(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
2018年12月13日(13.12.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/225799 A1

(51) 国際特許分類:
G01J 3/45 (2006.01)　*G01N 21/31* (2006.01)
G01J 3/433 (2006.01)　*G02F 1/365* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2018/021762

(22) 国際出願日：　2018年6月6日(06.06.2018)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

(30) 優先権データー：
特願 2017-113823　2017年6月8日(08.06.2017)　JP

(71) 出願人: ウシオ電機株式会社(**USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA**) [JP/JP]; 〒1008150 東京都千代田区丸の内一丁目６番５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 太田 彩(**OTA Aya**); 〒1008150 東京都千代田区丸の内１丁目６番５号 ウシオ電機株式会社内 Tokyo (JP). 横田 利夫(**YOKOTA Toshio**); 〒2430432 神奈川県海老名市中央三丁目３－２３－４０１ Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 保立浩一(**HOTATE Koichi**); 〒1670051 東京都杉並区荻窪五丁目１８番１１号サニーシティ荻窪２０１ Tokyo (JP).

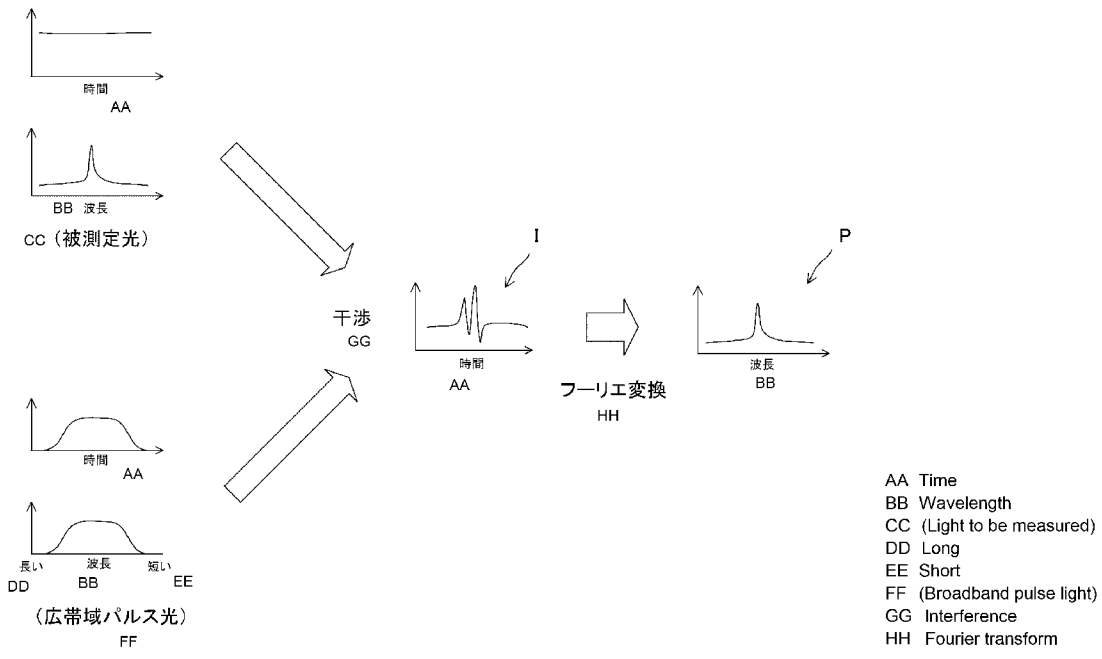
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,

WO 2018/225799 A1

(54) **Title:** SPECTRUM MEASUREMENT METHOD, SPECTRUM MEASUREMENT DEVICE, AND BROADBAND PULSE LIGHT SOURCE UNIT

(54) 発明の名称： 分光測定方法、分光測定装置及び広帯域パルス光源ユニット

[図4]



(57) **Abstract:** [Problem] To provide a novel spectrum measurement feature with which it is possible to perform measurements even when light to be measured is present for only a very short time. [Solution] Light to be measured L0 is caused to interfere with broadband pulse light L1 in which the wavelength continuously changes over time within a pulse, and an output signal of a detector 5 that has detected the resulting interference light is subjected to Fourier transformation, whereby the optical intensity for each wavelength of the light to be measured L0 is obtained. The broadband pulse light

［続葉有］

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

— 補正された請求の範囲(条約第19条(1))

L1 is generated by making laser light L2 from a laser light source 1 into supercontinuum light L3 by a non-linear optical element 2 and subjecting the same to pulse expansion by a pulse expansion element 3.

(57) 要約:【課題】 被測定光が非常に短い時間しか存在していない場合でも測定を行うことができる新しい分光測定技術を提供する。 【解決手段】 パルス内で波長が時間的に連続して変化している広帯域パルス光Ｌ１に被測定光Ｌ０を干渉させ、発生した干渉光を検出した検出器５の出力信号をフーリエ変換することで被測定光Ｌ０の波長ごとの光強度を得る。レーザー光源１からのレーザー光Ｌ２は非線形光学素子２によりスーパーコンティニウム光Ｌ３とされ、それをパルス伸張素子３によりパルス伸張させて広帯域パルス光Ｌ１が生成される。

明　細　書

発明の名称 ：

分光測定方法、分光測定装置及び広帯域パルス光源ユニット

技術分野

[0001]　この出願の発明は、分光測定の技術に関するものである。

背景技術

[0002]　光の波長ごとの強度を測定する分光測定の技術は、材料分析や各種研究において盛んに利用されている。典型的な分光測定装置は、回折格子のような分散素子を使用した装置である。回折格子を使用した分光測定装置では、測定する波長に合わせて回折格子の姿勢を変化させることが必要になる。このため、分光測定装置は、光軸に対して垂直な軸の周りに回折格子を回転させる機構を備えている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１３－２０５３９０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　ある種の分光測定では、非常に短い時間内で測定を終了させることが必要である。例えば、非常に発光時間が短い発光物体の分光発光特性を知ることが必要な場合がある。より具体的には、エンジンのスパークプラグの発光現象の分析や、非常に短い時間の爆発における発光現象の分析が例として挙げられる。

[0005]　このような非常に短い発光を分析する場合、分散素子を使用する従来の分光測定装置では、測定が困難になってきている。この理由は、そのような短い時間内で測定を完了することが難しいか、又は不可能だからである。例えば、従来の分光測定装置を使用して１００ナノメートル（ｎｍ）の帯域幅の光を０．１ｎｍごとに分光測定しようとすると、被測定光が十分な光量であ

る場合でも、０．２秒程度を要する。被測定光が微弱な場合、数十秒を要する。回折格子を使用した分光測定装置では、ＳＮ比を向上させるため、積算回数を多くすることが行われる。この場合には、さらに測定に時間を要することになる。

[0006] 他方、干渉計を利用したフーリエ分光法と呼ばれる手法が、高感度且つ高速の分光測定法として知られている。代表的なものが、有機物の成分分析等に用いられるフーリエ変換赤外分光光度計（ＦＴ－ＩＲ）である。

図１０は、従来の分光測定装置としてのフーリエ変換赤外分光光度計の概略図である。図１０に示すように、ＦＴ－ＩＲは、マイケルソン干渉計の構成を用いている。図１０の例は、ある試料の分光吸光度を測定する例となっている。ランプのような広帯域の連続（非パルス）光源９１からの光は、ハーフミラー９２で分割される。分割された一方の光は固定ミラー９３で反射され、他方の光は移動ミラー９４で反射する。二つの光は、同一の光路に戻され、干渉する。干渉光は、試料Ｓ中を透過して、検出器９５で検出される。

[0007] 光軸方向に移動ミラー９４を移動させながら干渉光の強度を検出器９５で検出すると、インターフェログラム（干渉光強度曲線）が得られる。このインターフェログラムをフーリエ変換することで、スペクトル波形が得られる。この場合、スペクトル波形は、試料の分光吸光度分布である。

ＦＴ－ＩＲは、回折格子を使用した分光測定装置に比べて計測時間が短く、高感度で高分解能であるというメリットを有する。また、広帯域同時測定も可能である。しかしながら、移動ミラー９４の掃引（光軸方向の移動）の周期は、現存機種のうちの速いものでも１０Ｈｚ程度であり、通常、数十回～数百回積算を行うため、測定には数秒～数十秒を要する。したがって、それより短い時間の発光の分光測定には、この方法は使用することができない。

[0008] 近年、材料合成や燃焼過程等の研究では、非常に短い時間の分光測定が必要になってきている。しかしながら、従来の分光測定技術は、このようなニ

ーズに対応できていない。

この出願の発明は、このような従来技術の課題を考慮して為されたものであり、被測定光が非常に短い時間しか存在していない場合でも測定を行うことができる新しい分光測定技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するため、この出願の請求項１記載の発明は、被測定光を、パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光と干渉させ、発生した干渉光の強度を検出器で検出し、検出結果に基づいて被測定光の波長ごとの光強度を得るという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項２記載の発明は、前記請求項１の構成において、前記被測定光は、発光物体から発せられる光であるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項３記載の発明は、前記請求項１又は２の構成において、前記広帯域パルス光は、パルス内で波長が時間的に連続して変化している光であるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項４記載の発明は、前記請求項１乃至３いずれかの構成において、前記広帯域パルス光は、レーザー光源から発せられた光に非線形光学効果を生じさせて得られたスーパーコンティニウム光であるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項５記載の発明は、前記請求項４の構成において、前記広帯域パルス光は、前記スーパーコンティニウム光をパルス伸張させた光であるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項６記載の発明は、前記請求項１乃至５いずれかの構成において、前記検出器からの出力信号を取り込みユニットで取り込む方法であり、前記広帯域パルス光の繰り返し周期は取り込みユニットの取り込み周期以上であるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項７記載の発明は、前記請求項６の構成において、前記取り込みユニットは、オシロスコープであるという構成

を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項８記載の発明は、前記請求項１乃至７いずれかの構成において、前記広帯域パルス光を前記被測定光と干渉させない状態で検出器に入射させ、当該検出器からの出力を前記干渉光の光強度と比較するという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項９記載の発明は、前記請求項１乃至８いずれかの構成において、前記広帯域パルス光における一つのパルスの長さは１００ナノ秒以上であり、波長帯域幅は１００ナノメートル以上であり、繰り返し周波数は１０ＭＨｚ以下であるという構成を有する。

[0010] また、上記課題を解決するため、請求項１０記載の発明は、

パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を発する広帯域パルス光源ユニットと、

被測定光を広帯域パルス光源ユニットからの広帯域パルス光と干渉させる干渉光学系と、

干渉光学系により干渉させた光の強度を検出する検出器と、

検出器からの出力信号に基づいて被測定光の波長ごとの光強度を得る演算処理ユニットとを備えているという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１１記載の発明は、前記請求項１０の構成において、前記広帯域パルス光源ユニットは、パルス内で波長が時間的に連続して変化している広帯域パルス光を発するものであるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１２記載の発明は、前記請求項１０又は１１の構成において、前記広帯域パルス光源ユニットは、レーザー光源と、レーザー光源からのレーザー光に非線形光学効果を生じさせてスーパーコンティニウム光を前記広帯域パルス光として出力する非線形光学素子とを備えているという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１３記載の発明は、前記請求項１２の構成において、前記広帯域パルス光源ユニットは、前記非線形光学素子

から出力された前記スーパーコンティニウム光をパルス伸張させる伸張素子を備えているという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１４記載の発明は、前記請求項１０乃至１３いずれかの構成において、前記検出器からの出力信号を取り込む取り込みユニットを備えており、

