光源に戻る光の量が拡大レンズによって減らされ、これによって、ハーモニック共振の影響を低減し、移動鏡の位置検知の精度の向上を図っているものと思われる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平2-253103号公報（第3頁右上欄第14行～第17行、第5頁左下欄第14行～第20行参照）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところが、特許文献1では、参照光源としてHe-Neレーザを用いている。He-Neレーザは大型であり、波長の安定性を維持するために小型化することが困難である。つまり、特許文献1のように、参照光源としてHe-Neレーザを用いる構成では、装置自体が大型化する。

[0008] しかも、戻り光の量を減らすべく、参照光源の光出射側に拡大レンズを配置する必要があるため、拡大レンズを用いない構成に比べて部品点数が増大する。温度や衝撃振動に対する感度は各部品ごとに異なるため、部品点数の増大は、光学系全体での誤差を生じやすい。したがって、拡大レンズを用い

ることなく（すなわちコリメート光を利用しながら）、参照光源に戻り光が入射するのを回避する構成が望まれる。

[0009] 本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、その目的は、参照光源としてHe-Neレーザを用いない小型の構成で、かつ、拡大レンズを用いることなく、参照光源への戻り光を除去することができ、これによって参照光検出器での検出結果に基づく移動鏡の位置検知を安定して行うことができる干渉計と、その干渉計を備えたフーリエ変換分光分析装置とを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の干渉計は、測定光をビームスプリッタで分離して移動鏡および固定鏡に導き、前記移動鏡および前記固定鏡にて反射された各光を前記ビームスプリッタで合波し、合波して得られた測定干渉光を測定光検出器に導く測定光学系と、参照光源からの参照光を前記ビームスプリッタで分離して前記移動鏡および前記固定鏡に導き、前記移動鏡および前記固定鏡にて反射された各光を前記ビームスプリッタで合波し、合波して得られた参照干渉光を参照光検出器に導く参照光学系とを備え、前記参照光検出器での検出結果に基づいて前記移動鏡の位置を検知しながら、前記測定干渉光を計測する干渉計であって、前記参照光源は、半導体レーザ、または前記半導体レーザから出射されるレーザ光を導波路またはファイバを介して射出するレーザ光源で構成されており、前記参照光学系は、前記参照光源から出射されるレーザ光をコリメート光に変換する参照光用コリメート光学系を有しており、前記コリメート光は、前記固定鏡に対して斜めに入射することを特徴としている。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、参照光源は、He-Neレーザに比べて小型の半導体レーザやレーザ光源からなり、コリメート光学系を用いる場合でも、小型のコリメート光学系を用いることができるので、小型の干渉計を実現することができる。

[0012] また、上記のコリメート光は固定鏡に対して斜めに入射するので、固定鏡

で反射された参照光がビームスプリッタを介して参照光源側に戻ってきたとしても、その戻り光が、参照光源に入射するのを回避することができる。したがって、従来のように拡大レンズを用いることなく、コリメート光を利用したまま、参照光源でのレーザの発振が不安定になるのを回避して、参照光検出器での検出結果に基づく移動鏡の位置検知を安定して行うことができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の実施の一形態のフーリエ変換分光分析装置の概略の構成を模式的に示す説明図である。

[図2]上記フーリエ変換分光分析装置に適用される干渉計の参照光検出器の概略の構成を示す平面図である。

[図3]上記参照光検出器での検出結果に基づいて出力される位相信号を示す説明図である。

[図4]上記フーリエ変換分光分析装置の他の構成を模式的に示す説明図である。

[図5] (a) は、参照光の光軸と測定光の光軸とが交差する場合の、上記両光軸のなす角度を模式的に示す説明図であり、(b) は、参照光の光軸と測定光の光軸とが交差しない場合の、上記両光軸のなす角度を模式的に示す説明図である。

[図6]測定光として特定波長の光を用いたときの測定干渉光をフーリエ変換した後のスペクトルを示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0014] 本発明の実施の一形態について、図面に基づいて説明すれば、以下の通りである。

[0015] [装置の構成]

図1は、本実施形態のフーリエ変換分光分析装置の概略の構成を模式的に示す説明図である。この装置は、干渉計1と、演算部2と、出力部3とを有して構成されている。干渉計1は、2光路分岐型のマイケルソン干渉計で構

成されているが、その詳細については後述する。演算部 2 は、干渉計 1 から出力される信号のサンプリング、A/D変換およびフーリエ変換を行い、測定光に含まれる波長のスペクトル、すなわち、波数（1/波長）ごとの光の強度を示すスペクトルを生成する。出力部 3 は、演算部 2 にて生成されたスペクトルを出力（例えば表示）する。以下、干渉計 1 の詳細について説明する。

[0016] 干渉計 1 は、測定光学系 10 と、参照光学系 20 と、補正部 30 とを有している。以下、順に説明する。

[0017] 測定光学系 10 は、測定用光源 11 と、測定光用コリメート光学系 12 と、折り返しミラー M と、BS（ビームスプリッタ）13 と、補償板 14 と、固定鏡 15 と、移動鏡 16 と、集光光学系 17 と、測定光検出器 18 と、駆動機構 19 とを備えている。なお、BS 13 に対する固定鏡 15 と移動鏡 16 との位置関係は、逆であってもよい。

[0018] 測定用光源 11 は、例えば複数波長を含む近赤外光または赤外光を測定光として出射する光源 11a と、光源 11a に結合される光ファイバ 11b とからなるファイバ結合光学系で構成されている。なお、測定用光源 11 は、光源 11a のみで構成されてもよい。測定光用コリメート光学系 12 は、測定用光源 11 から出射される測定光をコリメート光に変換して BS 13 に導く光学系であり、例えばコリメータレンズで構成されている。

[0019] ここで、コリメート光とは、完全な平行光のほか、略平行光（若干の収束光や発散光）も含む概念である。つまり、ここでのコリメートとは、光源からの光をコリメート光学系によって BS および固定鏡または移動鏡を経てセンサへ導くことを指し、無限遠方へのコリメートに限るものではない。平面波として取り扱いやすくするため、例えば 1 m 以上遠方にコリメートすることが望ましい。

[0020] 折り返しミラー M は、干渉計 1 をコンパクトに構成すべく、測定光用コリメート光学系 12 と BS 13 との間の光路を折り曲げるために設けられている。折り返しミラー M と BS 13 との間の光路中（特に後述する光路合成ミ

ラー 23 と BS 13 との間の光路中) には、測定光の光束径を規制するための絞り A1 が配置されている。

[0021] BS 13 は、入射光、すなわち、測定用光源 11 から出射された光を 2 つの光に分離して、それぞれを固定鏡 15 および移動鏡 16 に導くとともに、固定鏡 15 および移動鏡 16 にて反射された各光を合波し、測定干渉光として出射するものであり、例えば分岐比 50 : 50 のハーフミラーで構成されている。

[0022] 補償板 14 は、BS 13 の厚み分の光路長、および光が BS 13 を透過する際の屈折による光路シフトを補正するための基板である。なお、干渉計 1 の組み方次第では、補償板 14 を不要とすることもできる。

[0023] 集光光学系 17 は、BS 13 にて合成されて出射された光を集光して測定光検出器 18 に導く光学系であり、例えばフォーカスレンズで構成されている。測定光検出器 18 は、BS 13 から集光光学系 17 を介して入射する測定干渉光を受光してインターフェログラム (干渉パターン) を検出する。

[0024] 駆動機構 19 は、固定鏡 15 にて反射される光の光路と、移動鏡 16 にて反射される光の光路との差 (光路長の差) が変化するように、移動鏡 16 を光軸方向に平行移動 (並進) させる移動機構であり、例えば VCM (ボイスコイルモータ) を用いた電磁式の駆動機構で構成されている。なお、駆動機構 19 は、平行板ばね式の駆動機構で構成されてもよい。

[0025] 上記の構成において、測定用光源 11 から出射された測定光は、測定光用コリメート光学系 12 によってコリメート光に変換された後、折り返しミラー M で反射されて BS 13 に入射し、BS 13 での透過および反射によって 2 光束に分離される。分離された一方の光束は移動鏡 16 で反射され、他方の光束は固定鏡 15 で反射され、それぞれ元の光路を逆戻りして BS 13 で重ね合わせられ、測定干渉光として補償板 14 を透過した後、試料 (図示せず) に照射される。このとき、駆動機構 19 によって移動鏡 16 を連続的に移動させながら試料に光が照射されるが、BS 13 から各ミラー (移動鏡 16、固定鏡 15) までの光路長の差が波長の整数倍のときは、重ね合わされ

た光の強度は最大となる。一方、移動鏡 16 の移動によって 2 つの光路長に差が生じている場合には、重ね合わされた光の強度に変化が生じる。試料を透過した光は、集光光学系 17 にて集光されて測定光検出器 18 に入射し、そこでインターフェログラムとして検出される。すなわち、図 1 では、測定光は、一点鎖線で示す光路を進行する。

[0026] 演算部 2 では、測定光検出器 18 からの検出信号（インターフェログラム）をサンプリングし、A/D変換およびフーリエ変換することにより、波数ごとの光の強度を示すスペクトルが生成される。上記のスペクトルは、出力部 3 にて出力（例えば表示）され、このスペクトルに基づき、試料の特性（材料、構造、成分量など）を分析することが可能となる。

