

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02014/208349

発行日 平成29年2月23日 (2017. 2. 23)

(43) 国際公開日 平成26年12月31日 (2014. 12. 31)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 N 21/27 (2006.01) GO 1 N 21/27 Z 2 G O 5 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁)

<p>出願番号 特願2015-523971 (P2015-523971)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2014/065587</p> <p>(22) 国際出願日 平成26年6月12日 (2014. 6. 12)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2013-135412 (P2013-135412)</p> <p>(32) 優先日 平成25年6月27日 (2013. 6. 27)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1</p> <p>(74) 代理人 100107766 弁理士 伊東 忠重</p> <p>(74) 代理人 100070150 弁理士 伊東 忠彦</p> <p>(72) 発明者 小林 孝嘉 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p>(72) 発明者 瀬戸 啓介 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p>
--	--

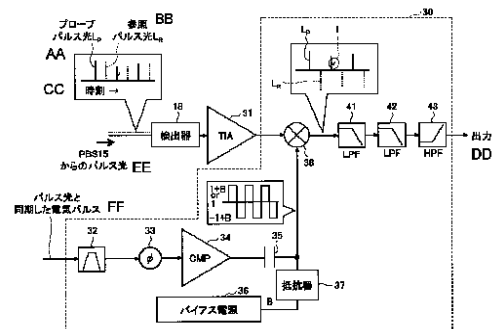
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学測定装置及び光学測定方法

(57) 【要約】

【課題】 効果的にノイズを除去して強度が微小な信号を感度よく検出する。

【解決手段】 光学測定装置は、光源と、前記光源からの光をプローブ光と参照光に分割する第1光学素子と、前記プローブ光を試料に導く第1パスと、時間軸上で前記参照光と前記プローブ光間に相対的な遅延を与えるように光路長が調整された前記参照光の第2パスと、前記試料を照射した前記プローブ光と、前記光路長が調整された前記参照光をひとつの共通の検出素子で検出して検出信号を出力する検出器と、前記検出信号のうち、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号にそれぞれ逆の符号を適用して平衡化を行い、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号の差分を前記試料の測定結果として出力する平衡器と、を有する。



- 18 Detector
- 36 Bias power source
- 37 Resistor
- AA Probe pulse light L_P
- BB Reference pulse light L_R
- CC Time
- DD Output
- EE Pulse light from PBS15
- FF Electric pulse synchronized with pulse light

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光源と、
前記光源からの光をプローブ光と参照光に分割する第 1 光学素子と、
前記プローブ光を試料に導く第 1 パスと、
時間軸上で前記参照光と前記プローブ光の間に相対的な遅延を与えるように光路長が調整された前記参照光の第 2 パスと、
前記試料を照射した前記プローブ光と、前記光路長が調整された前記参照光をひとつの共通の検出素子で検出して検出信号を出力する検出器と、
前記検出信号のうち、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号にそれぞれ逆の符号を適用して平衡化を行い、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号の差分を前記試料の測定結果として出力する平衡器と、
を有することを特徴とする光学測定装置。

10

【請求項 2】

前記平衡器は、
前記検出信号に、前記光源からの光に同期する ± 1 の振幅の方形波を乗算する乗算器、
を有し、前記乗算結果により前記差分を得ることを特徴とする請求項 1 に記載の光学測定装置。

【請求項 3】

前記平衡器は、
前記方形波にバイアスを印加するバイアス源、
をさらに有し、
前記バイアスにより前記プローブ光と前記参照光の検出強度比を調整することを特徴とする請求項 2 に記載の光学測定装置。

20

【請求項 4】

前記平衡器は、
前記光源からの光の角周波数に同期する正弦波信号の位相を調整する位相シフタと、
前記検出信号に、前記位相が調整された前記正弦波信号を乗算する乗算器と、
を有し、前記乗算結果により前記差分を得ることを特徴とする請求項 1 に記載の光学測定装置。

30

【請求項 5】

前記平衡器は、前記乗算器の出力の直流成分を前記位相シフタにフィードバックさせるフィードバック系を有し、前記フィードバックを用いて、前記プローブ光と前記参照光の検出強度比を平衡させることを特徴とする請求項 4 に記載の光学測定装置。

【請求項 6】

前記検出器と前記平衡器の間に挿入される共振器
をさらに有し、前記検出信号のうち特定の帯域の周波数成分が前記平衡器に入力されることを特徴とする請求項 4 に記載の光学測定装置。

【請求項 7】

前記プローブ光に同期して刺激を生成する刺激源、
をさらに有し、
前記試料は前記プローブ光に同期して前記刺激を受け、
前記平衡器は前記刺激に誘起された前記試料の状態変化を前記測定結果として出力することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光学測定装置。

40

【請求項 8】

参照信号を生成する参照信号源と、
前記参照信号の周波数で前記平衡器の出力をロックイン検出するロックイン検出部と、
をさらに有し、
前記刺激の強度は、前記参照信号の周波数で変調されることを特徴とする請求項 7 に記載の光学測定装置。

50

【請求項 9】

前記試料と前記検出器の間に配置される分光器、
をさらに有し、

前記光源は白色光源であり、

前記第 1 光学素子は、前記光源からの光を白色プローブ光と白色参照光に分割し、

前記第 2 光学素子は、前記白色プローブ光と前記白色参照光を重ね合わせて前記試料に導き、

前記試料を透過した前記白色プローブ光と前記白色参照光は、前記分光器で複数の波長成分に分光され、

前記検出器は、前記分光された波長の各々に対応して配置され、対応する波長成分の前記プローブ光と前記参照光を共通して検出することを特徴とする請求項 1 に記載の光学測定装置。