前記広帯域パルス光源ユニットは、取り込みユニットの取り込み周期以上の繰り返し周期で前記広帯域パルス光の発するものであるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１５記載の発明は、前記請求項１４の構成において、前記取り込みユニットは、オシロスコープであるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１６記載の発明は、前記請求項１０乃至１５いずれかの構成において、前記広帯域パルス光を前記被測定光と干渉させない状態で検出器に入射させる参照用光学系を備えており、

前記演算処理ユニットは、参照用光学系により前記広帯域パルス光が入射した検出器からの出力を前記干渉光の光強度と比較するものであるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１７記載の発明は、前記請求項１０乃至１６いずれかの構成において、前記広帯域パルス光源ユニットは、一つのパルスの長さが１００ナノ秒以上であり、波長帯域幅が１００ナノメートル以上であり、繰り返し周波数が１０ＭＨｚ以下である前記広帯域パルス光を発するものであるという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１８記載の発明は、前記請求項１０乃至１７いずれかの構成において、前記広帯域パルス光における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて目印とすることを可能にするマーカー素子を備えているという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項１９記載の発明は、前記請求項１８の構成において、前記マーカー素子は、前記既知の特定波長の光の強度を

選択的に減衰させる素子であるという構成を有する。

[0011] また、上記課題を解決するため、請求項２０記載の発明は、

パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を発する広帯域パルス光源ユニットであって、

広帯域パルス光における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて目印とすることを可能にするマーカー素子を備えているという構成を有する。

また、上記課題を解決するため、請求項２１記載の発明は、前記請求項２０の構成において、前記マーカー素子は、前記既知の特定波長の光の強度を選択的に減衰させる素子であるという構成を有する。

発明の効果

[0012] 以下に説明する通り、この出願の請求項１記載の方法又は請求項１０記載の装置によれば、パルス内の経過時間に応じて波長が変化する広帯域パルス光を被測定光と干渉させ、干渉光の強度の検出結果に基づいて被測定光スペクトルを求めるので、ＦＴ－ＩＲのように移動ミラーを移動させることは不要となる。このため、より高速の分光測定が行える。

また、請求項２記載の方法によれば、発光が非常に短い時間の場合でも、測定を行うことができる。

また、請求項３記載の方法又は請求項１１記載の装置によれば、上記効果に加え、広帯域パルス光の波長の時間的変化が連続的であるので、測定が容易であり、波長の抜けのない分光測定が行える。

また、請求項４記載の方法又は請求項１２記載の装置によれば、上記効果に加え、スーパーコンティニウム光により広帯域パルス光を得るので、波長が時間的に変化するパルス光をより広い帯域で得るのが容易となる。

また、請求項５記載の方法又は請求項１３記載の装置によれば、上記効果に加え、パルス伸張素子によりパルス伸張するので、任意のパルス幅の広帯域パルス光を得て測定を容易に最適化することができる。

また、請求項６記載の方法又は請求項１４記載の装置によれば、上記効果

に加え、広帯域パルス光の繰り返し周期が取り込みユニットの取り込み周期以上であるので、干渉光が部分的に取り込まれなくなってしまう問題がない。

また、請求項７記載の方法又は請求項１５記載の装置によれば、上記効果に加え、取り込みユニットがオシロスコープであるので、上記効果を得てインターフェログラムの観察が行える。

また、請求項８記載の方法又は請求項１６記載の装置によれば、上記効果に加え、参照光と比較して干渉光から被測定光のスペクトルを得るので、広帯域パルス光のスペクトル強度が変動したとしてもその影響を受けずに精度の高い分光測定が行える。

また、請求項１８記載の装置によれば、上記効果に加え、マーカー素子を備えているので、パルス内の時刻と波長との対応付けが容易であり、この点で精度の高い分光測定を容易に行うことができる。

また、請求項１９記載の装置によれば、上記効果に加え、マーカー素子を使用しつつも低損失の分光測定が行える。

また、請求項２０記載の装置によれば、広帯域パルス光源ユニットがマーカー素子を備えているので、パルス内の時刻と波長との対応付けを精度良く容易に行うことができる広帯域パルス光源が提供される。

また、請求項２１記載の装置によれば、上記効果に加え、マーカー素子を使用しつつも広帯域パルス光の損失を低くすることができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]第一の実施形態の分光測定方法の概略を示した図である。

[図2]実施形態の分光測定方法における広帯域パルス光の生成について示した概略図である。

[図3]パルス伸張素子として使用された光ファイバの分散特性を示す図である。

[図4]広帯域パルス光と被測定光との干渉現象を利用して分光測定する原理について示した概略図である。

[図5]第一の実施形態の分光測定装置の概略図である。

[図6]第二の実施形態の分光測定装置の概略図である。

[図7]マーカー素子としてのノッチフィルタの特性及び作用を示した概略図である。

[図8]第三の実施形態の分光測定装置の概略図である。

[図9]標準ガスセルの吸収スペクトルの一例を示す図である。

[図10]従来の分光測定装置としてのフーリエ変換赤外分光光度計の概略図である。

発明を実施するための形態

[0014] 次に、この出願発明を実施するための形態（以下、実施形態）について説明する。図１は、第一の実施形態の分光測定方法の概略を示した図である。

この実施形態の分光測定方法は、広帯域パルス光Ｌ１を利用する。広帯域パルス光Ｌ１とは、パルス光ではあるものの、ある程度の帯域幅で波長が分布している光という意味である。特に、この実施形態では、広帯域パルス光Ｌ１は波長が時間的に変化する光となっている。

[0015] 具体的に説明すると、この実施形態では、図１に示すように、広帯域パルス光Ｌ１は波長が時間的に連続して変化する光となっている。この実施形態では、パルス内において時刻が早いほど長波長の光であり、後の時刻ほど短波長の光となっている。即ち、波長が短いほど遅くなる分布となっており、パルス内の時刻と波長とが１対１で対応している。したがって、パルス内の時刻が特定できれば、波長とその波長における強度とが同時に判ることになる。この広帯域パルス光Ｌ１の強度を経時的に検出器で測定した場合、時間経過とともに出力に強弱が現れるが、その強弱は、値が得られた時刻に対応した波長における光強度を意味する。つまり、検出器５からの出力値の時間的変化がスペクトル（分光強度）に相当するということである。

[0016] このように波長が時間的に連続して変化している光は、チャープな光と呼ばれる。実施形態の方法は、チャープな広帯域パルス光Ｌ１を利用して分光測定を行う方法である。

広帯域パルス光Ｌ１の生成について、図２を参照してより具体的に説明する。図２は、実施形態の分光測定方法における広帯域パルス光Ｌ１の生成について示した概略図である。

[0017] 図２に示すように、実施形態において、広帯域パルス光Ｌ１は、レーザー光源１からの光を元にして生成される。パルス光は、しばしばレーザー光源からの光であり、図２に示すようにレーザー光Ｌ２は単一波長（狭帯域）の光である。この実施形態では、レーザー光源１からの光Ｌ２を自己位相変調等の非線形光学効果により広帯域化させている。即ち、自己位相変調等の非線形光学効果により新たな波長が生成され、光が広帯域化する。非線形光学効果により超短パルス光Ｌ２を広帯域化させた光Ｌ３は、スーパーコンティニウム光として知られている。実施形態の方法は、このスーパーコンティニウム光（以下、ＳＣ光と略称する）Ｌ３を利用する。

[0018] 具体的には、実施形態の方法では、ＳＣ光Ｌ３を得るための非線形光学素子２として光ファイバが使用される。光ファイバの場合、微小な領域に光を閉じ込めた状態で光を長い距離伝送することができる。このため、バルク型に比べて、非線形光学効果を得やすいという優位性を有する。

[0019] そして、この実施形態では、分光測定という目的のためにさらに最適化させるべく、このＳＣ光Ｌ３をパルス伸張している。即ち、図２に示すようにパルス伸張素子３によりパルスの時間幅を伸張させ、広帯域パルス光Ｌ１としている。

パルス伸張素子３としては、この実施形態では分散素子が使用される。分散素子としては同様に扱いの容易さ等から光ファイバが使用されており、負の分散スロープを有する光ファイバがパルス伸張素子３として使用される。図３は、パルス伸張素子として使用された光ファイバの分散特性を示す図である。

[0020] この実施形態では、１１００～１６００ｎｍ程度の近赤外域の分光測定を行うことが想定されている。図３では１３００ｎｍ未満が省略されているが、パルス伸張素子３としての光ファイバは、１１００～１６００ｎｍ程度の

範囲において群速度分散が負（正常分散）であり、波長が長くなるほど分散が大きくなる特性（負の分散スロープ）を有している。このため、図２に示すように、ＳＣ光Ｌ３におけるパルスの時間幅が長くなる。ＳＣ光Ｌ３のブロードな波長幅は、そのまま保存され、変化しない。

[0021] 例えば、図２に示すように、中心波長１０６４ｎｍで波長幅０．３ｎｍのレーザー光Ｌ２がレーザー光源１から発せられ、そのレーザー光Ｌ２のパルス幅は９ピコ秒程度である。このレーザー光Ｌ２は、非線形光学素子２により、６００～２０００ｎｍ程度の広帯域のＳＣ光Ｌ３に変換させられ、そのパルス幅は約２００ピコ秒に伸張させられる。そして、ＳＣ光Ｌ３のパルス幅は、パルス伸張素子３により１００ナノ秒（ｎｓ）以上に伸張させられ、広帯域パルス光Ｌ１が得られる。

[0022] 尚、図３に示すような分散特性を有する光ファイバとしては、通信用の分散補償ファイバを転用することができる。通信用としては、正の分散スロープを持つシングルモードファイバが伝送用にしばしば使用されるが、波形の歪みを補償するべく負の分散スロープを有するファイバが分散補償ファイバモジュール（ＤＣＭ）として市販されており、それを使用することができる。

また、非線形光学素子２としての光ファイバについては、一般的なシングルモードファイバで足りるが、測定波長域において正常分散特性を示すものを使用することがチャープなＳＣ光Ｌ３を生成する観点から好ましい。そして、ＳＣ光Ｌ３は、線形チャープな光であることがより好ましい。

[0023] このようにして生成された広帯域パルス光Ｌ１は、図１に示すように、被測定光Ｌ０と干渉させられる。広帯域パルス光Ｌ１を使用し且つ干渉現象を利用して分光測定をすることが、実施形態の方法の原理であり、大きな特徴点となっている。この点について、図４を参照して説明する。図４は、広帯域パルス光Ｌ１と被測定光Ｌ０との干渉現象を利用して分光測定する原理について示した概略図である。

[0024] 図１には、被測定光Ｌ０及び広帯域パルス光Ｌ１のそれぞれについて、時

間をパラメータとした強度分布及び波長をパラメータとした強度分布が示されている。図４に示すように、被測定光Ｌ０については広帯域パルス光Ｌ１の一つのパルスの時間帯よりも十分に長い時間一定の強度で存在しており、その間においてスペクトルは変わらないものとする。また、広帯域パルス光Ｌ１の帯域幅は、測定しようとしている被測定光Ｌ０の帯域幅と同じか又はそれより広いものとなっている。