[0027] 次に、参照光学系 20 および補正部 30 について説明する。参照光学系 20 は、上記した測定光学系 10 と構成を一部共有しており、上述した BS 13 と、補償板 14 と、固定鏡 15 と、移動鏡 16 とに加えて、参照光源 21 と、参照光用コリメート光学系 22 と、光路合成ミラー 23 と、光路分離ミラー 24 と、参照光検出器 25 とを有している。

[0028] 参照光源 21 は、移動鏡 16 の位置を検出したり、演算部 2 にてサンプリングのタイミング信号を生成するための光源であり、半導体レーザからなる光源 21 a と、光源 21 a に結合される光ファイバ 21 b とからなるファイバ結合光学系で構成されている。すなわち、参照光源 21 は、半導体レーザから出射されるレーザ光をファイバまたは導波路を介して射出するレーザ光源で構成されている。上記の半導体レーザは、例えば赤色光を発光するが、測定光（近赤外光、赤外光）の最短波長よりも短い波長のレーザ光を発光すればよい。なお、参照光源 21 は、半導体レーザからなる光源 21 a のみで構成されてもよい。

[0029] 参照光用コリメート光学系 22 は、参照光源 21 から出射される参照光（レーザ光）をコリメート光に変換して BS 13 に導く光学系であり、例えばコリメートレンズで構成されている。参照光用コリメート光学系 22 の光射出側には、絞り A2 が配置されており、コリメート光の光束径が規制される

。なお、参照光用コリメート光学系 22 を構成するレンズの光射出側の面において、コリメート光を出射する部分以外を黒く塗ることによって、参照光用コリメート光学系 22 に絞り A2 の機能を持たせるようにしてもよい。

[0030] 光路合成ミラー 23 は、測定用光源 11 からの光を透過させ、参照光源 21 からの光を反射させることにより、これらの光の光路を合成するビームコンバイナである。本実施形態では、参照光が固定鏡 15 に対して斜めに入射するように光路合成ミラー 23 が配置されている。このため、測定光の光路と参照光の光路とは完全な同軸とはならない。なお、参照光が固定鏡 15 に斜めに入射する点の詳細については後述する。光路分離ミラー 24 は、測定用光源 11 から出射されて BS 13 を介して入射する光を透過させ、参照光源 21 から出射されて BS 13 を介して入射する光を反射させることにより、これらの光の光路を分離するビームスプリッタである。

[0031] 参照光検出器 25 は、参照光源 21 から出射されて BS 13 を介して光路分離ミラー 24 に入射し、そこで反射された光（参照干渉光）を検出する検出器であり、例えば CCD よりも応答速度が速い 4 分割センサで構成されている。光路分離ミラー 24 と参照光検出器 25 との間の光路中には、絞り A3 が配置されており、この絞り A3 によって、参照光検出器 25 に入射する参照干渉光の光束径が規制される。

[0032] 次に、補正部 30 について説明する。補正部 30 は、参照光検出器 25 での参照干渉光の検出結果に基づいて、移動鏡 16 での反射光と固定鏡 15 での反射光との相対的な傾きの誤差（チルト誤差、2 光路間の傾き）を検知するとともに、移動鏡 16 または固定鏡 15 を傾けることによってチルト誤差の補正（チルト補正）を行うものである。駆動機構 19 による移動鏡 16 の駆動時に、移動鏡 19 の並進性が崩れると、上記チルト誤差によって測定干渉光の干渉強度（コントラスト）が低下する。したがって、補正部 30 によって移動鏡 16 または固定鏡 15 を傾けて、上記のチルト誤差を補正することにより、測定干渉光の干渉強度が低下するのを回避することができる。

[0033] ここで、本実施形態では、光路合成ミラー 23 の上記配置により、測定光

側および参照光側の光軸が完全な同軸とはならないが、同軸に近い配置であるので、(1)測定用光源11、BS13、移動鏡16、BS13、測定光検出器18の順に進行する光と、測定用光源11、BS13、固定鏡15、BS13、測定光検出器18の順に進行する光とのチルト誤差(第1のチルト誤差とも称する)は、(2)参照光源21、BS13、移動鏡16、BS13、参照光検出器25の順に進行する光と、参照光源21、BS13、固定鏡15、BS13、参照光検出器25の順に進行する光との間のチルト誤差(第2のチルト誤差とも称する)にほとんど近い。したがって、補正部30は、参照光検出器25からの参照干渉光の受光信号に基づいて、第2のチルト誤差を検知して補正することにより、第1のチルト誤差を補正することができる。

[0034] このような補正部30は、具体的には、信号処理部31と、光路補正機構32と、制御部33とを有して構成されている。制御部33は、例えばCPUで構成され、信号処理部31での検出結果に基づいて光路補正機構32を制御する。

[0035] 信号処理部31は、参照光検出器25にて検出された参照干渉光の強度に基づいて、チルト誤差を検出する。例えば、図2に示すように、参照光検出器25の4つの受光領域(4分割センサの各素子)を反時計回りにE1~E4とし、全体の受光領域の中心に参照干渉光の光スポットDが位置しているものとする。受光領域E1・E2で検出された光の強度の和をA1とし、受光領域E3・E4で検出された光の強度の和をA2としたときに、時間経過に対する強度A1・A2の変化を示す位相信号として、図3に示す信号が得られたとすると、これらの信号に基づいてチルト誤差(特に、一方の光に対する他方の光の相対的な傾き方向および傾き量)を検出することができる。この例では、受光領域E1・E2と受光領域E3・E4とが並ぶ方向(図2では上下方向)に位相差 Δ に対応する角度だけチルト誤差が生じていることになる。なお、図3の縦軸の強度は相対値で示している。なお、位相信号の周波数が遅い(低い)場合、位相比較ではなく強度比から2光路間での光の

傾きを検知することもできる。

[0036] また、信号処理部 31 は、参照光検出器 25 にて検出された参照干渉光の強度に基づいて、移動鏡 16 の位置を検出するとともに、サンプリングのタイミングを示すパルス信号を生成する信号生成部としても機能している。参照光検出器 25 では、移動鏡 16 の位置（光路差）に応じて参照干渉光の強度が全体的に明と暗との間で変化するので、信号処理部 31 は、その強度変化に基づいて移動鏡 16 の位置を検出することができる。演算部 2 は、上記パルス信号のサンプリングタイミングに同期して、測定光検出器 18 からの検出信号（インターフェログラム）をサンプリングし、デジタルデータに変換することになる。

[0037] 光路補正機構 32 は、信号処理部 31 にて検出されたチルト誤差に基づいて、移動鏡 16 または固定鏡 15 を傾けることにより、移動鏡 16 または固定鏡 15 で反射される光の光路を補正するものである。本実施形態では、光路補正機構 32 は、図 1 に示すように、先端が固定鏡 15 の背面（反射面とは反対側の面）と連結されて光軸方向に伸縮する複数（少なくとも 3 つ）の圧電素子 32 a と、これらの圧電素子 32 a に電圧を印加して圧電素子 32 a を伸縮させる駆動部 32 b とを有して構成されている。信号処理部 31 での検出結果に基づいて、各圧電素子 32 a に印加する電圧を制御し、各圧電素子 32 a を光軸方向に伸縮させることにより、固定鏡 15 の傾き（固定鏡 15 での反射光の光路）を変化させることができ、これによってチルト誤差を補正することができる。

[0038] 上記の構成において、参照光源 21 から出射された光は、参照光用コリメート光学系 22 でコリメート光に変換された後、光路合成ミラー 23 で反射されて BS 13 に入射し、そこで 2 光束に分離される。BS 13 にて分離された一方の光束は移動鏡 16 で反射され、他方の光束は固定鏡 15 で反射され、それぞれ元の光路を逆戻りして BS 13 で重ね合わせられ、補償板 14 を透過して光路分離ミラー 24 に入射し、そこで反射されて参照光検出器 25 に入射する。すなわち、図 1 では、参照光は、実線で示す光路を進行する

。

[0039] 補正部 30 の信号処理部 31 は、上述のように、参照光検出器 25 にて検出された参照干渉光の強度に基づいてチルト誤差を検出し、制御部 33 の制御のもとで光路補正機構 32 が固定鏡 15 の姿勢（BS 13 に対する角度）を調整し、固定鏡 15 での反射光の光路を補正することになる。チルト誤差の検出と、反射光の光路の補正（チルト補正）とを繰り返すフィードバック制御を行うことにより、最終的には、チルト誤差を限りなくゼロに近づけることができる。

[0040] ところで、図 4 は、フーリエ変換分光分析装置の他の構成を模式的に示す説明図である。同図に示すように、補正部 30 の光路補正機構 32 は、信号処理部 31 にて検出されたチルト誤差に基づいて、移動鏡 16 で反射される光の光路を補正するようにしてもよい。この場合、各圧電素子 32 a の先端を移動鏡 16 の背面に連結し、各圧電素子 32 a を駆動部 32 b によって伸縮させることにより、移動鏡 16 の傾きを変化させて、移動鏡 16 で反射される光の光路を補正することができる。このとき、移動鏡 16 の駆動機構 19 は、駆動部 32 b の背面（各圧電素子 32 a とは反対側）と連結されればよい。