10

【請求項 10】

光源からの光をプローブ光と参照光に分割し、

前記プローブ光で試料を照射し、

時間軸上で前記参照光と前記プローブ光の間に相対的な遅延を与え、

前記試料を照射した前記プローブ光と、前記遅延が与えられた前記参照光とを同一の検出素子で検出し、

前記検出された信号のうち、前記プローブ光に由来する信号と、前記参照光に由来する信号とにそれぞれ逆の符号を適用して平衡化を行うことで、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号の差分を前記試料の測定結果として取得する、
ことを特徴とする光学測定方法。

20

【請求項 11】

前記平衡化は、直流バイアスが印加された前記光源からの光に同期する ± 1 の振幅の方形波を、前記検出素子で検出された信号に乗算する処理を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の光学測定方法。

【請求項 12】

前記平衡化は、前記検出素子で検出された信号に、前記光源からの光に同期する位相調整後の正弦波を乗算する処理を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の光学測定方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】**【0001】**

本発明は、低ノイズかつ高感度の光学測定装置と光学測定方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

試料に光ビームを照射して、物質や生体分子の状態を非接触で測定する光学測定が行われている。測定対象によっては、得られる信号強度が非常に小さく、ノイズに埋もれてしまう場合がある。

【0003】

ノイズに埋もれた微小な信号を検出する手法に、ロックイン検出法と呼ばれる方法がある。この方法では、設定したある周波数（ロックイン周波数）の三角関数と信号の積をとり、その周波数の信号を低周波に変換したあと、ローパスフィルタによって信号成分を取り出す。この点で、ロックイン検出は実効的に狭帯域のバンドパスフィルタとして働いている。この方法では、ロックイン周波数と異なる周波数で観測されるノイズを除去し、ロックイン周波数付近にある信号を検出することによって、信号・ノイズ比を向上させる。また、ローパスフィルタの時定数を長くすることにより、帯域幅を狭め、ノイズをより効果的に除去することができる。

40

【0004】

ロックイン検出法は、強度の低いプローブ光の検出や、プローブ光に加えられた微小な変調の検出に応用される。この変調はプローブ光源に直接加えられる場合と、試料に印加

50

された刺激に誘起される場合がある。しかしながら、いずれの場合でもロックイン周波数付近で観測されるノイズは原理的に除去できない。また、帯域幅を狭め、積算効果により信号・ノイズ比を向上させるために時定数を長くすると信号の変化に対する応答が遅くなり、高速検出ができないといった問題がある。

【0005】

ロックイン検出を用いて、プローブ光に含まれる長時間スケールの変動を相殺する方法として、デュアルビーム法が知られている。この方法は、光源からの光を試料の測定に用いるプローブ光と、試料を通らない参照光に分割し、それぞれ異なった周波数で変調する。試料透過後のプローブ光と参照光を重ね合わせて、同一の検出器に入射させる。検出器からの信号を、それぞれの変調周波数によるロックイン検出によってプローブ光と参照光の信号を別々に取得して、その比をとる。デュアルビーム法を用いて、プローブ光と参照光に共通に含まれる長時間スケールの変動による影響や、検出器の長時間スケールの感度の変動に対する影響を除去することができる。しかしながら、プローブ光と参照光を検出する周波数が異なるので、ロックイン周波数と同じ周波数で観測される高速変動のノイズを除去することはできない。また、測定中に試料の透過率が変化すると、その都度補正が必要になる場合がある。従って、この方法は多数の測定点での高速測定が要求され測定時に透過率が変化する対象には不向きである。

10

【0006】

プローブ光に含まれる、検出と同じ周波数で観測されるノイズを除去する方法に、バランス検出法がある（たとえば、特許文献1、及び非特許文献1及び2参照）。バランス検出法では、光源からの光をプローブ光と参照光に分割し、プローブ光を試料に入射させたあとでそれぞれの光を2つの検出器によって検出してその差を取る。ノイズがプローブ光と参照光に同相で含まれるので、差を取ることににより同一周波数に観測されるノイズを除去できる。

20

【0007】

しかしながら、公知のバランス検出法にはいくつかの難点がある。第1に、試料の透過率や検出系の感度が変化すると、その都度、校正が必要になる。第2に、検出器や回路の周波数特性など、2つの検出系の特性が同じである必要がある。第3に、白色光源を用いた分光測定に適用することができない。白色光の強度は、波長毎に異なった揺らぎ方をし、プローブ光と参照光に対する観測中心波長や観測波長幅などの分光条件が異なると、光雑音を打ち消すことができないからである。さらに、プローブ光と参照光に対して完全に同一特性の2台の分光器を用意する必要があるが、これは技術的に困難である。

30

【0008】

なお、試料を透過した白色プローブ光をマルチチャンネルのロックインアンプで検出してラマンスペクトルを観測することにより、多波長にわたって微小な信号を検出する方法が知られている（たとえば、非特許文献3参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】米国特許第5134276号

40

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】Alessio Gambetta, Vikas Kumar, Giulia Grancini, Dario Polli, Roberta Ramponi, Giulio Cerullo, Marco Marangoni, Opt. Lett., 35(2) (2010) 226-228