[0025] 被測定光Ｌ０が広帯域パルス光Ｌ１と同一光路を進むと、被測定光Ｌ０中の波長と広帯域パルス光Ｌ１の波長とが近い場合に干渉が生じ、一致する波長において特に干渉振幅が大きくなる。被測定光Ｌ０と広帯域パルス光Ｌ１とは、一緒になって検出器５に達して強度が測定される。この際、被測定光Ｌ０については、時間によって波長成分が変化することはないが、広帯域パルス光Ｌ１は、上述したように波長が時間的に連続して変化する。即ち、パルスにおいて一番最初は最も長い波長であり、時間経過に伴い順次短い波長となる。したがって、干渉が生じた場合、被測定光Ｌ０に含まれる波長の光が検出器５に入射するタイミングで特に検出器５の干渉振幅が大きくなる。つまり、検出器５から出力値の時間的変化（一つのパルス内での変化）を調べることで、どの波長でどの程度の大きさの干渉が生じているか判ることになる。

[0026] 干渉光の強度は、広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルにも依存するが、広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルが既知であれば、後は被測定光Ｌ０のスペクトルのみである。したがって、検出器５の出力から干渉光の強度を調べ、既知である広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルで規格化することで、被測定光Ｌ０のスペクトルを求めることができる。

[0027] ここで、検出器５に入射する光の状態は、フーリエ変換分光測定法において移動ミラーを移動させて波長掃引を行った場合と等価と考えることができる。ＦＴ－ＩＲにおいて、移動ミラーを移動させると、広帯域連続光（ここでの連続光とはパルス光ではないという意味）のすべての波長の位相差がゼロになる位置において干渉振幅が最大となり、移動ミラーの位置の関数とし

てインターフェログラムを得ることができる。そして、これをフーリエ変換することにより全波長域のスペクトルを一括して同時検出することができる。一方、実施形態のように波長が時間的に変化する広帯域パルス光Ｌ１を用いると、時間の関数としてインターフェログラムＩが得られることになる。実施形態の場合にはスペクトル情報は一括同時検出では得られないが、ＦＴ－ＩＲにおけるミラー掃引速度は掃引の周波数（頻度）で示すと１０Ｈｚ程度であるのに対し、実施形態における１パルスのパルス幅はμ秒オーダーにすることができる。即ち、実施形態での１スキャンの測定時間はＦＴ－ＩＲに比べて１０００００倍速い。複数回の積算回数を必要とする場合や多点測定が必要な場合には、トータルの時間としてこの差は大きな差となる。

[0028] このように、実施形態において、検出器で得られる干渉光の時間的変化は、ＦＴ－ＩＲと同様のインターフェログラムＩであり、ＦＴ－ＩＲの場合と同様のフーリエ変換を行うことでスペクトルが求められる。そして、上述したように、このスペクトルを、既知である広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルで規格化（波長ごとの割り算）をすることで、被測定光Ｌ０のスペクトルＰが求められる。実施形態の分光測定方法は、このような原理に基づいている。

[0029] 次に、上記のような分光測定方法を実施する実施形態の分光測定装置について説明する。図５は、第一の実施形態の分光測定装置の概略図である。

図５に示すように、実施形態の分光測定装置は、広帯域パルス光Ｌ１を発する広帯域パルス光源ユニット１０と、広帯域パルス光Ｌ１と被測定光Ｌ０とを干渉させる干渉光学系４０と、広帯域パルス光Ｌ１と被測定光Ｌ０との干渉光を検出する検出器５と、検出器５からの出力信号を処理する演算処理ユニット６とを備えている。

[0030] 広帯域パルス光源ユニット１０は、前述したように、レーザー光源１と、レーザー光源１からのレーザー光を非線形光学効果によりＳＣ光とする非線形光学素子２と、ＳＣ光のパルスを伸張するパルス伸張素子３とを備えている。

レーザー光源１としては、高いピークパワーを得るため、フェムト秒レーザー光源又はピコ秒レーザー光源が好適に使用される。例えば、チタンサファイアレーザーやファイバレーザー等が使用できる。非線形光学素子２は、例えば１０メートル程度のシングルモードファイバであり、パルス伸張素子３は市販のＤＣＭである。

[0031] 干渉光学系４０は、ハーフミラー４を含んでいる。被測定光Ｌ０が光ファイバで導かれてハーフミラー４に達したり、スリットを経てハーフミラー４に達したりする構成が採用されることもあり得る。

検出器５としては、近赤外域ではＩｎＧａＡｓのようなフォトダイオードを使用したものが採用され得る。検出器５としては応答性の高いものが好ましく、例えばＡＬＰＨＡＬＡＳ社のＵＰＤ－３０－ＶＳＧ－Ｐが使用できる。

[0032] 演算処理ユニット６は、フーリエ変換を含む信号処理を行う信号処理プログラム６１を記憶した記憶部６２と、信号処理プログラムを実行するプロセッサ６３とを含む。演算処理ユニット６としては、パソコンのような汎用コンピュータを使用し得る。尚、インターフェログラムは信号処理プログラムによりフーリエ変換される。尚、実際には、デジタル処理であるので、離散フーリエ変換が行われる。

[0033] この実施形態では、演算処理ユニット６と検出器５との間には、取り込みユニット７０が設けられている。取り込みユニット７０は、この実施形態ではオシロスコープ７となっている。オシロスコープ７に代え、高速ＡＤコンバータによりサンプリングを行うユニットが取り込みユニットとして設けられることもある。

尚、検出器５と取り込みユニット７０の間又は取り込みユニット７０内には、不図示の増幅器が設けられている。さらに、取り込みユニット７０と演算処理ユニット６との間又は演算処理ユニット６内には、不図示のＡＤ変換器が設けられている。

また、取り込みユニット７０は、検出器５に対して演算処理ユニット６と

パラレルに設けられることもある。この場合には、検出器５からの出力信号は、取り込みユニット７０を経ずに演算処理ユニット６に直接送られる。

[0034] 被測定光Ｌ０は、広帯域パルス光源ユニット１０からの広帯域パルス光Ｌ１と干渉し、干渉光の強度が検出器５で検出される。検出器５からの出力の時間的変化であるインターフェログラムＩは、取り込みユニット７０としてのオシロスコープ７に取り込まれ、オシロスコープ７を介して演算処理ユニット６に入力される。そして、演算処理ユニット６でフーリエ変換を含む所定の信号処理が行われ、その結果、被測定光Ｌ０のスペクトルＰが求められる。

[0035] 装置構成のより具体的な一例を示すと、１０００～１６００ｎｍ程度の範囲を測定波長域とする場合、レーザー光源１としては発振波長１０６４ｎｍのパルスレーザーが使用される。パルスの発振周期（繰り返し周期）は１．３ＭＨｚで、パルス幅は５ピコ秒である。

非線形光学素子２としては、コーニング社製のＳＭＦ２８のようなシングルモードファイバが使用され、パルス伸張素子３としては、（株）フジクラ製のＤＣＭ－Ｇ．６５２のようなＤＣＭが使用される。

得られる広帯域パルス光Ｌ１のスペクトル幅は６００ｎｍ（１０００～１６００ｎｍの帯域）であり、パルス幅（時間幅）は７００ｎｍ秒程度となる。この広帯域パルス光Ｌ１を利用することで、１０００～１６０００ｎｍ程度の波長域において被測定光Ｌ０を分光測定が行える。

[0036] 実施形態の分光測定方法及び分光測定装置によれば、パルス内の時刻（経過時間）に応じて波長が変化する広帯域パルス光Ｌ１を被測定光Ｌ０と干渉させてそのインターフェログラムのフーリエ変換により被測定光Ｌ０のスペクトルを求めるので、ＦＴ－ＩＲのように移動ミラーを移動させることは不要である。

[0037] このような実施形態の分光測定方法及び分光測定装置によれば、爆発やエンジンの燃焼のような非常に短い時間しか存在しない光のスペクトルを測定する場合であっても、広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅をその時間以下として

おくことで、分光測定が行える。上記の例では、広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅は７００ｎｓであるので、７００ｎｓ以上の時間で生じている発光であれば、分光測定が行える。

[0038] 広帯域パルス光Ｌ１のスペクトル帯域は、想定される被測定光Ｌ０のスペクトル帯域をカバーするもの、即ち被測定光Ｌ０のスペクトル帯域と同じかそれより広いものであることが好ましい。被測定光Ｌ０のスペクトル帯域よりも狭いと、その部分では測定結果が得られなくなるからである。広帯域パルス光Ｌ１の中心波長は、被測定光Ｌ０に応じて選定されるが、帯域幅は少なくともその前後で５０ｎｍ以上あることが好ましく、全体として１００ｎｍ以上の帯域幅であることが好ましい。

[0039] 尚、ＳＮ比の高い測定を行うため、広帯域パルス光Ｌ１の繰り返しにおいて値を積分することが好ましい。即ち、広帯域パルス光Ｌ１と被測定光Ｌ０との干渉光が広帯域パルス光Ｌ１のパルスの繰り返しにおいて検出器５に複数回入射するようにし、各波長について積分した値を測定結果とする。

[0040] 広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅は、パルス伸張素子３の性能に依存するが、検出器５の立ち上がりに要する時間を考慮して選定されることが好ましい。検出器５は、光が入射してから光電変換により出力が現れるまで、ピコ秒オーダーではあるものの、ある程度の時間（立ち上がり時間）を要する。この時間に比べて広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅が十分にないと、必要な波長幅での分光測定ができなくなる。フォトダイオードのような一般的な光電変換素子を検出器５として使用する場合、広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅は、１００ｎｓ以上であることが好ましい。即ち、広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅を１００ｎｓ以上としておけば、高速応答の特殊な検出器を使用する必要がないという効果が得られる。

[0041] 広帯域パルス光Ｌ１の周期（繰り返し周期）は、広帯域パルス光Ｌ１のパルス幅を目安に、隣り合うパルスが重ならないように設定することが好ましい。例えばパルス幅が前述の７００ｎｓと１μ秒よりやや小さい程度なら、繰り返し周波数は１ＭＨｚ程度に設定することができる。また、検出器５と

取り込みユニット７０における立ち上がり応答速度も考慮して選定されることが好ましい。例えば、検出器５として帯域５ＧＨｚのフォトダイオードを用い、取り込みユニット７０として帯域２ＧＨｚのオシロスコープを用いた場合、立ち上がり応答時間は１８８ｐｓとなる。したがって、隣り合うパルスの間隔は１８８ｐｓ以上必要となる。

[0042] 次に、第二の実施形態の分光測定方法及び分光測定装置について説明する。図６は、第二の実施形態の分光測定装置の概略図である。

上述した第一の実施形態の説明において、広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルは既知であるとした。これは、広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルを予め測定し、演算処理ユニット６において定数として設定しておくということである。これでも良いのであるが、被測定光Ｌ０を測定している際のリアルタイムのスペクトルではない。広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルが安定していて変化がないのであれば問題はないが、変化があり得るのであれば、リアルタイムのスペクトルで規格化すべきである。

[0043] 第二の実施形態は、上記の点を考慮して最適化している。即ち、図６に示すように、第二の実施形態では、参照用光学系４００が設けられている。具体的には、広帯域パルス光源ユニット１０からの広帯域パルス光Ｌ１を分割するビームスプリッタ４１が配置されている。ビームスプリッタ４１で分割された広帯域パルス光Ｌ１の一方は、干渉光学系４０内のハーフミラー４に達して被測定光Ｌ０と干渉し、その強度が検出器（第一の検出器）５で検出される。広帯域パルス光Ｌ１の他方は、干渉光を捉える検出器５とは第二の検出器５１に入射し、第二の検出器５１からの出力信号は、不図示の増幅器で増幅され、第一の検出器５とは別に演算処理ユニット６に入力される。尚、第二の検出器５１の出力をオシロスコープで観察する場合もある。