[0041] [各パラメータについて]

表 1～表 4 は、本実施形態の干渉計 1 における各パラメータの値を示している。以下、表 1～表 4 を参照しながら、本実施形態の干渉計 1 についてさらに説明する。なお、以下では、特に断らない限り、コリメート光と記載すれば、参照光のコリメート光を指すものとする。

[0042] [表 1]

	測定光学系	値	単位
(1)	光束径(直径)	5	mm
(2)	最短波長	900	nm
(3)	最長波長	2600	nm
(4)	固定鏡への入射角	0	deg
(5)	移動鏡移動量(最大変位量)	3	mm

[0043] [表2]

	参照光学系	値	単位
(1)	光束径(直径)	2	mm
(2)	波長	658	nm
(3)	ファイバコア径	0.0002	mm
(4)	コリメート光学系焦点距離	11	mm

[0044] [表3]

	光学配置	値	単位
(1)	参照光コリメート光学系(面頂点)－光路合成コンバイナ間距離	13	mm
(2)	光路合成コンバイナ－BS間距離	14	mm
(3)	BS－固定鏡間距離	13	mm
(4)	BS－移動鏡(振幅中心)間距離	13	mm
(5)	絞り(A2)－光路合成コンバイナ間距離	10	mm
(6)	折り返しミラー－光路合成コンバイナ間距離	12	mm
(7)	BS－光路分離ミラー間距離	14	mm
(8)	光路分離ミラー－集光光学系(面頂点)間距離	10	mm
(9)	集光光学系(面頂点)－測定光検出器間距離	14	mm
(10)	移動鏡最果ての位置での測定光と参照光とのビーム中心間距離	1.45	mm

[0045] [表4]

		値	単位
(1)	固定鏡(移動鏡)走査角度範囲	0.1	deg
(2)	参照光コリメート光学系の位置における戻り光のシフト量	2	mm
(3)	固定鏡への参照光の必要傾き量	2.0	deg
(4)	光学部品組み付け誤差による余分傾き量	0.5	deg
(5)	固定鏡への参照光の入射角	2.5	deg

[0046] まず、本実施形態の干渉計1では、上述したように、参照光源21として従来のHe-Neレーザを用いる代わりに、半導体レーザからなる光源を用いている。半導体レーザは、He-Neレーザに比べて小型であり、コリメート光学系を用いる場合でも、小型のコリメート光学系を用いることができる。したがって、小型の干渉計1を実現することができる。このことは、表3より、移動鏡16－測定光検出器18間の距離が、約5cm程度(表3の項目(4)(7)(8)(9)の和)であることから容易に理解できる。

[0047] また、本実施形態では、表4に示すように、コリメート光の固定鏡15に

対する入射角は2.5度となっており、コリメート光は、固定鏡15に対して斜めに入射している。なお、上記の入射角2.5度は、補正部30による固定鏡15の傾き角の最大値（角度検出範囲）である0.1度（6分）と、必要な斜め入射角2.0度と、部材の組み付け誤差等によるマージン（余分傾き量）0.5度とを考慮して設定されている。

[0048] このように、コリメート光が固定鏡15に対して斜めに入射することにより、固定鏡15での反射光の光路は、固定鏡15への入射光の光路と若干ずれるので、固定鏡15で反射された光がBS13を介して参照光源21側に戻ってきたとしても、その戻り光が、参照光源21に入射するのを回避することができる（図1、図4の破線の光路参照）。したがって、参照光源21の光出射側に従来のような拡大レンズを配置しなくても、コリメート光を利用しながら、ハーモニック共振によってレーザの発振が不安定になるのを回避することができる。その結果、参照光検出器25での検出結果に基づく移動鏡16の位置検知を安定して行うことができる。したがって、測定光検出部18での測定干渉光の計測を安定して行うことができ、分光分析を安定して行うことができる。

[0049] 実際、参照光の光束径2mm（表2の項目（1）参照）に対して、参照光用コリメート光学系22の光射出側（参照光源21とは反対側）の位置での、戻り光の光軸に垂直な方向のシフト量が2mm（表4の項目（2）参照）であることから、参照光源21からの出射光と戻り光とは交差せず、戻り光が参照光源21に入射していないことがわかる。

[0050] なお、本実施形態では、光路合成コンバイナ23の配置位置（角度）を調節することによって、コリメート光を固定鏡15に斜め入射させているが、参照光源21および参照光用コリメート光学系22の配置位置を調節することによって、コリメート光を固定鏡15に斜め入射させてもよい。すなわち、参照光源21および参照光用コリメート光学系22の位置を、参照光が測定光学系10と同軸となるように光路合成コンバイナ23に入射する位置からずらすことによって、コリメート光を固定鏡15に斜め入射させてもよい

- 。
- [0051] また、本実施形態では、表4に示すように、固定鏡15に対するコリメート光の入射角（2.5度）は、チルト補正の際に補正部30によって傾けることができる固定鏡15の傾き角の最大値（走査角度範囲0.1度）よりも大きい。
- [0052] 上記の条件を満足しない場合は、コリメート光が固定鏡15に対して斜めに入射していても、チルト補正のために固定鏡15を傾けたときに、その傾き角によっては、コリメート光の入射角がゼロになってしまう場合があり、この場合は、参照光源21への戻り光の入射を回避することができない。
- [0053] したがって、上記の条件を満足することにより、チルト補正のために固定鏡15を傾ける構成であっても、コリメート光を固定鏡15に対して常に斜めに入射させて、参照光源21への戻り光の入射を回避することができる。
- [0054] また、光路中（例えばBS13と光路合成ミラー23との間の光路中）において、参照光の光軸と測定光の光軸とのなす角度は例えば2.5度であり、この角度は、図4の構成において、補正部30によって傾けることができる移動鏡16の傾き角の最大値（0.1度）よりも大きい。なお、参照光の光軸とは、参照光の光束の中心光線が進行する光路を指し、測定光の光軸とは、測定光の光束の中心光線が進行する光路を指す。
- [0055] 移動鏡16を傾けることによってチルト補正を行う構成において、上記の条件を満足しない場合は、コリメート光が固定鏡15および移動鏡16に対して斜めに入射していても、チルト補正のために移動鏡16を特定の方向（移動鏡16の後述する最果ての位置で測定光のビーム中心と参照光のビーム中心とが並ぶ方向）に傾けたときに、その傾き角によっては、コリメート光の入射角がゼロになってしまう場合があり、この場合は、参照光源21への戻り光の入射を回避することができない。つまり、戻り光が参照光源21に入射し、カオス的な振る舞いによって参照光検出器25にて信号を検出することができなくなる。
- [0056] しかし、上記の条件を満足することにより、チルト補正のために移動鏡1

6を特定の方向に傾けても、コリメート光の固定鏡15および移動鏡16に対する斜め入射を実現することができ、参照光源21への戻り光の入射を回避することができる。

[0057] また、図5(a)は、BS13と光路合成ミラー23との間の光路中で、参照光の光軸と測定光の光軸とが交差する場合の、上記両光軸のなす角度 θ を模式的に示している。この図5(a)は、補正部30によって移動鏡16を傾ける場合は図4の構成に対応しており、補正部30によって固定鏡15を傾ける場合は図1の構成に対応している。なお、参照光の光軸と測定光の光軸とが交差する位置は、絞りA1の位置であってもよいし、それ以外の位置であってもよい。また、参照光の光軸と測定光の光軸とは、同一平面内で交差する位置関係にあってもよいし、ねじれた位置関係にあってもよい。後者の場合、参照光の光軸と測定光の光軸とのなす角度としては、第1の方向でのなす角度と、第1の方向に垂直な第2の方向でのなす角度とを考慮してもよい。

[0058] BS13から移動鏡16が最も離れた位置（最果ての位置とも称する）にあるときの、上記両光軸の交点から移動鏡16の最果ての位置までの距離を a (mm)とし、上記位置における測定光の光束中心と参照光の光束中心との距離を b (mm)とすると、角度 $\theta = \tan^{-1}(b/a)$ で表わされる。図4の構成では、 $a = 20$ mm、 $b = 0.87$ mmであり、それゆえ、角度 $\theta = \tan^{-1}(b/a) = 2.5$ 度となる。

[0059] 上記両光軸が交差する場合、比 b/a に対応する角度、すなわち、 $\tan^{-1}(b/a)$ は、補正部30によって傾けることができる移動鏡16の傾き角の最大値よりも大きいことが望ましい。このような条件を満足することによっても、コリメート光の固定鏡15および移動鏡16に対する斜め入射を実現して、参照光源21への戻り光の入射を回避できる効果を得ることができ。上記の例では、比 b/a に対応する角度(2.5度)は、移動鏡16の傾き角の最大値(0.1度)よりも大きくなっており、上記の条件を満足する。