【非特許文献2】Philip C. D. Hobbs, Appl. Opt., 36(4) (1997) 903-920

【非特許文献3】N. Ishii, et al, "Optical frequency- and vibrational time-resolved two-dimensional spectroscopy by real-time impulsive resonant coherent Raman scattering in polydiacetylene", Physical Review, A 70 (2004) 023811.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 1 1 】

上述のように、単一の検出器を用いたデュアルビーム法では、参照光とプローブ光でノイズが観察される周波数が異なり、ロックイン周波数近傍で高速に変動するノイズを除去することはできない。また、2つの検出器を用いるバランス検出法では、2つの光路、2つの検出系の間で校正や特性調整が困難である。

【 0 0 1 2 】

そこで、単一の検出器を用いて、低ノイズ、高感度の信号検出が可能な光学測定の手法と構成を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

上記課題を解決するために、新しい平衡回路を用いて、観測周波数付近のノイズを効率的に除去し、強度の小さい所望信号を高感度で検出する。

【 0 0 1 4 】

具体的には、本発明の第1の側面による光学測定装置は、
光源と、
前記光源からの光をプローブ光と参照光に分割する第1光学素子と、
前記プローブ光を試料に導く第1パスと、
時間軸上で前記参照光と前記プローブ光の間に相対的な遅延を与えるように光路長が調整された前記参照光の第2パスと、
前記試料を照射した前記プローブ光と、前記光路長が調整された前記参照光をひとつの
共通の検出素子で検出して検出信号を出力する検出器と、
前記検出信号のうち、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号にそれぞれ逆の符号を適用して平衡化を行い、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号の差分を前記試料の測定結果として出力する平衡器と
を有する。

【 0 0 1 5 】

ここで、「平衡化」は、プローブ光に由来する信号の強度と参照光に由来する信号の強度の絶対値を釣り合わせることをいう。

【 0 0 1 6 】

本発明の第2の側面として、光学測定方法を提供する。光学測定方法は、
光源からの光をプローブ光と参照光に分割し、
前記プローブ光を試料を照射し、
時間軸上で前記参照光と前記プローブ光の間に相対的な遅延を与え、
前記試料を照射した前記プローブ光と、前記遅延が与えられた前記参照光とを同一の検出素子で検出し、
前記検出された信号のうち、前記プローブ光に由来する信号と、前記参照光に由来する信号とにそれぞれ逆の符号を適用して平衡化を行うことで、前記プローブ光に由来する信号と前記参照光に由来する信号の差分を前記試料の測定結果として取得する。

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

一つの検出器と平衡回路により、観測周波数付近のノイズを効率的に除去し、微小な所望信号を高感度よく検出することができる。この手法を、白色プローブ光を用いたマルチチャンネルロックイン検出と組み合わせることによって、低ノイズかつ高速、高精度のスペクトル検出が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図1】第1実施形態の光学測定装置の概略構成図である。

【図2】図1の光学測定装置で用いられる平衡器の構成例を示す図である。

【図3】第1実施形態の光学測定方法のフローチャートである。

【図4】第2実施形態の光学測定装置の概略構成図である。

10

20

30

40

50

- 【図 5】第 2 実施形態の光学測定方法のフローチャートである。
- 【図 6】第 3 実施形態の光学測定装置の概略構成図である。
- 【図 7】第 3 実施形態で用いられる白色プローブ光のスペクトルを示す図である。
- 【図 8】第 4 実施形態の光学測定装置の概略構成図である。
- 【図 9】図 8 の光学測定装置の測定系と制御系の構成例を示す図である。
- 【図 10】複数チャンネルの信号の総和による画像を示す図である。
- 【図 11】特定の座標における誘導ラマンスペクトルの図である。
- 【図 12】実施形態の光学測定による効果を説明する図である。
- 【図 13】第 5 実施形態の光学測定装置の概略構成図である。
- 【図 14】図 13 の変形例を示す図である。
- 【図 15】第 6 実施形態の光学測定装置の概略構成図である。
- 【図 16】図 15 の光学測定装置の誘導ラマン測定への適用例を示す図である。
- 【図 17】強度変調光の 4 分の 1 周期遅延させた参照光を用いたノイズキャンセルの効果と、フィードバック制御の効果を示す図である。
- 【図 18】実測で用いた試料の模式図である。
- 【図 19】実施形態の手法を適用した誘導ラマン測定の効果を示す図である。
- 【図 20】実施形態のフィードバック制御の効果を示す図である。
- 【発明を実施するための形態】

10

【0019】

以下で図面を参照して、実施形態の光学測定の手法と構成を説明する。

20

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、第 1 実施形態の光学測定装置 10 A の概略構成図である。光学測定装置 10 A は、光源 11 と、光学素子 12 および 15 と、検出器 18 と、トランスインピーダンスアンプ (TIA) 31 と、平衡器 30 を含む。この例では、光源 11 は単一波長のパルス光を出射するパルス光源であり、光学素子 12、15 は偏光ビームスプリッタである。

【0020】

光源 11 から出射されたパルス光 L は、偏光ビームスプリッタ 12 によって、プローブパルス光 L_p と、参照パルス光 L_R に分割される。偏光ビームスプリッタ 12 を透過したプローブパルス光 L_p は、パス P1 に沿って試料 20 を通過し、偏光ビームスプリッタ 15 に入射する。他方、偏光ビームスプリッタ 12 で反射された参照パルス光 L_R は、パス P2 に沿って、ミラー 13、14 で反射され、偏光ビームスプリッタ 15 に入射する。偏光ビームスプリッタ 15 で、パス P1 を経たプローブパルス光 L_p と、パス P2 を経た参照パルス光 L_R が空間的に重ねられて検出器 18 に入射する。