[0044] 第二の検出器５１からの出力も、その時間的な変化が広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルを意味しているから、演算処理ユニット６は、不図示のＡＤ変換器でデジタル信号とした上で参照用のスペクトルとする。そして、第一の検出器５からの出力（インターフェログラム）から被測定光Ｌ０のスペクト

ルを算出する際の規格化用の値として利用する。

[0045] 第二の実施形態によれば、規格化用の広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルをリアルタイムで得て被測定光Ｌ０のスペクトルを算出するので、その点で測定精度の信頼性が高くなる。第二の検出器５１は、第一の検出器５と同じものが使用されるが、特性にバラツキのないものが使用されることが好ましい。

[0046] また、第二の実施形態では、広帯域パルス光Ｌ１における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて目印とすることを可能にするマーカー素子が設けられている。マーカー素子としては、この実施形態では、既知の特定波長の光の強度を選択的に減衰させるノッチフィルタ（バンドカットフィルタ）８１，８２が採用されている。尚、マーカー素子における「減衰」は、相当量を遮断して検出器に到達させないという意味であり、吸収による場合の他、反射させたり又は散乱させたりする場合を含む。

[0047] 図７は、マーカー素子としてのノッチフィルタ８１，８２の特性及び作用を示した概略図である。図７に示すように、この実施形態では、二枚のノッチフィルタ８１，８２が設けられている。第一のノッチフィルタ８１は、図７（Ａ）に示すように、広帯域パルス光Ｌ１の帯域幅のうちの長波長側の特定波長λ１の光を選択的に減衰させるフィルタとなっている。また、図７（Ｂ）に示すように、第二のノッチフィルタ８２は、広帯域パルス光Ｌ１の帯域幅のうちの短波長側の特定波長λ２の光を選択的に減衰させるフィルタとなっている。これら特定波長λ_1，λ_2は各ノッチフィルタ８１，８２の特性であり、いずれも既知である。

[0048] このような二枚のノッチフィルタ８１，８２に、例えば図７（Ｃ１）のようなスペクトルの広帯域パルス光Ｌ１を通すと、図７（Ｃ２）に示すように、λ_1，λ_2において強度が顕著に低下する。このため、パルス内の経過時刻と波長との対応の目印とすることができる。

例えば、前述したように波長が短いほど遅い時刻に位置する広帯域パルス光Ｌ１の場合であるとすると、第二の検出器５１からの出力の時間的変化に

おいて、最初に顕著な出力時の減衰が見られた時刻をt_1とし、次に出力の顕著な低下が見られた時刻をt_2とすると、時刻t_1はλ_1が検出された時刻であり、t_2はλ_2が検出された時刻ということになる（$\lambda_1 > \lambda_2$）。

[0049] この場合、λ_1とt_1、λ_2とt_2の明確な対応付けができるため、これを基準にして各時刻における強度を対応する波長の強度（スペクトル）とすることができる。時間と波長の対応付けは、パルス伸長素子３の分散から計算することで行える。分散は図３に示すように波長による伝搬速度の違いを表している。例えば、波長１５００ｎｍにおける分散値は－１．４ｎｓ／ｎｍとなっている。これは、例えば波長１４９９ｎｍと１５００ｎｍがパルス伸長素子３を同時に伝搬し始めたとすると、パルス伸長素子３から出射されるときには１５００ｎｍが１４９９ｎｍよりも１ｎｓ遅れている、ということを表している。広帯域パルスはパルス伸長素子３を通過すると、この分散の影響を受けてパルス幅が伸長される。よって、マーカー素子８１によりλ_1とt_1の基準が決定されれば、どの波長がどれだけ遅れて伝搬するかを計算することができ、波長と時間の対応付けを行うことができる。

[0050] この場合、分散はパルス伸長素子３の周囲の温度の影響などで変化する可能性がある。分散が変化すると波長と時間の関係が変化する。ペルチェ素子等を用いて温度安定化を図ることも対策の一つではあるが、コストアップとなる。そこで、例えば別のマーカー素子８２を挿入し、λ_2とt_2の波長と時間の関係を得ることで、λ_1とt_1を基準にして分散から計算されるt_2と、マーカー素子８２で観察されるt_2の時間がどれくらい一致しているかを確認し、そのずれ量をデータの確かさの指標にしたり、ズレ量が大きい場合はパルス伸長素子３の分散を再測定して校正したりするなどの対策を取ることができる。

[0051] マーカー素子が無い場合、広帯域パルス光Ｌ１のうちの最も長い波長と最も短い波長とによって上記特定を行うことになる。この方法でも実施可能であるが、図１などに示したように、広帯域パルス光Ｌ１の始まりと終わりは信号が微弱なので、どの時刻が始まりでどの時刻が終わりであるか特定する

ことが難しい場合が多く、精度低下の原因になり易い。上記のようにマーカー素子８１，８２を使用すると、精度の高い分光測定を安定して行うことができる。よって、マーカー素子は、二つ以上設けること（即ち、二つ以上の既知の波長の検出時刻を特定すること）が好ましいが、一つであっても測定精度の向上には寄与する。

[0052] また、マーカー素子としては、ノッチフィルタの他、ファイバブラッググレーティング（ＦＢＧ）を使用することも可能である。精度の高い分光測定のためには、ノッチフィルタにおける選択減衰帯域は１ｎｍ以下であることが好ましいが、ノッチフィルタは誘電体多層膜で形成されるため、そのような狭帯域の特性を得ようとすると高コストとなり易い。また、狭帯域化すると、それ以外の帯域の透過率も低下してしまい損失が大きくなる。一方、ＦＢＧの場合、ファイバ中にその長さ方向に高低の屈折率周期構造が形成されているため、ノッチフィルタに比べると１ｎｍ以下といった狭帯域減衰特性を得るのが容易で、他の帯域の光の損失も少ない。また、広帯域パルス光源ユニット１０のパルス伸張素子３として光ファイバが使用されている場合、ファイバ同士を融着することも可能であり、ファイバ系の光学構造として親和性が高い。

[0053] 次に、第三の実施形態の分光測定方法及び分光測定装置について説明する。図８は、第三の実施形態の分光測定装置の概略図である。

図８に示すように、第三の実施形態においても、広帯域パルス光Ｌ１をビームスプリッタ４１で二つに分け、その一方を被測定光Ｌ０と干渉させ、他方を規格化用の光として第二の検出器５１に入射させている。この第三の実施形態では、第二の実施形態のノッチフィルタ８１，８２に代えて標準ガスセル８３がマーカー素子として使用されている。

標準ガスセルは、良く知られた吸収スペクトルを持つガスがセルに封入された構造のものである。ガス種固有の鋭い吸収スペクトルを有するため、各種波長校正用に使用されている。図９に、標準ガスセルの吸収スペクトルの一例を示す。この例は、米国のWavelength Reference社のアセチレン標準ガ

スセル（２００Ｔｏｒｒ、長さ３ｃｍ）の例である。セルの入射側と出射側の双方にファイバを接続した構造の標準ガスセルも市販されており、実施形態における広帯域パルス光源ユニット１０の出射側に接続するのも容易である。

[0054] 標準ガスセルのような既知の波長において顕著な吸収スペクトルを有する試料中に広帯域パルス光Ｌ１を透過させると、その特定の波長の光を捉えた時刻において検出器５１からの出力が顕著に低下する。図７に示すように、標準ガスセル８３は多数の吸収スペクトルを有するから、精密な波長補正が可能となる。とはいえ、標準ガスセル８３の場合も、少なくとも一つの既知の吸収スペクトルがあれば、測定精度の向上が期待できることは言うまでもない。尚、標準となる試料がガスである必要はなく、液体や固体であっても良い。一般的に表現すれば、少なくとも一つの既知の顕著な吸収スペクトルを有する試料を備えた標準試料ユニットがマーカー素子として使用できるということである。

[0055] 尚、広帯域パルス光源ユニット１０が上述したようなるマーカー素子８１，８２，８３を備えていることは、被測定光Ｌ０との干渉を利用した分光測定という用途以外でも意義を有する。例えば、広帯域パルス光源ユニット１０からの光を試料に直接照射し、その透過光、反射光、散乱光等を捉えて試料の分析を行う分光測定装置が考えられる。この場合でも、パルス内の時刻と波長との対応付けを精度良く容易に行うことが重要であり、上記構成は、この点で顕著な意義を有する。

また、マーカー素子８１，８２，８３は、ビームスプリッタ４１で分割された他方（被測定光Ｌ０と干渉しない方）の広帯域パルス光Ｌ１の光路上に設けられていても良い。この場合、既知の特定波長の光やその外側の帯域の光も被測定光Ｌ０と干渉するので、その帯域の測定結果も必要な場合には好適な構成となる。

[0056] また、上記各実施形態では、広帯域パルス光Ｌ１は波長が時間的に連続して変化する光であるとしたが、本願発明の実施に際しては、時間的に変化し

ていれば足り、必ずしも連続している必要はない。超短パルスレーザー光に非線形光学効果を生じさせてＳＣ光を生成する際、非線形光学素子としての光ファイバの分散特性が異常分散を含む場合、チャープなＳＣ光にはならず時間的に離散した状態になる場合がある。このようなＳＣ光をパルス伸張して得た広帯域パルス光Ｌ１の場合でも、パルス内の時刻と波長との対応関係が予め判っていれば波長を特定することができる。但し、波長が連続して変化するチャープなＳＣ光の方が波長の特定が容易であり、また波長の抜け（測定できない波長）が無いので好適である。

[0057] 上記実施形態では、ＳＣ光をパルス伸張素子３でパルス伸張させることで広帯域パルス光Ｌ１を得たが、他の構成もあり得る。例えば、チタンサファイアレーザーのようなある種のレーザーでは、２００ｎｍ程度のブロードな帯域幅（中心波長に対して±１００ｎｍ）で発振できるものがあり、そのようなレーザー光源１からの出力をパルス伸張素子３でパルス伸張させても広帯域パルス光Ｌ１を得ることができる。この場合、ピークパワーが小さければ特に非線形光学効果は利用しないということになる。但し、上記実施形態のように非線形光学効果を利用して広帯域の光を得る方がより広い帯域を容易に得ることができる。

[0058] パルス伸張素子３は、測定波長の全帯域において正常分散特性を有するものであったが、素子の性質として異常分散特性である波長帯域を有していても良い。但し、ゼロ分散波長付近の波長域ではパルスが伸長されないため波長の時間差が得られず分解能が低くなる。また、正常分散と異常分散が混在すると時間と波長の１対１対応が取れなくなる。よって、パルス伸長素子３がパルス伸長素子３へ入射される波長域においてゼロ分散波長を含み、正常分散と異常分散が混在する場合、パルス伸長素子３に入射する前の光路上に正常分散領域又は異常分散領域のみになるよう波長カットフィルタを設けると良い。

[0059] 尚、パルス伸張素子３は、分散作用を有するものであったが、同時に非線形光学効果を奏する素子であっても良い。即ち、非線形光学効果によって新

たな波長を生成しつつ（波長帯を広くしつつ）、同時にパルス幅を広くする素子であっても良い。

また、パルス伸張素子３を使用しなくてもＳＣ光のままで十分に長いパルス幅の場合もあり、パルス伸張素子３を使用することは必須ではない。但し、より広いパルス幅にしたり、任意のパルス幅に伸張したりすることができるという点で、パルス伸張素子３の使用には意義がある。