[0060] また、図5 (b) は、BS 13と光路合成ミラー23との間の光路中で、参照光の光軸と測定光の光軸とが交差しない場合の、上記両光軸のなす角度 θ' を模式的に示している。上記両光軸が交差しない場合は、以下の条件を満足してもよい。すなわち、BS 13から移動鏡16が最も離れた位置（最果ての位置）にあるときの、参照光用コリメート光学系22から移動鏡16の最果ての位置までの距離を a' (mm)とし、上記位置における測定光の光束中心と参照光の光束中心との距離を b' (mm)としたときに、比 b'/a' に対応する角度、すなわち、 $\tan^{-1}(b'/a')$ が、補正部30によって傾けることができる移動鏡16の傾き角の最大値よりも大きければよい。この場合でも、コリメート光の固定鏡15および移動鏡16に対する斜め入射を実現して、参照光源21への戻り光の入射を回避できる効果を得ることができる。

[0061] すなわち、参照光の光軸と測定光の光軸とのなす角度は、 $\tan^{-1}(b/a)$ で表わされる場合もあるし、 $\tan^{-1}(b'/a')$ で表わされる場合もあるが、いずれの場合でも、上記両光軸のなす角度が、補正部30によって傾けることができる移動鏡16の傾き角の最大値よりも大きければ、参照光源21への戻り光の入射を回避することができる。なお、上記両光軸がなす角度は、部品の組み付け誤差(0.5度)を考慮して設定されていればよく、例えば0.5~2.5度の範囲内で設定可能である。

[0062] また、補正部30が固定鏡15を傾けることによってチルト補正を行う図1の構成では、BS 13と光路合成ミラー23との間の光路中における、参照光の光軸と測定光の光軸とのなす角度が、補正部30によって傾けることができる固定鏡15の傾き角の最大値よりも大きければよい。図1の構成では、参照光の光軸と測定光の光軸とのなす角度は例えば2.5度であり、固定鏡15の傾き角の最大値は0.1度であるため、上記の条件を満足する。

[0063] 固定鏡15を傾けることによってチルト補正を行う構成において、上記の条件を満足しない場合は、コリメート光が固定鏡15に対して斜めに入射していても、チルト補正のために固定鏡15を特定の方向(固定鏡15の位置

で測定光のビーム中心と参照光のビーム中心とが並ぶ方向)に傾けたときに、その傾き角によっては、コリメート光の入射角がゼロになってしまう場合があり、この場合は、参照光源 21 への戻り光の入射を回避することができず、カオス的な振る舞いによって参照光検出器 25 にて信号を検出することができなくなる。

[0064] しかし、上記の条件を満足することにより、チルト補正のために固定鏡 15 を特定の方向に傾けても、コリメート光の固定鏡 15 に対する斜め入射を実現することができ、参照光源 21 への戻り光の入射を回避することができる。

[0065] また、コリメート光は、固定鏡 15 に対して斜めに入射することにより、移動鏡 16 に対しても斜めに入射する。このとき、固定鏡 15 に対するコリメート光の入射角は、BS 13 から最も離れた位置（最果ての位置）にある移動鏡 16 に入射する測定光の光束内で、コリメート光が傾いて移動鏡 16 に入射するときの傾き角の最大値以下の角度であることが望ましい。つまり、固定鏡 15 に対するコリメート光の入射角の上限は、最果ての位置にある移動鏡 16 に入射する測定光の光束内でコリメート光が傾くことができる角度の最大値に等しい。

[0066] 上記の条件を満足する場合、コリメート光（参照光）が固定鏡 15 に対して斜めに入射し、かつ、移動鏡 16 に対して斜めに入射するときでも、測定光の光路と同等の光路でコリメート光を伝搬させることができる。したがって、測定干渉光の計測時の移動鏡 16 の位置の変動を、参照光検出器 25 で確実に検知することができる。

[0067] なお、測定光の光束径が 1 mm よりも小さいと、回折によってレーザ光が広がってしまい、光学系を構成するのが困難となる。また、測定光の光束径が 10 mm よりも大きいと、10 mm よりも大きな有効径の反射面を持つ移動鏡 16 を作製することが必要となる。反射面が大きいと面精度を高精度に保つことが困難となるため、移動鏡 16 の作製が困難となる。以上のことを考慮すると、測定光の光束径は 1 mm 以上 10 mm 以下とすることが望まし

い。

- [0068] また、BS 13から移動鏡16が最も離れた位置（最果ての位置）にあるときの、測定光用コリメート光学系12から移動鏡16の最果ての位置までの距離を f （mm）とし、測定光用コリメート光学系12にてコリメートされた光の光束径（直径）を e （mm）とする。 f は、参照光用コリメート光学系22から移動鏡16の最果ての位置までの距離と等しく、41.5mm（表3の項目（1）（2）（4）の和+表1の項目（5）の変位量の半分）であり、 $e = 5$ mm（表1の項目（1）参照）である。したがって、比 e/f に対応する角度、すなわち、 $\tan^{-1}(e/f)$ は、6.87度であり、固定鏡15に対するコリメート光（参照光）の入射角（2.5度）は、比 e/f に対応する角度よりも小さいと言える。
- [0069] このように、固定鏡15に対するコリメート光の入射角が、比 e/f に対応する角度よりも小さい場合、反射面（例えば固定鏡15の反射面）において、測定光の光束径の領域内に、参照光の光束が入る。つまり、測定光と参照光とは、反射面の同じ領域内で反射される。これにより、測定光の情報を参照光によって測定することができる。
- [0070] また、参照光用コリメート光学系22によってコリメート光に変換された参照光の光束径は、2mmであり（表2の項目（1）参照）、測定光用コリメート光学系12によってコリメート光に変換された測定光の光束径5mm（表1の項目（1）参照）よりも小さい。
- [0071] 参照光の光束径が大きいと、チルト誤差に対する参照光検出器25の感度が高くなり、チルト誤差が少し生じただけでも、参照光検出器25で検知される、上記チルト誤差によって生じる干渉縞の本数が増大する。この結果、参照光検出器25での参照干渉光の検出結果に基づいて、補正部30がチルト誤差を検出することができなくなる。
- [0072] しかし、参照光の光束径を測定光の光束径よりも小さくすることにより、チルト誤差に対する感度を、測定光学系10側よりも参照光学系20側で鈍くすることができ、参照光学系20側での、チルト誤差によって生じる干渉

縞の本数の増大を抑えることができる。これにより、外部振動や衝撃によってチルト誤差が大きい場合でも、補正部 30 は、参照光検出器 25 での参照干渉光の検出結果に基づいて、チルト誤差を確実に検知することが可能となる。

[0073] [サンプリングタイミングの補正について]

本実施形態では、参照光が固定鏡 15 および移動鏡 16 に対して斜めに入射するため、参照光がそれらに垂直に入射する構成に比べて、参照光の干渉強度が最大となる移動鏡 16 の位置がずれる。つまり、光路差が参照光の波長の整数倍となる位置とは異なる位置に移動鏡があるときに、参照光の干渉強度が最大となる。これは、参照光の波長（レーザ発振波長）が見かけ上変動しているのと同じである。この結果、参照光検出器 25 での検出結果に基づいて信号処理部 31 が生成する信号のパルス（サンプリングタイミング）も、正規のパルス（光路差が参照光の波長の整数倍となるタイミング）からずれる。

[0074] ここで、測定光として特定波長 λ_0 の光（輝線スペクトル）を用いた場合、サンプリングタイミングが正規のタイミングからずれると、測定干渉光のインターフェログラムを演算部 2 でフーリエ変換したときに得られるスペクトルでは、図 6 で示すように、特定波長 λ_0 （波数 $1/\lambda_0$ ）の透過率ピーク（強度ピーク）は、波長 λ_1 （波数 $1/\lambda_1$ ）にシフトして現れることになる。したがって、波長 λ_1 の特定波長 λ_0 からのずれを見ることで、サンプリングタイミングのずれを容易に把握することができる。

[0075] そこで、本実施形態では、演算部 2 が、波長 λ_1 の特定波長 λ_0 からのずれに基づいてサンプリングタイミングを補正するようにしている。これにより、参照光が固定鏡 15 に対して斜めに入射する構成であっても、上記したレーザ発振波長の見かけ上の変動を抑えることができ、適切なタイミングでサンプリングされたインターフェログラムのフーリエ変換により、分光分析を精度よく行うことができる。

[0076] [測定光および参照光の波長帯域について]

多くの材料は、指紋領域と呼ばれる近赤外光および赤外光に吸収帯を持つことが多く、そのため、分光分析は、近赤外光および赤外光を用いて行うことが多い。このような分光分析では、測定光学系10および参照光学系20における光透過面（例えばBS13の光透過面）に反射防止コート（ARコート）を施して光の利用効率を高めることが多い。

[0077] このとき、反射防止コートの設計上、広い帯域で反射防止特性を持たせることは困難である。また、反射を防止する波長帯域を広くとると、その波長帯域で反射率が上がってしまう。したがって、測定光が近赤外光や赤外光である場合、参照光を赤色光（赤色半導体レーザ光）として、参照光と測定光の波長帯域を近づけることにより、反射防止コートの設計を容易にすることができる。

[0078] また、広い波長範囲で所定の分岐比（例えば50：50）のBS13を構成することは光学設計上困難であるが、上記のように測定光と参照光との波長帯域を近づけることにより、所定の分岐比のビームスプリッタを設計することが容易となる。

[0079] [補足]