30

【0021】

参照パルス光 L_R のパス P2 は、パルス周期の半分程度の遅延が与えられる長さに設定されている。参照パルス光 L_R は、パルス繰り返しの周期に対して位相が 180° 遅れて偏光ビームスプリッタ 15 に入射し、偏光ビームスプリッタ 15 の出力光において、参照パルス光 L_R は、時間軸上で、プローブパルス光 L_p のパルスとパルスの中間の位置に現れる。この例では、光源 11 のパルス繰り返し周波数は 76 MHz である。

【0022】

試料を透過したプローブパルス光 L_p には、試料の分子振動など、微小な強度の情報 I が含まれる。検出器 18 で検出されたプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R は、平衡器 (バランス回路) 30 に入力される。平衡器 30 には、パルス光 L と同期した電気パルスが入力され、ノイズをキャンセルすることに用いられる。平衡器 30 は、ノイズが相殺された後の情報 I を出力する。

40

【0023】

図 2 は、平衡器 30 の構成例を示す。平衡器 30 には、検出器 18 で検出され TIA で電圧に変換されたパルス信号 (プローブパルス信号と参照パルス信号を含む) と、パルス光と同期した電気パルスとが入力される。

【0024】

50

平衡器 30 は、バンドパスフィルタ 32、位相調整器 33、コンパレータ 34、乗算器 38 と、平均化回路 41 を有する。平衡器 30 は、任意でバイアス電源 36、コンデンサ 35、抵抗器 37、アクティローパスフィルタ 42、アクティブハイパスフィルタ 43 を含んでもよい。

【0025】

フォトダイオードなどの検出器 18 から出力される電流は、TIA 31 により適切なレベルの電圧信号に変換されて、乗算器 38 に入力される。この電圧信号には、プローブパルス成分と、参照パルス成分が含まれている。一方、パルス光源 11 からパルス光と同期した電気パルス信号は、例えば 76 MHz バンドパスフィルタ 32 と位相調整器 33 により、パルス光と同期した 76 MHz の正弦波に変換される。この正弦波はさらにコンパレータ 34 によって方形波（矩形波）に変換され、+1 と -1 の方形波が乗算器 38 に入力される。

10

【0026】

バイアス電源 36 と、コンデンサ 35 と、抵抗器 37 は、コンパレータ 34 で生成された方形波にバイアスを加える場合に用いられる。この場合、コンデンサ 35 と抵抗器 37 は、バイアス電源 36 で生成されたバイアス電圧 B と方形波をデカップリングする。バイアスは、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R の光学的分割比（強度比）で定まるプローブパルス信号と参照パルス信号の強度が等しくなるように調整するため（平衡化のため）に印加される。図 1 のように、偏光面が 45° 傾いたパルス光 L を偏光ビームスプリッタ 12 に入射する場合は、水平偏光成分（プローブパルス光 L_p ）と垂直偏光成分（参照パルス光 L_R ）の強度は等しくなるので、バイアスを印加しなくてもよい。後述の実施例で述べるように、多波長の検出光を用いる場合に、バイアスを印加してプローブ光と参照光の信号強度比調整を行うのが有効である。

20

【0027】

乗算器 38 によって、プローブパルス信号と参照パルス信号に方形波が乗算される。プローブパルス信号は 1 倍（バイアス電圧を印加する場合は $(1+B)$ 倍）、参照パルス信号は -1 倍（バイアス電圧を印加する場合は $(-1+B)$ 倍）されて乗算器 38 から出力される。符号が逆になったプローブパルス信号と参照パルス信号は、平均化回路 41 によって平均化され、互いに相殺される。平均化回路 41 は、たとえばコンデンサと抵抗器からなる受動ローパスフィルタ 41 であり、互いに逆符号となったプローブパルス信号と参照パルス信号を時間平均することで、差分を出力する。出力される信号は、ノイズが打ち消された後の試料由来の情報成分 I である。平均化回路 41 の出力 V_{out} は以下のように表わされる。

30

【0028】

$$V_{out} = (\text{プローブパルス信号}) \times 1 + (\text{参照パルス信号}) \times (-1)$$

平均化回路 41 の出力は、さらにオペアンプを用いたカットオフ周波数 10 kHz のアクティローパスフィルタ 42 と、カットオン周波数 400 Hz のアクティブハイパスフィルタ 43 を経て出力される。アクティブフィルタ 42 及び 43 の組み合わせは、ゲイン 100 倍のバンドパスフィルタとして機能する。

【0029】

40

図 1 及び図 2 に示す光学測定装置 10 A は、以下の特徴を有する。

(a) 同一の光源 11 から同一時刻に生成したパルス光を分割してプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R に分割することで、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R に含まれるノイズの性質が同一になる。

(b) プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R の検出系が同一なので、検出系の周波数特性が同一である。したがって、信号を観測する周波数を含めて、ノイズを打ち消すことができる。

(c) 方形波を用いることにより、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R のタイミングがパルス繰り返しの 2 分の 1 周期から多少ずれた場合でも、最大の平衡が得られる。すなわち、打ち消しの程度が光路差に敏感でなく、光学系の調整が容易になる。