[0060] 上述したように、各実施形態の方法及び装置は、爆発やエンジンの燃焼のような非常に短い時間の発光の分析に適している。とはいえ、本願発明は、波長が時間的に変化する広帯域パルス光Ｌ１と被測定光Ｌ０との干渉を利用して分光測定する原理に特徴点があり、必ずしもそのような用途には限られない。長い発光現象を分析する用途にも使用できるし、発光現象に限らず、分光吸光度や分光透過率といった材料の分光特性を測定する用途にも使用できる。

[0061] 尚、広帯域パルス光Ｌ１の帯域幅は、想定される被測定光Ｌ０のスペクトルをカバーするものであることが好ましいと説明したが、そうでない場合にも実施は可能である。この場合、広帯域パルス光Ｌ１のスペクトルが存在しない波長では、被測定光Ｌ０のスペクトルを知ることはできないので、その部分の値は測定から除外するよう信号処理プログラム６１がプログラミングされる。

[0062] また、第二の実施形態におけるマーカー素子としてのノッチフィルタ８１，８２や第三の実施形態におけるマーカー素子としての標準ガスセル８３は、被測定光Ｌ０と干渉させる光とは別に規格化用に検出器５１で強度を検出する場合でなくとも、効果を奏する場合がある。例えば、被測定光Ｌ０が比較的フラットなスペクトル分布を有していれば、被測定光Ｌ０と広帯域パルス光Ｌ１との干渉光強度の分布において顕著にその強度が低くなっている箇所を目印とすることが可能であり、第一の実施形態においてノッチフィルタ８１，８２を設けたり、又は標準ガスセル８３を設けたりしても良い。

[0063] 尚、マーカー素子については、既知の特定の波長を減衰させるものの場合

の他、既知の特定の波長の光を減衰させずに他の波長の光を減衰させる特性のものであっても実施は可能である。但し、この場合、光の損失が大きくなるので、既知の特定の波長を減衰させるタイプの方が好ましい。

符号の説明

[0064] Ｌ０　被測定光

Ｌ１　広帯域パルス光

Ｌ２　レーザー光

Ｌ３　スーパーコンティニウム光

１０　広帯域パルス光源ユニット

１　レーザー光源

２　非線形光学素子

３　パルス伸張素子

４０　干渉光学系

４００　参照用光学系

４　ハーフミラー

４１　ビームスプリッタ

５　検出器

５１　検出器

６　演算処理ユニット

６１　信号処理プログラム

６２　記憶部

６３　プロセッサ

７０　取り込みユニット

７　オシロスコープ

８１　マーカー素子としてのノッチフィルタ

８２　マーカー素子としてのノッチフィルタ

８３　マーカー素子としての標準ガスセル

請求の範囲

[請求項1] 被測定光を、パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光と干渉させ、発生した干渉光の強度を検出器で検出し、検出結果に基づいて被測定光の波長ごとの光強度を得ることを特徴とする分光測定方法。

[請求項2] 前記被測定光は、発光物体から発せられる光であることを特徴とする請求項１記載の分光測定方法。

[請求項3] 前記広帯域パルス光は、パルス内で波長が時間的に連続して変化している光であることを特徴とする請求項１又は２記載の分光測定方法。

[請求項4] 前記広帯域パルス光は、レーザー光源から発せられた光に非線形光学効果を生じさせて得られたスーパーコンティニウム光であることを特徴とする請求項１乃至３いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項5] 前記広帯域パルス光は、前記スーパーコンティニウム光をパルス伸張させた光であることを特徴とする請求項４記載の分光測定方法。

[請求項6] 前記検出器からの出力信号を取り込みユニットで取り込む方法であり、前記広帯域パルスの繰り返し周期は取り込みユニットの取り込み周期は以上であることを特徴とする請求項１乃至５いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項7] 前記取り込みユニットは、オシロスコープであることを特徴とする請求項６記載の分光測定方法。

[請求項8] 前記広帯域パルス光を前記被測定光と干渉させない状態で検出器に入射させ、当該検出器からの出力を前記干渉光の光強度と比較することを特徴とする請求項１乃至７いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項9] 前記広帯域パルス光における一つのパルスの長さは１００ナノ秒以上であり、波長帯域幅は１００ナノメートル以上であり、繰り返し周波数は１０ＭＨｚ以下であることを特徴とする請求項１乃至８いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項10] パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を発する広帯域パルス光源ユニットと、

被測定光を広帯域パルス光源ユニットからの広帯域パルス光と干渉させる干渉光学系と、

干渉光学系により干渉させた光の強度を検出する検出器と、

検出器からの出力信号に基づいて被測定光の波長ごとの光強度を得る演算処理ユニットとを備えていることを特徴とする分光測定装置。

[請求項11] 前記広帯域パルス光源ユニットは、パルス内で波長が時間的に連続して変化している広帯域パルス光を発するものであることを特徴とする請求項１０記載の分光測定装置。

[請求項12] 前記広帯域パルス光源ユニットは、レーザー光源と、レーザー光源からのレーザー光に非線形光学効果を生じさせてスーパーコンティニウム光を前記広帯域パルス光として出力する非線形光学素子とを備えていることを特徴とする請求項１０又は１１記載の分光測定装置。

[請求項13] 前記広帯域パルス光源ユニットは、前記非線形光学素子から出力された前記スーパーコンティニウム光をパルス伸張させる伸張素子を備えていることを特徴とする請求項１２記載の分光測定装置。

[請求項14] 前記検出器からの出力信号を取り込む取り込みユニットを備えており、

前記広帯域パルス光源ユニットは、取り込みユニットの取り込み周期以上の繰り返し周期で前記広帯域パルス光の発するものであることを特徴とする請求項１０乃至１３いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項15] 前記取り込みユニットは、オシロスコープであることを特徴とする請求項１４記載の分光測定装置。

[請求項16] 前記広帯域パルス光を前記被測定光と干渉させない状態で検出器に入射させる参照用光学系を備えており、

前記演算処理ユニットは、参照用光学系により前記広帯域パルス光が入射した検出器からの出力を前記干渉光の光強度と比較するもので

あることを特徴とする請求項１０乃至１５いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項17] 前記広帯域パルス光源ユニットは、一つのパルスの長さが１００ナノ秒以上であり、波長帯域幅が１００ナノメートル以上であり、繰り返し周波数が１０ＭＨｚ以下である前記広帯域パルス光を発するものであることを特徴とする請求項１０乃至１６いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項18] 前記広帯域パルス光における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて目印とすることを可能にするマーカー素子を備えていることを特徴とする請求項１０乃至１７いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項19] 前記マーカー素子は、前記既知の特定波長の光の強度を選択的に減衰させる素子であることを特徴とする請求項１８記載の分光測定装置。

[請求項20] パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を発する広帯域パルス光源ユニットであって、

広帯域パルス光における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて目印とすることを可能にするマーカー素子を備えていることを特徴とする広帯域パルス光源ユニット。

[請求項21] 前記マーカー素子は、前記既知の特定波長の光の強度を選択的に減衰させる素子であることを特徴とする請求項２０記載の広帯域パルス光源ユニット。

補正された請求の範囲
[2018年10月31日(31.10.2018)国際事務局受理]

[請求項１] （補正後） パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を物体に照射することなく物体から出た被測定光を、当該広帯域パルス光と干渉させ、発生した干渉光の強度を検出器で検出し、検出結果に基づいて被測定光の波長ごとの光強度を得ることを特徴とする分光測定方法。

[請求項２] 前記被測定光は、発光物体から発せられる光であることを特徴とする請求項１記載の分光測定方法。

[請求項３] 前記広帯域パルス光は、パルス内で波長が時間的に連続して変化している光であることを特徴とする請求項１又は２記載の分光測定方法。

[請求項４] 前記広帯域パルス光は、レーザー光源から発せられた光に非線形光学効果を生じさせて得られたスーパーコンティニウム光であることを特徴とする請求項１乃至３いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項５] 前記広帯域パルス光は、前記スーパーコンティニウム光をパルス伸張させた光であることを特徴とする請求項４記載の分光測定方法。

[請求項６] （補正後） 前記検出器からの出力信号を取り込みユニットで取り込む方法であり、前記広帯域パルスの繰り返し周期は取り込みユニットの取り込み周期以上であることを特徴とする請求項１乃至５いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項７] 前記取り込みユニットは、オシロスコープであることを特徴とする請求項６記載の分光測定方法。

[請求項８] 前記広帯域パルス光を前記被測定光と干渉させない状態で検出器に入射させ、当該検出器からの出力を前記干渉光の光強度と比較することを特徴とする請求項１乃至７いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項９] 前記広帯域パルス光における一つのパルスの長さは１００ナノ秒以上であり、波長帯域幅は１００ナノメートル以上であり、繰り返し周波数は１０ＭＨｚ以下であることを特徴とする請求項１乃至８いずれかに記載の分光測定方法。

[請求項１０] パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を発する広帯域

パルス光源ユニットと、

被測定光を広帯域パルス光源ユニットからの広帯域パルス光と干渉させる干渉光学系と、

干渉光学系により干渉させた光の強度を検出する検出器と、

検出器からの出力信号に基づいて被測定光の波長ごとの光強度を得る演算処理ユニットとを備えていることを特徴とする分光測定装置。

[請求項１１] 前記広帯域パルス光源ユニットは、パルス内で波長が時間的に連続して変化している広帯域パルス光を発するものであることを特徴とする請求項１０記載の分光測定装置。

[請求項１２] 前記広帯域パルス光源ユニットは、レーザー光源と、レーザー光源からのレーザー光に非線形光学効果を生じさせてスーパーコンティニウム光を前記広帯域パルス光として出力する非線形光学素子とを備えていることを特徴とする請求項１０又は１１記載の分光測定装置。

[請求項１３] 前記広帯域パルス光源ユニットは、前記非線形光学素子から出力された前記スーパーコンティニウム光をパルス伸張させる伸張素子を備えていることを特徴とする請求項１２記載の分光測定装置。

[請求項１４] （補正後） 前記検出器からの出力信号を取り込む取り込みユニットを備えており、

前記広帯域パルス光源ユニットは、取り込みユニットの取り込み周期以上の繰り返し周期で前記広帯域パルス光を発するものであることを特徴とする請求項１０乃至１３いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項１５] 前記取り込みユニットは、オシロスコープであることを特徴とする請求項１４記載の分光測定装置。

[請求項１６] 前記広帯域パルス光を前記被測定光と干渉させない状態で検出器に入射させる参照用光学系を備えており、

前記演算処理ユニットは、参照用光学系により前記広帯域パルス光が入射した検出器からの出力を前記干渉光の光強度と比較するものであることを特徴とする請求項１０乃至１５いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項１７] 前記広帯域パルス光源ユニットは、一つのパルスの長さが１００ナノ秒以上であり、波長帯域幅が１００ナノメートル以上であり、繰り返し周波数が１０ＭＨｚ以下である前記広帯域パルス光を発するものであることを特徴とする請求項１０乃至１６いずれかに記載の分光測定装置。

[請求項１８] （補正後） 前記広帯域パルス光における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて波長と時間とを対応付ける際の目印とすることを可能にするマーカー素子を備えていることを特徴とする請求項１０乃至１７いずれかに記載の分光測定装置。