ファイバへのカップリングは、ファイバ端のNAやコア径に依存して決まるが、最も効率よくカップリングするのは、1：1の結合倍率となるバットカップリングの場合である。したがって、薄肉レンズで近似したモデルの場合、レーザ光源の射出開口に光が戻らないための条件は、ファイバコア半径サイズ d （mm）とコリメートレンズ主点位置から反射面までの距離 L （mm）とによって決まる。すなわち、 d/L の角度 ϕ （rad）以上の入射角でコリメート光を固定鏡に斜め入射させることで、レーザ光源への戻り光の影響をなくすることができる。例えば、レンズ主点位置から反射面までの距離を $L=30$ （mm）とし、レーザ光源の射出開口の半径サイズを $d=0.012$ （mm）としたとき、戻り光の影響をなくすることができるコリメート光の必要傾き角度（固定鏡への入射角） ϕ は、 $\phi=0.004$ （rad） $=1.37$ （arcmin）となる。

- [0080] 本実施形態で参照光源 2 1 は、狭帯域化素子を含み、可干渉距離が長く、温度変化に対して波長変動の小さいレーザであることが望ましい。この場合、参照光源 2 1 を温度コントロールすることにより、波長変動をかなり小さく抑えて安定させることができ、小型で安定したコヒーレント光源を実現することができる。その結果、本実施形態の干渉計 1 を用いた計測において、安定した測定結果を得ることができる。
- [0081] ここで、上記の狭帯域化素子としては、参照光源 2 1 が出射した光を一部透過し、スペクトル線幅を狭帯域化して一部を反射する機能を有するもの、具体的には、VHG（ボリュームホログラフィー）やFBG（ファイバグレーティング）などの回折格子が望ましい。このような回折格子においては、コヒーレント光の発光波長の一部が反射回折光となり、半導体レーザの活性層に導かれることで、誘導放出を引き起こし、発光波長を反射回折光の波長にロックすることができる。反射回折光の波長は、回折格子で決まる幅に制限を受けるため、半導体レーザの発光波長のスペクトル線は、特定のモードに固定され、狭帯域化される。
- [0082] なお、本実施形態では、干渉計 1 が測定用光源 1 1 を内蔵し、測定用光源 1 1 から出射される測定光を用いて測定干渉光を得る構成について説明したが、本実施形態の干渉計 1 は、必ずしも測定用光源 1 1 を内蔵していなくてもよい。つまり、測定干渉光を得るための測定光は、干渉計が内蔵している光源から出射される光であってもよいし、干渉計の外部から入射してくる光であってもよい。
- [0083] したがって、例えば、（１）干渉計の外部で試料に光を当てて、試料を介して得られる光を干渉計に入射させて分光分析を行う場合、（２）干渉計の外部から導入した光を用いて干渉計にて干渉光を生成し、その干渉光を試料に当てて分光分析を行う場合、（３）干渉計の外部から入射する光そのものを分析の対象とする場合、のいずれについても、本実施形態の干渉計を適用することが可能である。
- [0084] 以上、本実施形態の干渉計は、測定光をビームスプリッタで分離して移動

鏡および固定鏡に導き、前記移動鏡および前記固定鏡にて反射された各光を前記ビームスプリッタで合波し、合波して得られた測定干渉光を測定光検出器に導く測定光学系と、参照光源からの参照光を前記ビームスプリッタで分離して前記移動鏡および前記固定鏡に導き、前記移動鏡および前記固定鏡にて反射された各光を前記ビームスプリッタで合波し、合波して得られた参照干渉光を参照光検出器に導く参照光学系とを備え、前記参照光検出器での検出結果に基づいて前記移動鏡の位置を検知しながら、前記測定干渉光を計測する干渉計であって、前記参照光源は、半導体レーザ、または前記半導体レーザから出射されるレーザ光を導波路またはファイバを介して射出するレーザ光源で構成されており、前記参照光学系は、前記参照光源から出射されるレーザ光をコリメート光に変換する参照光用コリメート光学系を有しており、前記コリメート光は、前記固定鏡に対して斜めに入射する構成である。

[0085] 上記の構成によれば、半導体レーザやレーザ光源からなる参照光源は、参照光源として一般的に用いられているHe-Neレーザに比べて小型であり、コリメート光学系を用いる場合でも、小型のコリメート光学系を用いることができるので、小型の干渉計を実現することができる。

[0086] また、コリメート光は、固定鏡に対して斜めに入射するので、固定鏡での反射光の光路は、固定鏡への入射光の光路と若干ずれる。これにより、固定鏡で反射された参照光がビームスプリッタを介して参照光源側に戻ってきたとしても、その戻り光が、参照光源（特に光射出部分）に入射するのを回避することができる。したがって、参照光源の光射出側に拡大レンズを配置しなくても（コリメート光を利用しながら）、ハーモニック共振によってレーザの発振が不安定になるのを回避することができ、参照光検出器での検出結果に基づく移動鏡の位置検知を安定して行うことができる。

[0087] 本実施形態の干渉計は、前記参照光検出器での検出結果に基づいて、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を検知するとともに、前記移動鏡または前記固定鏡を傾けることによって前記誤差を補正する補正部をさらに備え、前記固定鏡に対する前記コリメート光の入射

角は、前記補正部によって傾けることができる前記移動鏡または前記固定鏡の傾き角の最大値よりも大きいことが望ましい。

[0088] この構成では、2光路間での傾き誤差の補正（チルト補正）のために、補正部によって移動鏡または固定鏡を傾けても、コリメート光の固定鏡に対する入射角がゼロ（垂直入射）となることがない。したがって、補正部によってチルト補正を行う構成であっても、コリメート光を固定鏡に対して常に斜めに入射させて、参照光源への戻り光の入射を回避することができる。

[0089] 本実施形態の干渉計において、前記補正部は、前記移動鏡を傾けることによって、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を補正し、前記参照光の光軸と前記測定光の光軸とのなす角度は、前記補正部によって傾けることができる前記移動鏡の傾き角の最大値よりも大きいことが望ましい。

[0090] 補正部によって移動鏡を傾けることによってチルト補正を行う構成において、上記の条件を満足していれば、移動鏡を特定の方向に傾けても、戻り光が参照光源に入射するのを回避することができる。

[0091] 本実施形態の干渉計において、前記補正部は、前記固定鏡を傾けることによって、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を補正し、前記参照光の光軸と前記測定光の光軸とのなす角度は、前記補正部によって傾けることができる前記固定鏡の傾き角の最大値よりも大きいことが望ましい。

[0092] 補正部によって固定鏡を傾けることによってチルト補正を行う構成において、上記の条件を満足していれば、固定鏡を特定の方向に傾けても、戻り光が参照光源に入射するのを回避することができる。

[0093] 本実施形態の干渉計において、前記固定鏡に対する前記コリメート光の入射角は、前記ビームスプリッタから最も離れた位置にある前記移動鏡に入射する前記測定光の光束内で、前記コリメート光が傾いて前記移動鏡に入射するときの傾き角の最大値以下の角度であることが望ましい。

[0094] この場合、コリメート光が固定鏡に対して斜めに入射する構成であっても

、測定光の光路と同等の光路でコリメート光を伝搬させることができ、測定干渉光の計測時の移動鏡の位置の変動を、参照光検出器で確実に検知することができる。

[0095] 本実施形態の干渉計において、前記測定光学系は、前記測定光をコリメート光に変換する測定光用コリメート光学系を有しており、前記ビームスプリッタから前記移動鏡が最も離れた位置にあるときの、前記測定光用コリメート光学系から前記移動鏡の前記位置までの距離を f とし、前記測定光用コリメート光学系にてコリメートされた光の光束径を e とすると、前記固定鏡に対する前記参照光学系のコリメート光の入射角は、比 e / f に対応する角度よりも小さいことが望ましい。

[0096] 上記の条件を満足する場合、反射面（例えば固定鏡の反射面）において、測定光の光束径の領域内に参照光の光束が入り、測定光と参照光とが反射面の同じ領域内で反射されるので、測定光の情報を参照光によって測定することができる。

[0097] 本実施形態の干渉計において、前記補正部は、前記参照光検出器での検出結果に基づいて、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を検知する信号処理部と、前記移動鏡または前記固定鏡を傾けることにより、前記移動鏡または前記固定鏡で反射される光の光路を補正する光路補正機構と、前記信号処理部にて検出された前記傾きの誤差に基づいて、前記光路補正機構を制御する制御部とを含んでもよい。

[0098] 信号処理部にて検出されたチルト誤差に基づいて、制御部が光路補正機構を制御し、光路補正機構が移動鏡または固定鏡での反射光の光路を補正することにより、チルト補正を確実に行うことができる。

[0099] 本実施形態の干渉計において、前記参照光検出器は、分割センサで構成されており、前記補正部は、前記分割センサの各素子からの出力に基づいて、前記測定光の前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を検知することが望ましい。

[0100] 補正部は分割センサの各素子からの出力（例えば位相差）に基づいて、一

方の光に対する他方の光の傾き方向および傾き量を検知することができ、その検知結果に基づいて、チルト補正を確実に行うことができる。

[0101] 本実施形態の干渉計において、前記測定光学系は、前記測定光をコリメート光に変換する測定光用コリメート光学系を有しており、前記参照光用コリメート光学系によってコリメート光に変換された参照光の光束径は、前記測定光用コリメート光学系によってコリメート光に変換された測定光の光束径よりも小さいことが望ましい。