50

【0030】

図3は、第1実施形態の光学測定方法のフローチャートである。パルス光を照射し(S101)、パルス光をプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R に分割する(S102)。プローブパルス光 L_p を試料に入射して試料を測定する(S103)。参照パルス光 L_R にパルス周期の半分程度の遅延を与えて(S104)、プローブパルス光と参照パルス光を空間的に重ねる(S105)。重ねられた光信号を検出して電気信号に変換する(S106)。

【0031】

他方、パルス光源に同期させた電気信号を生成し(S111)、位相調整して(S112)±1のロジック(例えば±1の方形波関数)に変換する(S113)。検出され電圧変換された電気信号とロジックが乗算される(S115)。乗算結果を時間平均などにより平均化して出力する(S116)。これにより、プローブパルス光と参照パルス光が打ち消され、プローブパルス光に含まれる微小な情報成分(測定結果)を信号雑音比良く抽出することができる。

<第2実施形態>

図4は、第2実施形態の光学測定装置10Bの概略構成図である。光学測定装置10Bは、光源11からの光をプローブパルス光と参照パルス光に分割して参照パルス光に遅延を与える点と、平衡器30に同一の検出器18で検出されたプローブパルス信号と参照パルス信号が入力されるとともに、パルス光と同期する電気パルスが入力される点で、第1実施形態の光学測定装置10Aと同様である。

【0032】

光学測定装置10Bは、試料20の前段に偏光ビームスプリッタ15が配置され、合波されたプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R を試料20に入射する点と、図示しない刺激部からプローブパルス光 L_p と同期する刺激Sが試料20に与えられる点で、第1実施形態の光学測定装置10Aと異なる。

【0033】

試料20に刺激Sを与えることで、試料分子に物理・化学反応あるいは分子振動が生じる。刺激Sはプローブパルス光にだけ同期しているので、刺激Sの影響はプローブパルス光にだけ反映される。平衡回路30で±1のロジックを用いてプローブパルス信号光と参照パルス信号との差分を得ることで、光源からの光のノイズを打ち消し、刺激Sの影響による情報成分だけを抽出することができる。

【0034】

試料20から検出器18までの光路が、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R で同一なので、刺激以外の変動要因をほぼ完全に打ち消すことができる。例えば、測定中に試料20の透過率が変化しても影響を受けない。このことは、本発明を測定対象の空間分布を分析するイメージング(画像形成)に適用する場合に特に有効である。通常、試料は光学的に不均一であり、イメージング中に試料の透過率が変化する。試料20から検出器18までのプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R の光路が異なると、測定中にプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R の強度比が変化し、平衡が崩れるおそれがある。これに対し、図4のように同一の光路とすることで、ノイズ成分をバランス良く打ち消して、必要な情報を取り出すことができる。

【0035】

図5は、第2実施形態の光学測定方法のフローチャートである。パルス光を照射し(S201)、パルス光をプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R に分割する(S202)。参照パルス光 L_R にパルス周期の半分程度の遅延を与えて(S204)、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R を空間的に重ねる(S205)。重ねられたパルス光を試料に入射するとともに、プローブパルス光 L_p と同期した刺激を試料に与える(S206)。プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R の合成パルス光で、刺激の影響下にある試料を測定する(S207)。試料を透過したパルス光を検出して電気信号に変換する(S208)。

10

20

30

40

50

【0036】

他方、パルス光源と同期した電気信号を生成し（S211）、位相調整して（S212） ± 1 のロジック（例えば ± 1 の方形波関数）に変換する（S213）。検出され電圧変換された電気信号とロジックが乗算される（S215）。乗算結果を、時間平均などを用いて平均化して出力する（S216）。

<第3実施形態>

図6は、第3実施形態の光学測定装置50の概略構成図である。第3実施形態では、平衡検出を、多数の信号を並列的にロックイン検出するマルチチャンネルロックイン検出に適用する。

【0037】

光学測定装置50は、白色光源51、光学素子52および55、分光器58、複数の検出器18-1~18-n（適宜、「検出器18」と総称する）、各検出器に対応するTIA31-1~31-n（適宜「TIA31」と総称する）、複数の平衡器30-1~30-n（適宜、「平衡器30」と総称する）、及び多チャンネルロックインアンプ59を含む。光学素子52は、第1実施形態、第2実施形態と同様に、偏光ビームスプリッタである。検出器18は、たとえばアパランシェフォトダイオード（APD）である。白色光源51は、たとえばパルス繰り返し周波数が76MHzのパルスレーザとフォトニック結晶ファイバ（PCF）を用いて、連続的な複数の波長を含む白色パルス光を生成する。パルスレーザの中心波長は、たとえば800nmである。

【0038】

図7に、白色光源51から出射される白色パルス光のスペクトルを示す。白色パルス光は、575nmから780nmに強度を有する。

【0039】

図6に戻って、白色パルス光は、偏光ビームスプリッタ52でプローブパルス光 L_p と、参照パルス光 L_R に分割される。偏光ビームスプリッタ52を透過した光成分は、プローブパルス光 L_p として、偏光ビームスプリッタ55に入射する。偏光ビームスプリッタ52で反射された光成分は、参照パルス光 L_R として、ミラー53、54を介して偏光ビームスプリッタ55に入射する。参照パルス光 L_R の光路長は、白色光源51のパルス繰り返し周期に対して半周期（位相 180° ）遅れる長さに設定されている。