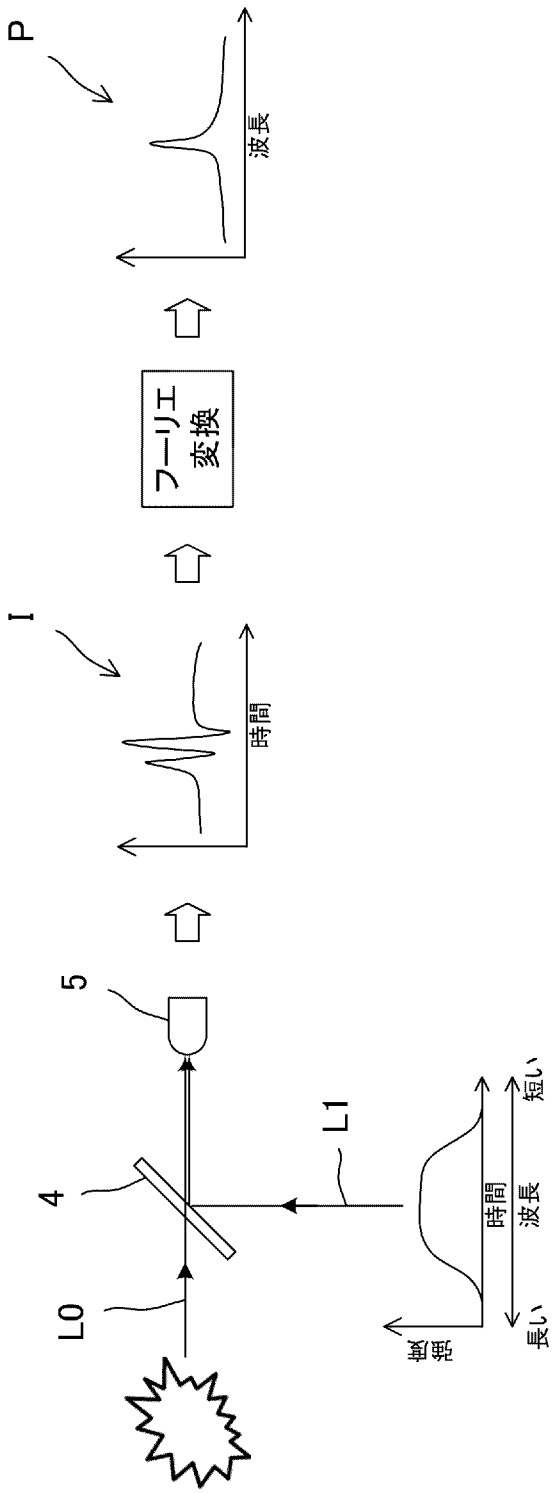
[請求項１９] 前記マーカー素子は、前記既知の特定波長の光の強度を選択的に減衰させる素子であることを特徴とする請求項１８記載の分光測定装置。

[請求項２０] （補正後） パルス内で波長が時間的に変化している広帯域パルス光を発する広帯域パルス光源ユニットであって、

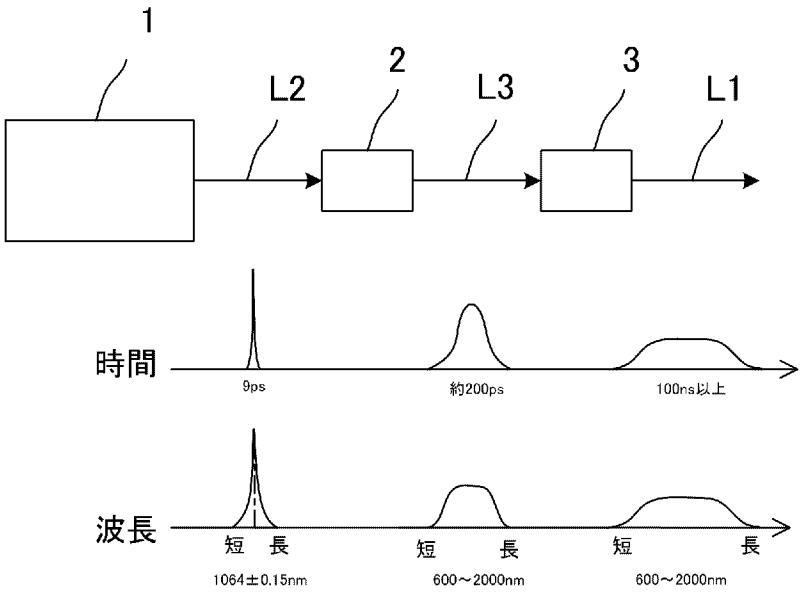
広帯域パルス光における波長帯域内の既知の特定波長の光の強度を選択的に変動させて波長と時間とを対応付ける際の目印とすることを可能にするマーカー素子を備えていることを特徴とする広帯域パルス光源ユニット。

[請求項２１] 前記マーカー素子は、前記既知の特定波長の光の強度を選択的に減衰させる素子であることを特徴とする請求項２０記載の広帯域パルス光源ユニット。

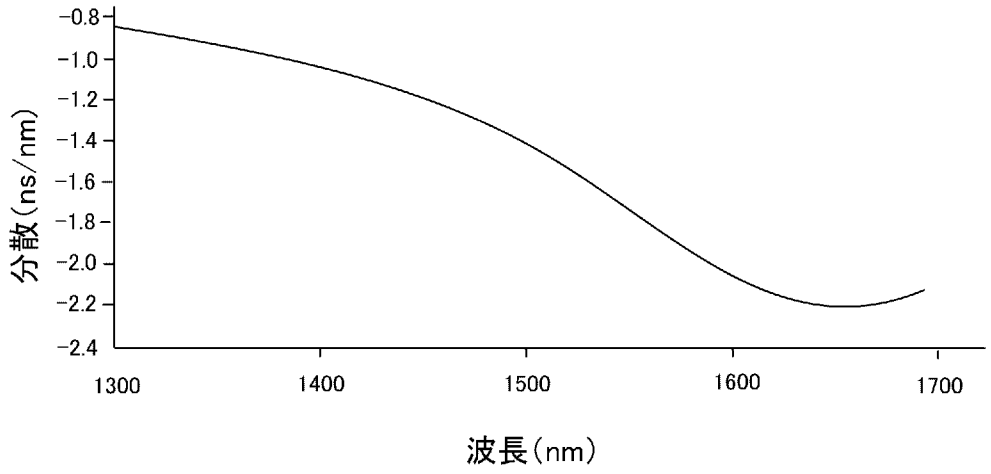
[図1]



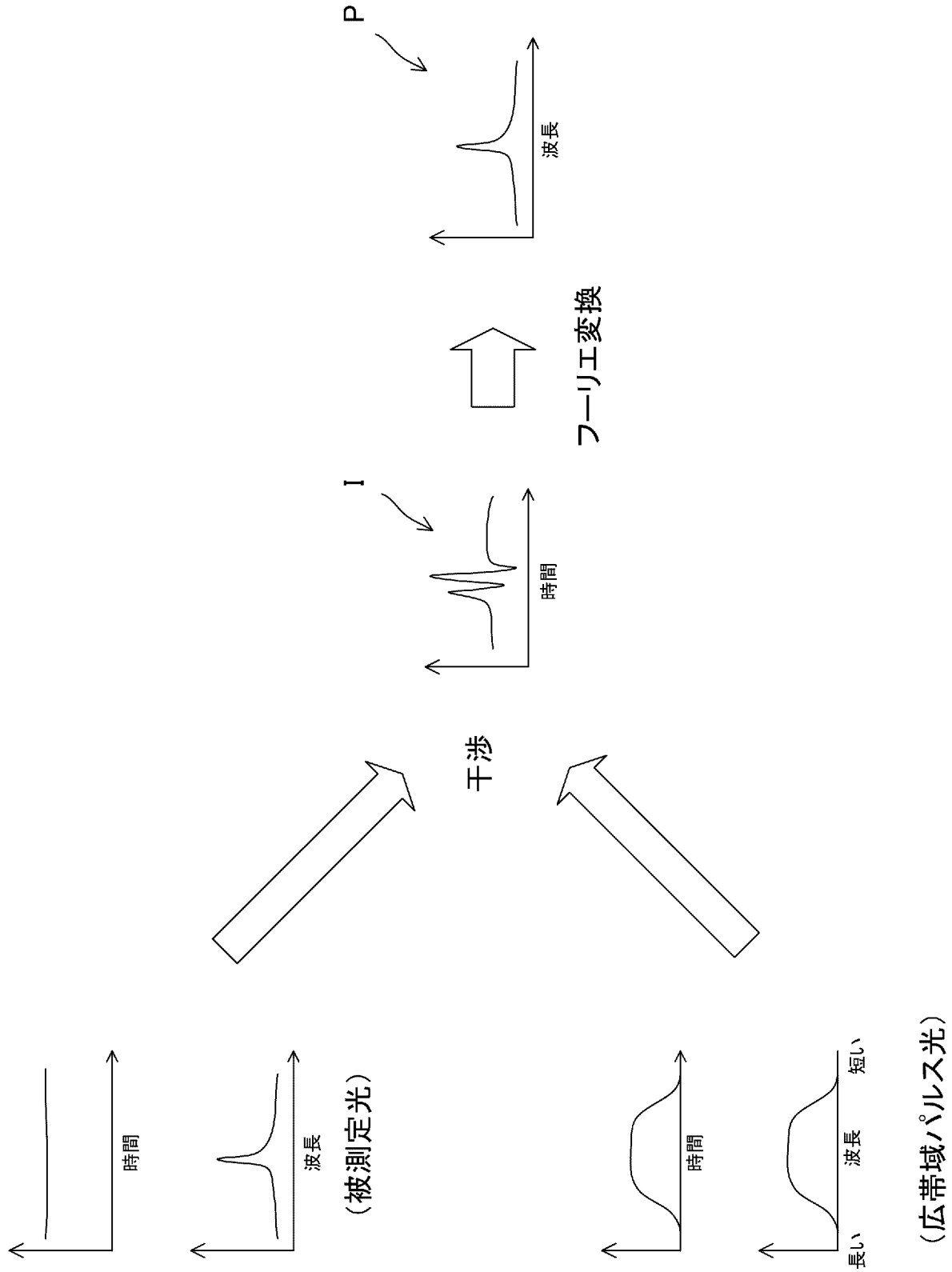
[図2]