[0102] この構成では、参照光学系における、固定鏡での反射光と移動鏡での反射光との相対的な傾きの誤差（チルト誤差）に対する感度を、測定光学系におけるチルト誤差に対する感度よりも鈍くすることができ、参照光検出器での、チルト誤差による干渉縞の本数の増大を抑えることができる。これにより、外部振動や衝撃によってチルト誤差が大きい場合でも、補正部は、参照光学系の参照光検出器での検出結果に基づいて、チルト誤差を確実に検知することができる。

[0103] 本実施形態のフーリエ変換分光分析装置は、上述した本実施形態の干渉計と、前記干渉計の前記測定光検出器で前記測定干渉光を受光することによって得られるインターフェログラムをサンプリングしてフーリエ変換し、前記測定光に含まれる波長のスペクトルを生成する演算部とを備えていることが望ましい。

[0104] 上述したように、本実施形態の干渉計によれば、戻り光によってレーザの発振が不安定になるのを回避して、移動鏡の位置検知を安定して行うことができる。したがって、このような干渉計の測定光検出器で得られるインターフェログラムを演算部でサンプリングしてフーリエ変換するフーリエ変換分光分析装置（FTIR）では、移動鏡の位置検知に基づく分光分析を安定して行うことができる。

[0105] 本実施形態のフーリエ変換分光分析装置において、前記干渉計は、前記参照光学系の前記参照光検出器での検出結果に基づいて、前記インターフェログラムをサンプリングする際のタイミングを示す信号を生成する信号生成部

をさらに備えており、前記演算部は、前記測定光として特定波長の光を用いたときの測定干渉光のインターフェログラムを、前記信号生成部からの信号に基づくタイミングでサンプリングしてフーリエ変換したときに得られる波長の、前記特定波長からのずれに基づいて、前記サンプリングのタイミングを補正することが望ましい。

[0106] 本実施形態の干渉計では、参照光が固定鏡（および移動鏡）に対して斜めに入射するため、光路差が参照光の波長の整数倍となる位置からずれた位置に移動鏡があるときに、参照光の干渉強度が最大となる。これは、参照光の波長が見かけ上変動しているのと同じである。この結果、参照光検出器での検出結果に基づいて生成される信号のサンプリングタイミングも、正規のタイミングからずれる。

[0107] しかし、このサンプリングタイミングのずれは、測定光として特定波長の光（輝線スペクトル）を用い、測定干渉光のインターフェログラムをフーリエ変換したときに得られる波長の特定波長からのずれを見ることで、容易に把握することができる。したがって、このようなフーリエ変換後の波長の特定波長からのずれに基づいてサンプリングタイミングを補正することにより、参照光が固定鏡に対して斜めに入射する構成であっても、レーザ発振波長の見かけ上の変動を抑えて、分光分析を精度よく行うことができる。

[0108] 本実施形態のフーリエ変換分光分析装置において、前記測定光は、近赤外光または赤外光であり、前記参照光は、赤色光であることが望ましい。

[0109] 測定光と参照光との波長帯域が近いので、ビームスプリッタの光透過面に反射防止コートを施して光利用効率を高める場合でも、反射を防止する波長帯域を狭くすることができ、反射防止コートの設計を容易にすることができる。

産業上の利用可能性

[0110] 本発明は、マイケルソン型の干渉計、およびそれを用いて分光分析を行うフーリエ変換分光分析装置に利用可能である。

符号の説明

[0111]	1	干渉計
	2	演算部
	1 0	測定光学系
	1 1	測定用光源
	1 2	測定光用コリメート光学系
	1 3	B S (ビームスプリッタ)
	1 5	固定鏡
	1 6	移動鏡
	1 8	測定光検出器
	2 0	参照光学系
	2 1	参照光源
	2 2	参照光用コリメート光学系
	2 5	参照光検出器
	3 0	補正部
	3 1	信号処理部 (補正部、信号生成部)
	3 2	光路補正装置 (補正部)
	3 3	制御部 (補正部)

請求の範囲

[請求項1]

測定光をビームスプリッタで分離して移動鏡および固定鏡に導き、前記移動鏡および前記固定鏡にて反射された各光を前記ビームスプリッタで合波し、合波して得られた測定干渉光を測定光検出器に導く測定光学系と、

参照光源からの参照光を前記ビームスプリッタで分離して前記移動鏡および前記固定鏡に導き、前記移動鏡および前記固定鏡にて反射された各光を前記ビームスプリッタで合波し、合波して得られた参照干渉光を参照光検出器に導く参照光学系とを備え、前記参照光検出器での検出結果に基づいて前記移動鏡の位置を検知しながら、前記測定干渉光を計測する干渉計であって、

前記参照光源は、半導体レーザ、または前記半導体レーザから出射されるレーザ光を導波路またはファイバを介して射出するレーザ光源で構成されており、

前記参照光学系は、前記参照光源から出射されるレーザ光をコリメート光に変換する参照光用コリメート光学系を有しており、

前記コリメート光は、前記固定鏡に対して斜めに入射することを特徴とする干渉計。

[請求項2]

前記参照光検出器での検出結果に基づいて、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を検知するとともに、前記移動鏡または前記固定鏡を傾けることによって前記誤差を補正する補正部をさらに備え、

前記固定鏡に対する前記コリメート光の入射角は、前記補正部によって傾けることができる前記移動鏡または前記固定鏡の傾き角の最大値よりも大きいことを特徴とする請求項1に記載の干渉計。

[請求項3]

前記補正部は、前記移動鏡を傾けることによって、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を補正し、

前記参照光の光軸と前記測定光の光軸とのなす角度は、前記補正部

によって傾けることができる前記移動鏡の傾き角の最大値よりも大きいことを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

[請求項4] 前記補正部は、前記固定鏡を傾けることによって、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を補正し、
前記参照光の光軸と前記測定光の光軸とのなす角度は、前記補正部によって傾けることができる前記固定鏡の傾き角の最大値よりも大きいことを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

[請求項5] 前記固定鏡に対する前記コリメート光の入射角は、前記ビームスプリッタから最も離れた位置にある前記移動鏡に入射する前記測定光の光束内で、前記コリメート光が傾いて前記移動鏡に入射するときの傾き角の最大値以下の角度であることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉計。

[請求項6] 前記測定光学系は、前記測定光をコリメート光に変換する測定光用コリメート光学系を有しており、
前記ビームスプリッタから前記移動鏡が最も離れた位置にあるときの、前記測定光用コリメート光学系から前記移動鏡の前記位置までの距離を f とし、前記測定光用コリメート光学系にてコリメートされた光の光束径を e とすると、
前記固定鏡に対する前記参照光学系のコリメート光の入射角は、比 e / f に対応する角度よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の干渉計。

[請求項7] 前記補正部は、
前記参照光検出器での検出結果に基づいて、前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を検知する信号処理部と、
前記移動鏡または前記固定鏡を傾けることにより、前記移動鏡または前記固定鏡で反射される光の光路を補正する光路補正機構と、
前記信号処理部にて検出された前記傾きの誤差に基づいて、前記光

路補正機構を制御する制御部とを含んでいることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

[請求項8] 前記参照光検出器は、分割センサで構成されており、
前記補正部は、前記分割センサの各素子からの出力に基づいて、前記測定光の前記移動鏡での反射光と前記固定鏡での反射光との相対的な傾きの誤差を検知することを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

[請求項9] 前記測定光学系は、前記測定光をコリメート光に変換する測定光用コリメート光学系を有しており、
前記参照光用コリメート光学系によってコリメート光に変換された参照光の光束径は、前記測定光用コリメート光学系によってコリメート光に変換された測定光の光束径よりも小さいことを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