【0040】

偏光ビームスプリッタ55で合波されたプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R は、ダイクロイックミラーDM上で、800nmポンパルス光 L_S と重ねられる。ポンパルス光 L_S は、たとえば白色光源51で用いられているパルスレーザの出射光から分岐され図示しないチョッパーで強度変調されている。ポンパルス光 L_S はプローブパルス光 L_p に同期するが、参照パルス光 L_R とは位相が 180° ずれている。

【0041】

プローブパルス光 L_p 、参照パルス光 L_R 、及びポンパルス光 L_S は、試料20に入射する。ポンパルス光 L_S の照射により、波長に応じた分子振動が生じ、散乱が生じる。散乱の影響で、ポンパルス光 L_S に同期するプローブパルス光 L_p の強度が変調される。他方、ポンパルス光 L_S とタイミングの異なる参照パルス光 L_R は、影響を受けない。試料20を透過した光のうち、ポンパルス光 L_S はショートパスフィルタSPFによって除去され、参照パルス光 L_R と強度変調を受けたプローブパルス光 L_p が、レンズ57と光ファイバ61を介して分光器58に導かれる。

【0042】

分光器58は、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R をそれぞれ分光する。分光された各波長の光は、検出器18-1~18-nで検出される。検出結果は、対応する平衡器30-1~30-nに入力される。

【0043】

平衡器30-1~30-nのそれぞれは図2に示す構成を有し、TIA31の電圧信号と、白色パルス光に同期した電気パルスとを入力とする。各平衡器30で ± 1 のロジック

10

20

30

40

50

によりプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_R が打ち消され、散乱により強度変調を受けた部分だけが試料情報として抽出される。各平衡器 30 の出力は、多チャンネルロックインアンプ 59 によってポンパルス光の変調周波数でロックイン検出される。

【0044】

白色プローブ光と、平衡検出及び多チャンネルロックイン検出を用いることにより、通常の 1チャンネルロックイン検出でスペクトルを得る方法と比べて、計測速度が格段に速くなる。多チャンネルロックインアンプ 59 を、たとえば 128チャンネルロックインアンプとすると、通常の 1チャンネルのロックイン検出と比較して 128倍の速度で計測が可能になる。白色光は通常はノイズが大きい、平衡器 30 - 1 ~ 30 - n を用いることで、各波長でノイズをキャンセルして微小な情報を高感度かつ高速に検出することができる。

10

【0045】

第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様に、同一の光源から同一時刻に生成したパルス光を分割してプローブパルス光と参照パルス光とすることで、プローブパルス光と参照パルス光に含まれるノイズが同一となり、平衡検出の効果が最大になる。また、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様に、プローブパルス光と参照パルス光を重ねた後の光路を同一にすることで、単一の分光器 58 で各波長に分光することができる。

【0046】

さらに、各平衡器 30 で ± 1 のロジック（符号反転の方形波）をバイアス印加により調整することができるので（図 2 参照）、白色光による試料測定に特に有効である。バイアスレベルを B とすると、波長ごとに各平衡器 30 で得られる信号出力 V_{out} は、以下のよう表わされる。

20

【0047】

$$V_{out} = (\text{プローブパルス信号}) \times (1 + B) + (\text{参照パルス信号}) \times (-1 + B)$$

白色光を分光して観測する場合、最大の平衡を得るためには、全ての波長でプローブパルス光と参照パルス光の強度が同一となる光学的分割が必要であるが、一つの偏光ビームスプリッタ 52 でこれを実現するのは困難である。第 3 実施形態では、白色光に含まれる波長によって光学的分割比が異なる場合でも、後段の平衡器 30 で適切なバイアスを印加してプローブパルス光と参照パルス光の信号強度を均等に補正できるので、全ての波長で最大の平衡を得ることができる。

30

< 第 4 実施形態 >

図 8 及び図 9 は、第 4 実施形態の光学測定装置 100 の概略構成図である。第 4 実施形態では、第 3 実施形態の平衡検出とマルチチャンネルロックイン検出を誘導ラマン顕微鏡に適用する。

【0048】

分子振動情報を反映するラマン散乱スペクトルや強度を観測する方法として、誘導ラマン散乱法がある。誘導ラマン散乱法では、波長の異なる少なくとも 2 波長のパルスレーザー光を同期させて試料に照射する。波長の差が分子振動のエネルギーに相当したとき、波長が短い光の強度が減少し、波長が長い光の強度が増大する。波長が短い光の強度の減少を誘導ラマン損失、波長が長い光の強度の増加を誘導ラマン利得という。分子振動は物質により異なるので、誘導ラマン散乱法を用いて定性分析が可能である。さらに、誘導ラマン損失や誘導ラマン利得の強度は分子の濃度に比例するので、定量分析も可能である。これらの光を顕微鏡に導入して試料又は入射光を掃引し、試料の各点における誘導ラマン散乱強度を取得することで、誘導ラマン散乱強度や誘導ラマンスペクトルの空間分布を得ることができる。これを誘導ラマンイメージングと呼ぶ。

40

【0049】

第 3 実施形態のように、波長ごとに検出されるプローブパルス光をマルチチャンネルロックイン検出することにより、各波長での誘導ラマン散乱強度を取得しつつ、試料を入射光に対して相対的に掃引して、誘導ラマン散乱スペクトルによる画像を得る。