1
2
3
L2
L3
L1
時間
9ps
約200ps
100ns以上
波長
短
長
1064±0.15nm
600～2000nm
600～2000nm

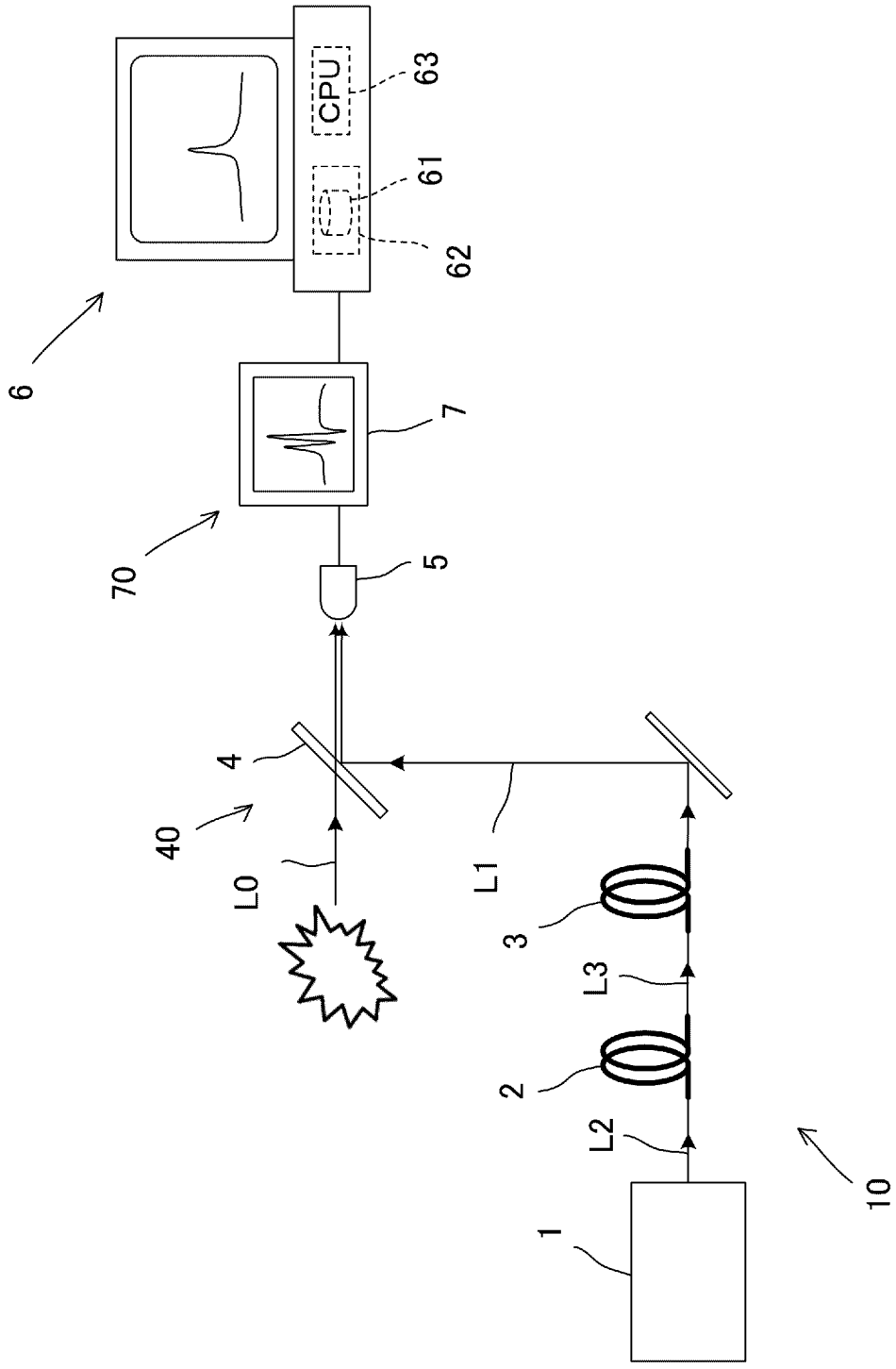
[図3]



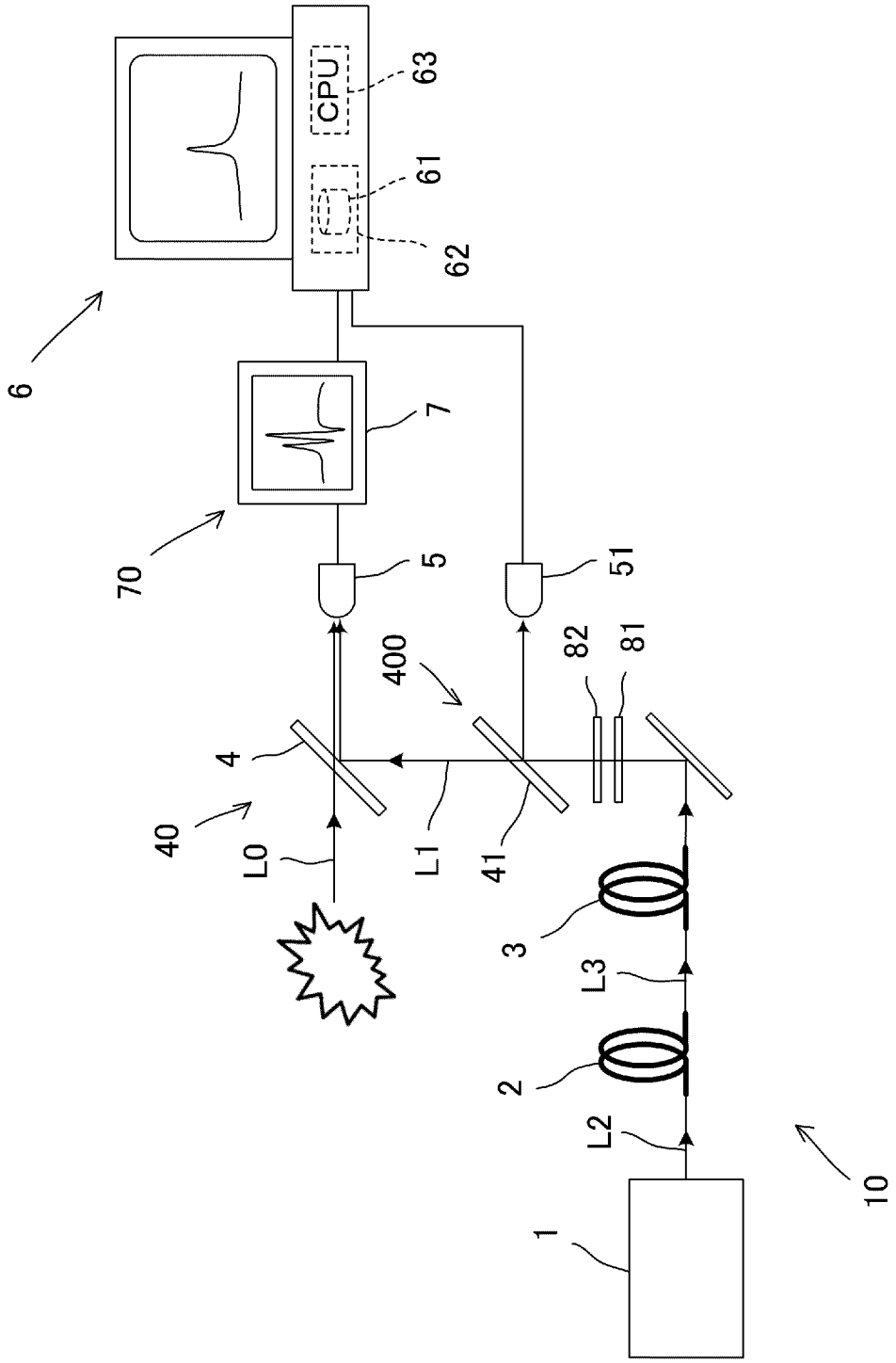
[図4]



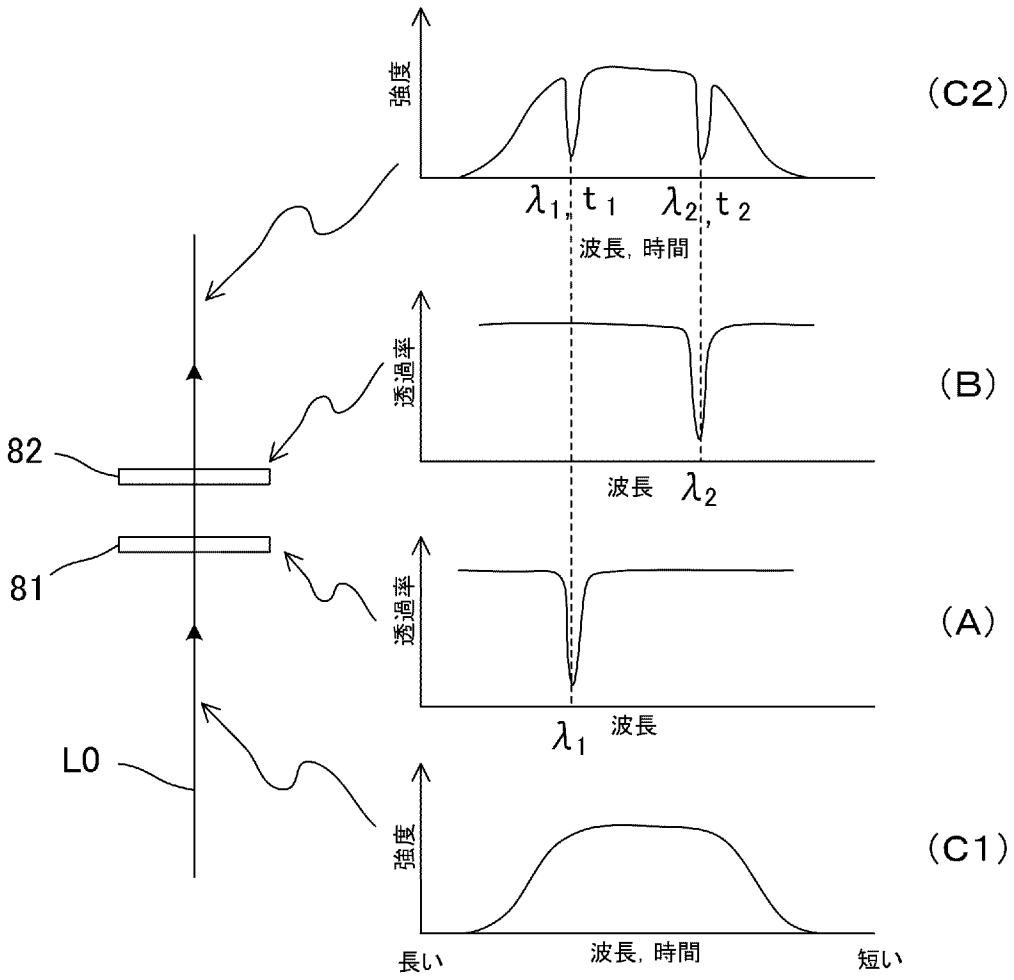
[図5]