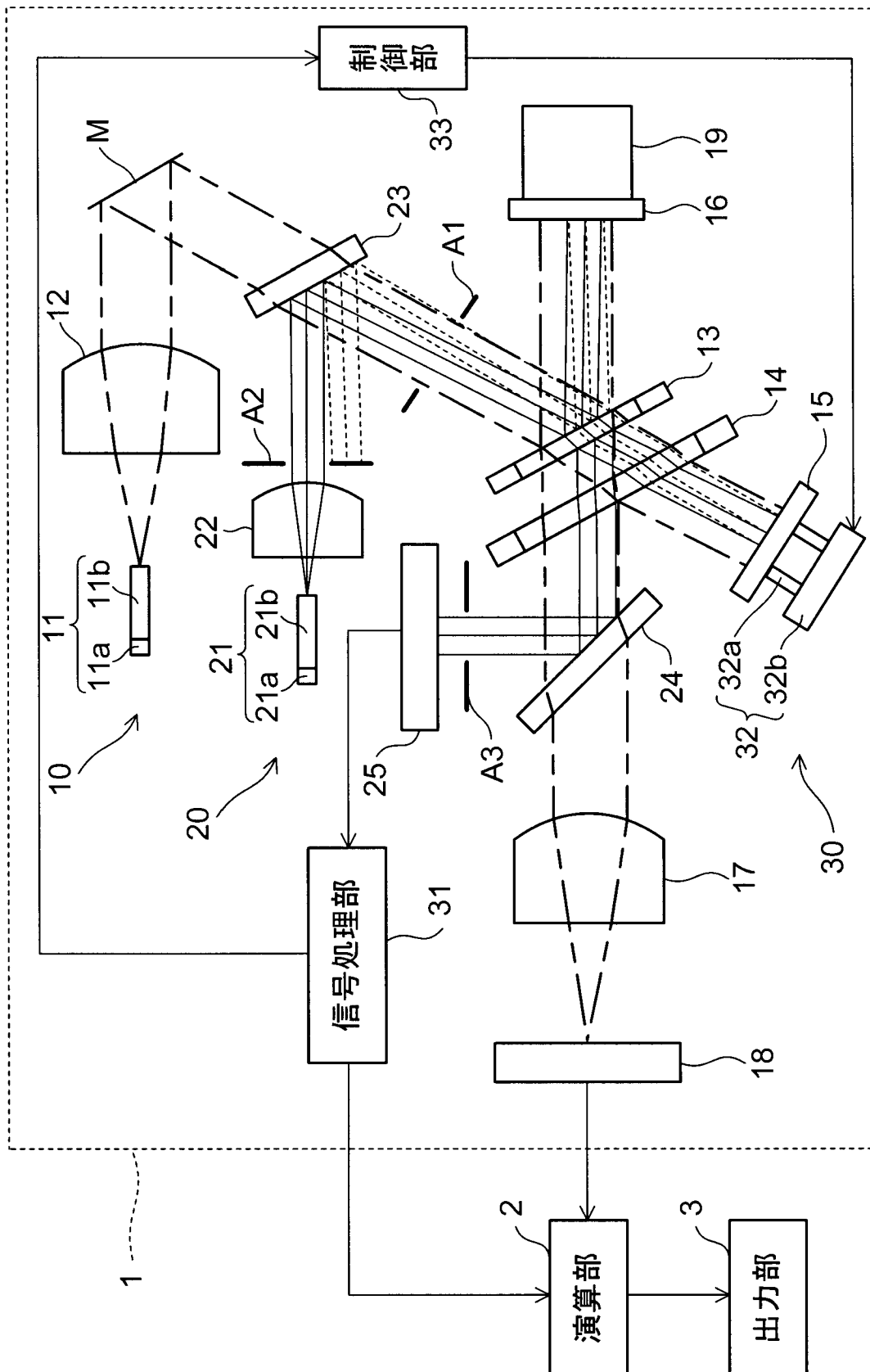
[請求項10] 請求項 1 に記載の干渉計と、
前記干渉計の前記測定光検出器で前記測定干渉光を受光することによって得られるインターフェログラムをサンプリングしてフーリエ変換し、前記測定光に含まれる波長のスペクトルを生成する演算部とを備えていることを特徴とするフーリエ変換分光分析装置。

[請求項11] 前記干渉計は、前記参照光学系の前記参照光検出器での検出結果に基づいて、前記インターフェログラムをサンプリングする際のタイミングを示す信号を生成する信号生成部をさらに備えており、
前記演算部は、前記測定光として特定波長の光を用いたときの測定干渉光のインターフェログラムを、前記信号生成部からの信号に基づくタイミングでサンプリングしてフーリエ変換したときに得られる波長の、前記特定波長からのずれに基づいて、前記サンプリングのタイミングを補正することを特徴とする請求項 10 に記載のフーリエ変換分光分析装置。

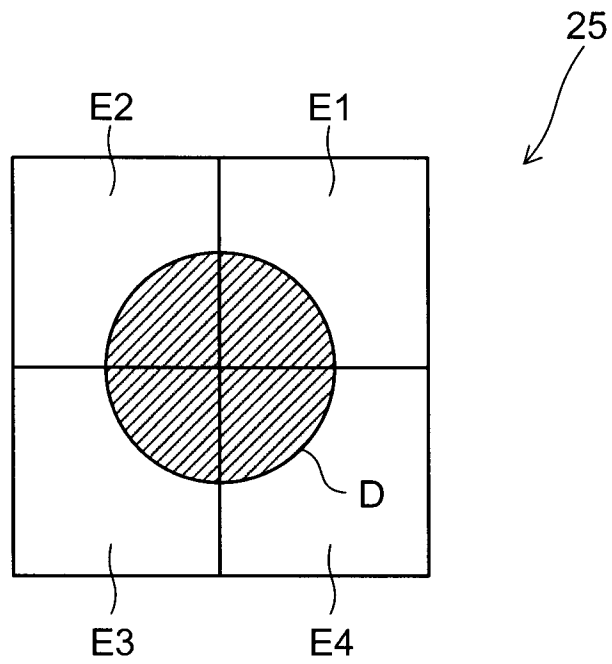
[請求項12] 前記測定光は、近赤外光または赤外光であり、
前記参照光は、赤色光であることを特徴とする請求項 10 に記載の

フーリエ変換分光分析装置。

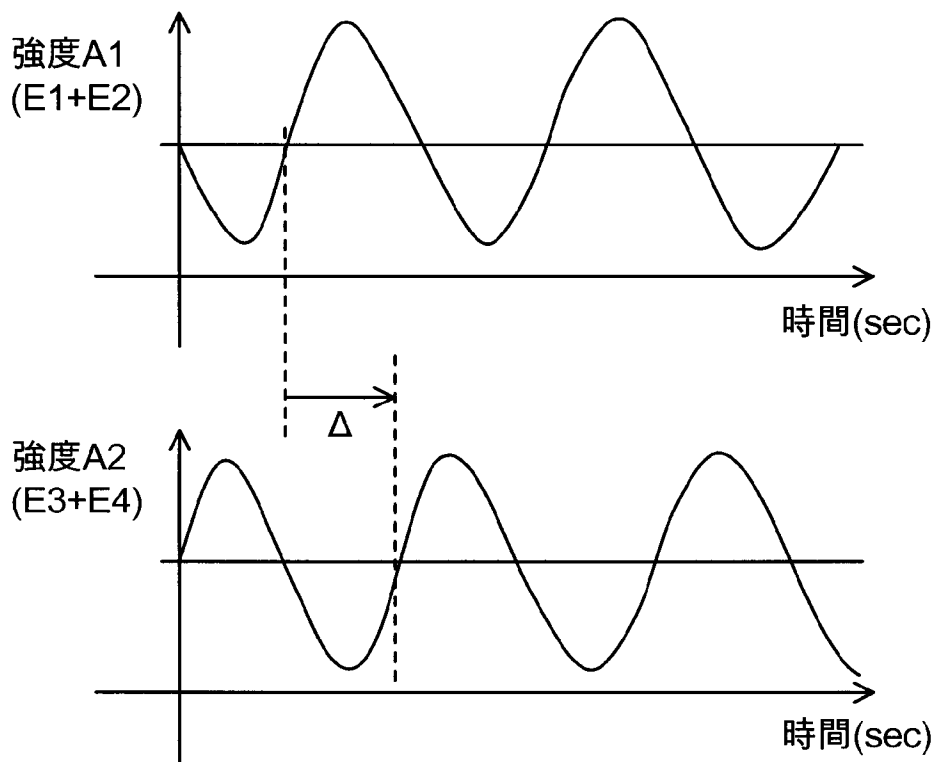
[図1]