50

【 0 0 5 0 】

図 8 において、光学測定装置 1 0 0 は、白色光源 1 1 0 と、偏光ビームスプリッタ 1 1 9 及び 1 2 2 と、試料 2 0 を光パルスに対して相対的に駆動するステージ 1 2 7 と、試料 2 0 からの光を測定する測定系 1 5 0 を含む。

【 0 0 5 1 】

白色光源 1 1 0 は、パルスレーザ光源 1 0 1 とフォトニック結晶ファイバ (P C F) 1 1 6 を含む。パルスレーザ光源 1 0 1 は、たとえばチタンサファイアパルスレーザで構成される。チタンサファイアパルスレーザは、チタンサファイアを利得媒質とした受動モードロック動作によって、中心波長 8 0 0 n m 、パルス幅 2 . 5 p s 、パルス繰り返し周波数 7 6 M H z 、平均出力 4 5 0 m W でパルス光を出力するとともに、パルス光と同期したパルス電気信号を出力する。

10

【 0 0 5 2 】

パルスレーザ光源 1 0 1 の出力光は、アイソレータ 1 0 3 を介してビームスプリッタ 1 0 4 に導かれる。アイソレータ 1 0 3 は、後段の光学素子からパルスレーザ光源 1 0 1 への戻り光を遮断し、パルスレーザ光源 1 0 1 の動作を安定させる。

【 0 0 5 3 】

ビームスプリッタ (B S) 1 0 4 は、パルスレーザ光源 1 0 1 から出力されるパルス光を分割し、4 0 % を反射し、6 0 % を透過させる。B S 1 0 4 を透過したパルス光は、焦点距離 6 0 m m の凹レンズ 1 1 2 と焦点距離 1 2 0 m m の凸レンズ 1 1 3 を経て、半波長板 1 1 4 に導かれる。レンズ 1 1 2 及び 1 1 3 は、対物レンズ 1 1 5 の瞳面を満たすようにビーム径を調整する。半波長板 1 1 4 を光軸回りに回転することにより、偏光面を調整する。

20

【 0 0 5 4 】

偏光面を調整されたパルス光は、4 0 倍、開口数 0 . 6 5 の顕微鏡用の対物レンズ 1 1 5 に入射する。対物レンズ 1 1 5 によって集光されたパルス光は、3 0 c m の長さを有する偏波保持型の P C F 1 1 6 に導入される。P C F 1 1 6 はシリカで作製され、断面は、規則正しく配置された空隙がコアをとり囲む構造となっている。空隙がある領域は実質的にコアよりも屈折率が小さく、クラッドとして機能する。このようなファイバでは、コアとクラッドの屈折率の差が大きくなり、入射光は狭い空間領域に閉じ込められ、入射光のエネルギー密度が大きくなり、大きな非線形光学効果が得られる。この大きな非線形効果により、入射光の波長は、パルスレーザ 1 0 1 のパワーで広い範囲の波長に強度を有する白色光に変換される。P C F 1 1 6 の偏波保持機能により、入射光の偏光面の方向が適切ならば、直線偏光が出力される。

30

【 0 0 5 5 】

P C F 1 1 6 で生成された白色光は、4 0 倍、開口数 0 . 6 5 の顕微鏡用対物レンズ 1 1 7 によってコリメートされる。このとき、白色光の偏光面の方向は P C F 1 1 6 を回転させることで調整される。コリメートされた白色パルス光 L が、白色光源 1 1 0 の出力となる。

【 0 0 5 6 】

白色パルス光 L は、偏光ビームスプリッタ (P B S) 1 1 9 によりプローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_r に分割される。参照パルス光 L_r は、パルスレーザ光源 1 0 1 のパルス繰り返し周期に対して半周期遅れる分の、すなわち位相が 1 8 0 ° 遅れる分の長い光路を経て、P B S 1 2 2 に入射し、プローブパルス光 L_p と空間的に重ねられる。P B S 1 1 9 、 1 2 2 は、共に水平偏光を透過させ、垂直偏光を反射する。P B S 1 1 9 に偏光面が 4 5 ° 傾いた偏光を入射すると、透過した水平偏光と反射された垂直偏光の強度がほぼ等しくなる。P B S 1 2 2 においては、水平偏光であるプローブパルス光 L_p が透過し、垂直偏光である参照パルス光 L_r が反射されることで、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_r が高いスループットで重ねられる。

40

【 0 0 5 7 】

プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_r は、ショートパス干渉フィルタ 1 1 1 を透過

50

する。ショートパス干渉フィルタ 1 1 1 によって白色光の 7 8 0 n m 以上の波長成分は遮断され、変調されたポンプパルス光 L_S と同軸上に重ねられる。

【 0 0 5 8 】

B S 1 0 4 で反射された 4 0 % のパルス光は、光チョッパー 1 0 5 によって強度が変調（オン・オフ）され、ポンプパルス光 L_S として用いられる。ポンプパルス光 L_S は、焦点距離 1 7 0 m m の凸レンズ 1 0 7 と焦点距離 1 5 0 m m の凹レンズ 1 0 8 を通る。レンズ 1 0 7 及び 1 0 8 は、ポンプパルス光 L_S のビーム径を白色パルス光 L のビーム径と同一にする。