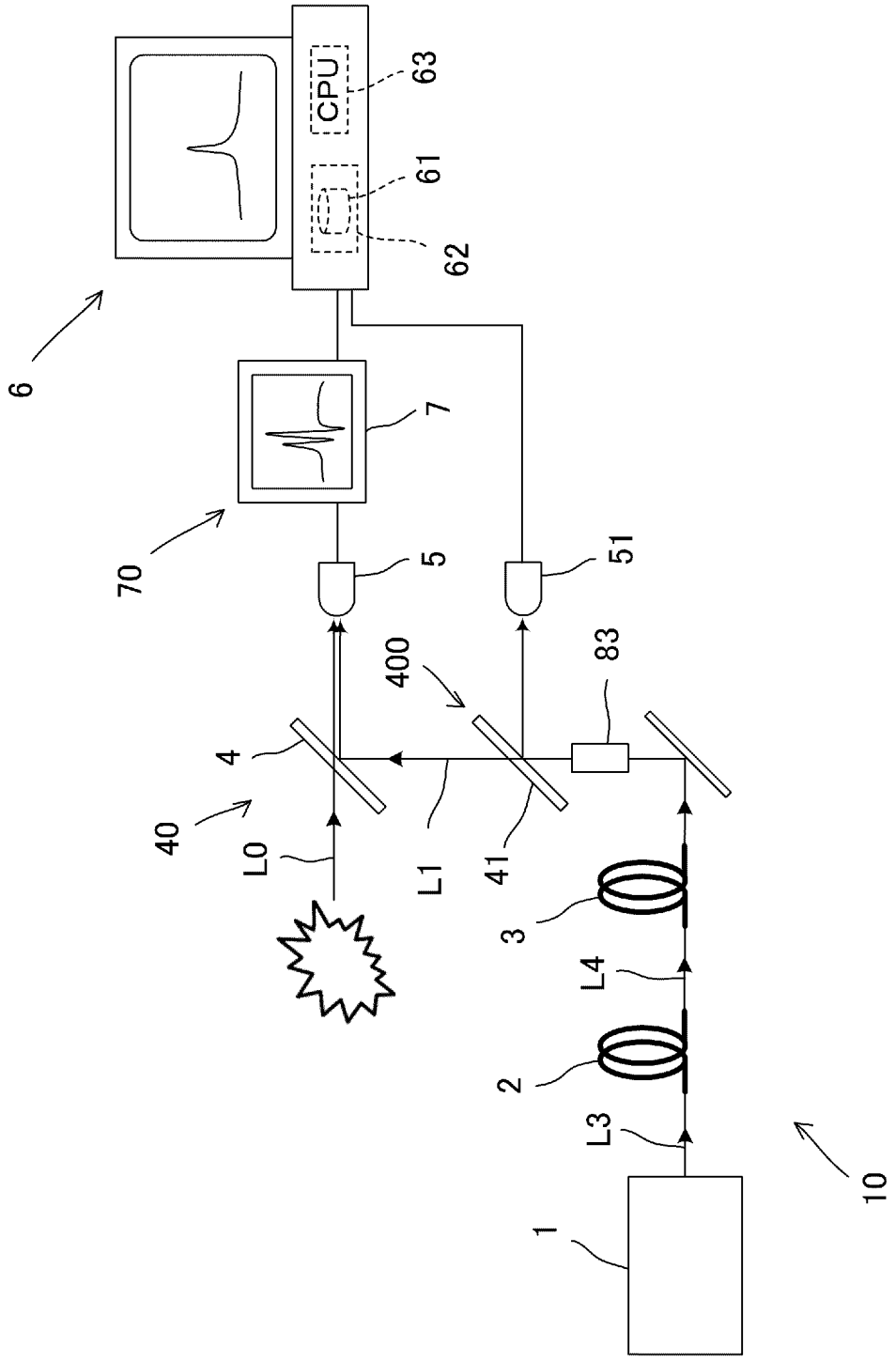
[図6]



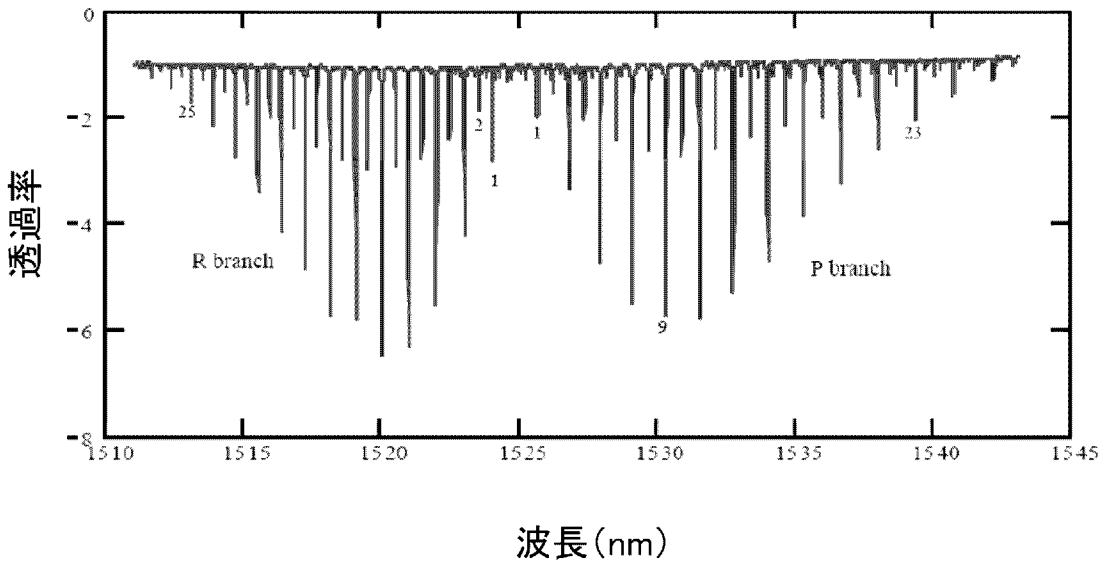
[図7]


強度
(C2)
λ1, t1 λ2, t2
波長, 時間
透過率
(B)
波長 λ2
82
81
透過率
(A)
λ1 波長
L0
強度
(C1)
長い
波長, 時間
短い

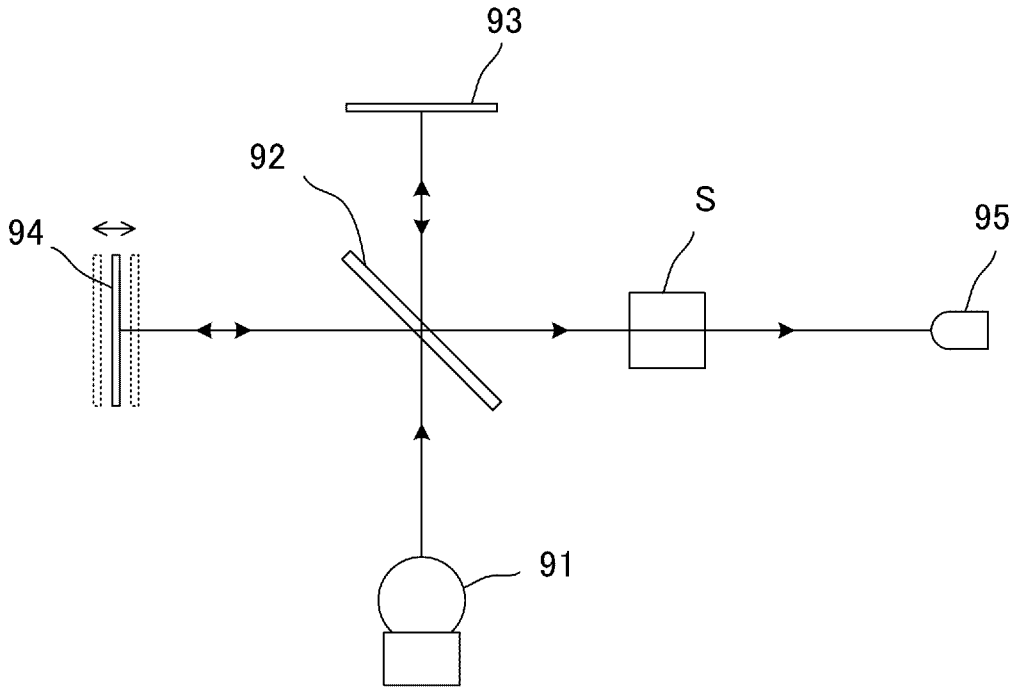
[図8]



[図9]


0
-2
-4
-6
-8
透過率
25
2
1
1
9
23
R branch
P branch
1510
1515
1520
1525
1530
1535
1540
1545
波長(nm)

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/021762

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01J3/45(2006.01)i, G01J3/433(2006.01)i, G01N21/31(2006.01)i, G02F1/365(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)
Int.Cl. G01J3/00-3/51, G01J1/00-1/04, G01J9/00-9/04, G01J11/00, G01N21/00-21/01, G01N21/17-21/74, G02F1/35-1/39

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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.
X Y	JP 2008-002815 A (NAGOYA UNIVERSITY) 10 January 2008, paragraphs [0020]-[0031], fig. 1-10 (Family: none)	1, 3-5, 9-13, 17 2, 6-8, 14-16, 18-21
Y	JP 2005-532393 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 27 October 2005, paragraph [0028] & WO 2004/004757 A1, paragraph [0028] & US 2005/0048044 A1	2, 6-8, 14-16, 18-21
Y	JP 2009-516828 A (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 23 April 2009, paragraph [0002] & WO 2007/057820 A2 & US 2008/0258048 A1, paragraph [0003]	6-8, 14-16, 18-21

☒ 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 15 August 2018 (15.08.2018)	Date of mailing of the international search report 04 September 2018 (04.09.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/021762

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/095487 A1 (OLYMPUS MEDICAL SYSTEMS CORP.) 26 August 2010, paragraph [0030] & US 2011/0021907 A1, paragraph [0037] & EP 2399523 A1	7-8, 15-16, 18-21
Y	JP 2011-242177 A (CANON INC.) 01 December 2011, paragraphs [0014]-[0076], fig. 1-6(c) (Family: none)	8, 16, 18-21
Y	JP 2016-024086 A (TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) 08 February 2016, paragraphs [0019]-[0037], fig. 1-4 (Family: none)	18-21
A	WO 2007/034681 A1 (NAGOYA UNIVERSITY) 29 March 2007, entire text, fig. 1-24 & US 2009/0122317 A1	1-21

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０２１７６２

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,　G01J 3／433(2006.01)i,　G01N 21／31(2006.01)i,
G02F 1／365(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 3／00－3／51,　G01J 1／00－1／04,　G01J 9／00－9／04,　G01J 11／00,
G01N 21／00－21／01,　G01N 21／17－21／74,　G02F 1／35－1／39

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　１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報　１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報　１９９４－２０１８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
X	ＪＰ　２００８－００２８１５　Ａ　（国立大学法人名古屋大学） ２００８．０１．１０， 段落番号【００２０】－【００３１】，第１－１０図 （ファミリーなし）	1, 3-5, 9-13, 17
Y		2, 6-8, 14-16, 18-21

☑　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
１５．０８．２０１８	０４．０９．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
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

特許庁審査官（権限のある職員）　2W　9807
平田　佳規
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８

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	ＪＰ　２００５－５３２３９３　Ａ （ザ・リージェンツ・オブ・ジ・ユニバーシティ・オブ・カリフォルニア） ２００５．１０．２７， 段落番号【００２８】 ＆　ＷＯ　２００４／００４７５７　Ａ１ 段落番号【００２８】 ＆　ＵＳ　２００５／００４８０４４　Ａ１	2, 6-8, 14-16, 18-21
Ｙ	ＪＰ　２００９－５１６８２８　Ａ （コーニンクレッカ　フィリップス　エレクトロニクス　エヌヴィ） ２００９．０４．２３， 段落番号【０００２】 ＆　ＷＯ　２００７／０５７８２０　Ａ２ ＆　ＵＳ　２００８／０２５８０４８　Ａ１ 段落番号【０００３】	6-8, 14-16, 18-21
Ｙ	ＷＯ　２０１０／０９５４８７　Ａ１ （オリンパスメディカルシステムズ株式会社） ２０１０．０８．２６， 段落番号【００３０】 ＆　ＵＳ　２０１１／００２１９０７　Ａ１ 段落番号【００３７】 ＆　ＥＰ　２３９９５２３　Ａ１	7-8, 15-16, 18-21
Ｙ	ＪＰ　２０１１－２４２１７７　Ａ　（キヤノン株式会社） ２０１１．１２．０１， 段落番号【００１４】－【００７６】，第１－６（ｃ）図 （ファミリーなし）	8, 16, 18-21
Ｙ	ＪＰ　２０１６－０２４０８６　Ａ　（株式会社東京精密） ２０１６．０２．０８， 段落番号【００１９】－【００３７】，第１－４図 （ファミリーなし）	18-21

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
Ａ	ＷＯ　２００７／０３４６８１　Ａ１ （国立大学法人名古屋大学） ２００７．０３．２９， 全文，第１－２４図 ＆　ＵＳ　２００９／０１２２３１７　Ａ１	1-21