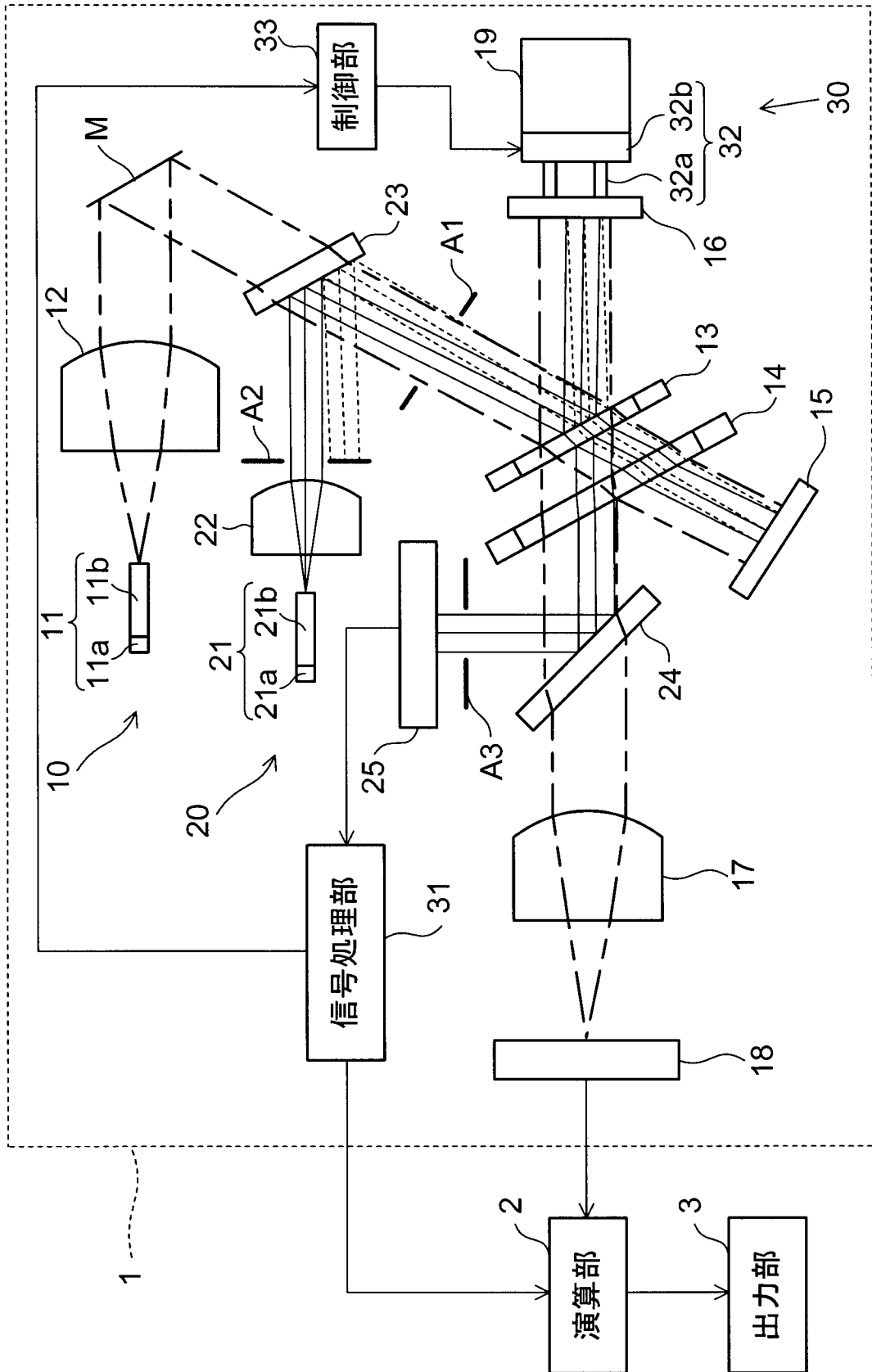
[図2]



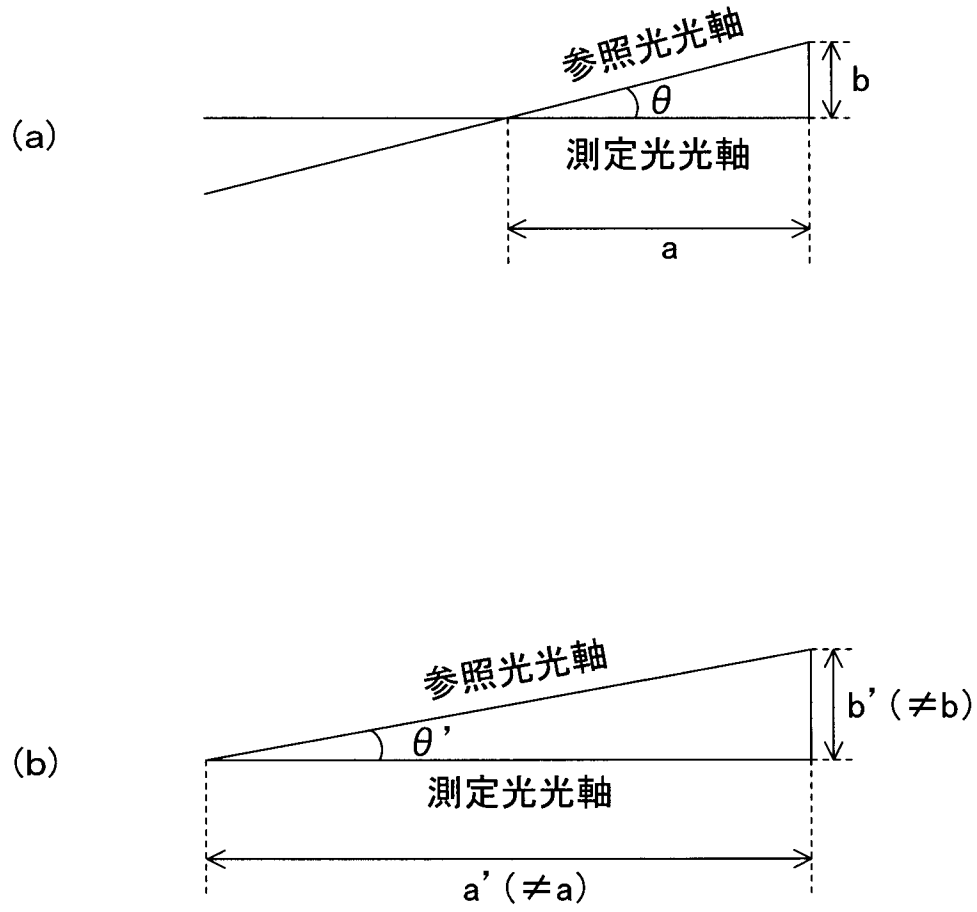
[図3]



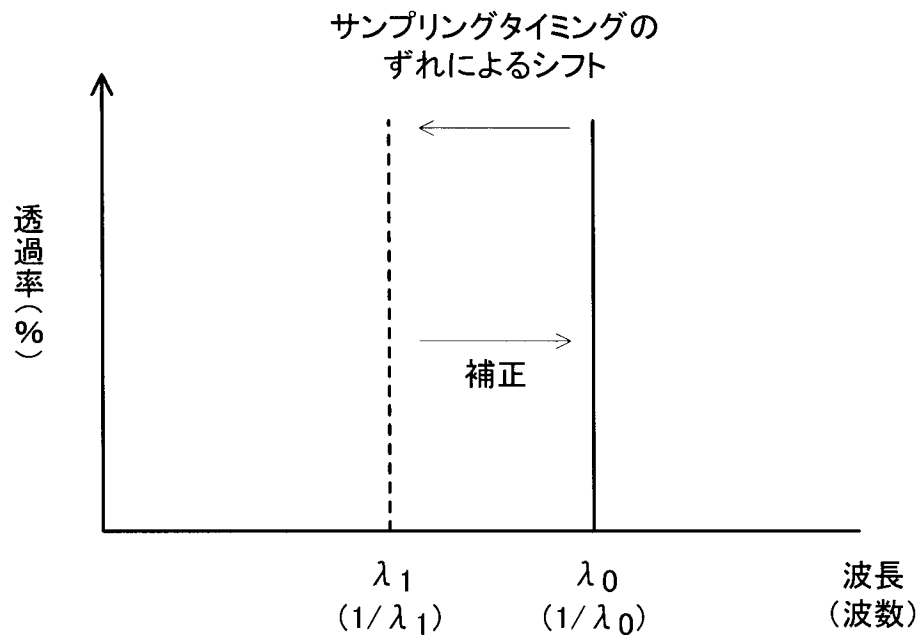
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/070208

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)

G01J3/45, G01J9/02, G01B9/02, G01B11/00-11/30, G01N21/35, H01S5/00-5/022

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 64-013426 A (Shimadzu Corp.), 18 January 1989 (18.01.1989), entire text; fig. 1 to 12 (Family: none)	1-5, 7-10, 12 6, 11
Y A	JP 2010-050137 A (NEC Corp.), 04 March 2010 (04.03.2010), entire text; fig. 1 to 12 & US 2010/0046348 A1	1-5, 7-10, 12 6, 11
Y A	JP 03-161986 A (Toshiba Corp.), 11 July 1991 (11.07.1991), entire text; fig. 1 to 9 & US 4998256 A	1-5, 7-10, 12 6, 11

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
03 December, 2011 (03.12.11)

Date of mailing of the international search report
20 December, 2011 (20.12.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/070208

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 02-253103 A (Shimadzu Corp.), 11 October 1990 (11.10.1990), entire text; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-12
P,A	WO 2011/074452 A1 (Konica Minolta Holdings, Inc.), 23 June 2011 (23.06.2011), entire text; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01J 3/45(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 3/45, G01J 9/02, G01B 9/02, G01B 11/00-11/30, G01N 21/35, H01S 5/00-5/022,

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 1971-2011年
 日本国実用新案登録公報 1996-2011年
 日本国登録実用新案公報 1994-2011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)

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
Y	J P 6 4 - 0 1 3 4 2 6 A (株式会社島津製作所) 1 9 8 9 . 0 1 . 1 8, 全文, 第 1 - 1 2 図 (ファミリーなし)	1-5, 7-10, 12
A		6, 11

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、一般的技术水準を示すもの
 「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 03.12.2011	国際調査報告の発送日 20.12.2011
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 平田 佳規	2W	9807
	電話番号 03-3581-1101 内線 3291		

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 A	JP 2010-050137 A (日本電気株式会社) 2010.03.04, 全文, 第1-12図 & US 2010/0046348 A1	1-5, 7-10, 12 6, 11
Y A	JP 03-161986 A (株式会社東芝) 1991.07.11, 全文, 第1-9図 & US 4998256 A	1-5, 7-10, 12 6, 11
A	JP 02-253103 A (株式会社島津製作所) 1990.10.11, 全文, 第1-9図 (ファミリーなし)	1-12
P, A	WO 2011/074452 A1 (コニカミノルタホールディングス株式会社) 2011.06.23, 全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	1-12