【 0 0 5 9 】

ポンプパルス光 L_S はディレイステージ 1 0 9 に導かれる。ディレイステージ 1 0 9 は図示しないマイクロメータによって平行に滑動する 2 枚のミラー M 1、M 2 を有し、ポンプパルス光 L_S の光路長を調整してプローブパルス光 L_P と同期させる。ポンプパルス光 L_S のパワーは、減光フィルタ 1 0 6 によって調整される。ポンプパルス光 L_S のパワーが大きいほど信号雑音比は大きくなるが、大きなパワーは試料 2 0 の破壊を招く。そこで、減光フィルタ 1 0 6 を用いて、ポンプパルス光 L_S のパワーを、信号雑音比を大きく保ちつつ試料 2 0 を破壊しないレベルに調整する。

10

【 0 0 6 0 】

ポンプパルス光 L_S は、ショートパス干渉フィルタ 1 1 1 上で、プローブパルス光 L_P 及び参照パルス光 L_R と重ねられる。ショートパス干渉フィルタ 1 1 1 は、8 0 0 n m の光に対してはミラーとして機能する。ポンプパルス光 L_S とプローブパルス光 L_P はタイミングが一致しており、誘導ラマン信号がプローブパルス光 L_P の強度変調として得られる。他方、参照パルス光 L_R は、ポンプパルス光 L_S とタイミングがずれているので相互作用しない。

20

【 0 0 6 1 】

重ね合わされたプローブパルス光 L_P と、参照パルス光 L_R 、及びポンプパルス光 L_S は、焦点距離 1 0 0 m m の凹レンズ 1 2 3 と焦点距離 2 0 0 m m の凸レンズ 1 2 4 を透過する。レンズ 1 2 3、1 2 4 は、合成光のビーム径を後段の対物レンズ 1 2 6 の瞳面を満たすように拡大する。

【 0 0 6 2 】

合成光は、反射率 8 %、透過率 9 2 % のビームスプリッタ 1 2 5 を透過した後、対物レンズ 1 2 6 に入射する。対物レンズ 1 2 6 によって集光されたビームは、ステージ 1 2 7 に固定された試料 2 0 を照射する。ステージ 1 2 7 は、たとえばピエゾ駆動されるステージであり、測定中に試料 2 0 を入射光に対して掃引する。

30

【 0 0 6 3 】

ビームスプリッタ 1 2 5 で反射されたビームは、減光フィルタ 1 2 9 を透過したあと、結像レンズ 1 3 0 によって C C D カメラ 1 3 1 上に結像される。C C D カメラ 1 3 1 で、試料 2 0 上でのポンプパルス光 L_S と、プローブパルス光 L_P 及び参照パルス光 L_R の重なりを確認する。減光フィルタ 1 2 9 は C C D カメラ 1 3 1 に結像された像の強度を調整する。

【 0 0 6 4 】

試料 2 0 を透過した光は、コンデンサレンズ 1 3 2 によってコリメートされる。コリメートされた光はショートパスフィルタ 1 3 3 に導かれ、コリメート光に含まれる光のうちポンプパルス光 L_S が遮断される。ポンプパルス光 L_S が除去されたコリメート光は、焦点距離 1 0 0 m m の凸レンズ 1 3 4 で集光され、マルチモード光ファイバ 1 3 5 を介して測定系 1 5 0 に入力される。

40

【 0 0 6 5 】

図 9 は、測定系 1 5 0 を中心として、光学測定装置 1 0 0 のユニット間の接続関係を示す。図示の便宜上、図 8 のレンズ 1 3 4 までの光学系を誘導ラマン顕微鏡 1 6 0 とする。誘導ラマン顕微鏡 1 6 0 で得られた光信号（プローブパルス光 L_P と参照パルス光 L_R を含む）は、マルチモード光ファイバ 1 3 5 によって分光器 1 3 6 に導入される。分光器 1

50

36では、マルチモード光ファイバ135からの光がコリメート鏡（不図示）によって平行に回折格子（不図示）に照射され、回折格子によって分光された光が、カメラ鏡（不図示）によってバンドルファイバ137の端面上に結像される。分光器136の焦点距離は300mm、回折格子刻線密度は1200g/mmである。

【0066】

バンドルファイバ137は、縦16本、横128本の光ファイバが束ねられたものであり、分光された光ビームを128に分割する。バンドルファイバ137の縦16本ごとに1本の光ファイバ138に束ねられる。

【0067】

128の波長に対応する128本の光ファイバ138は（図示の便宜上、1本のみを示す）、それぞれ150Vにバイアス電圧がかけられたアバランシェフォトダイオード（APD）139-1～139-n（この例では、 $n=128$ ）に接続される。APD139はアバランシェ降伏によってそれ自身で微弱な検出信号を増幅する機能（作用）を有する。

10

【0068】

各APD139で検出されTIA141で電圧に変換されたプローブパルス信号と参照パルス信号は、対応する平衡器140に入力される。各平衡器140は、図2の平衡器30と同様の構成を有する。平衡器140により、プローブパルス信号と参照パルス信号に、バイアス調整された方形波が乗算され、プローブパルス信号と参照パルス信号の符号が互いに逆符号となる。逆符号のプローブパルス信号と参照パルス信号はローパスフィルタ（図2参照）で足し合わされ、差分が得られる。各平衡器140から出力される信号は、プローブパルス光 L_p と参照パルス光 L_s が互いに打ち消され、誘導ラマン散乱による影響を表わす情報だけを乗せている。プローブパルス信号と参照パルス信号を逆符号にするタイミングは、パルスレーザ光源101から供給されるパルスレーザ光と同期した電気パルス信号によって制御される。

20

【0069】

平衡器140-1～140-nの各々から出力された信号は、多チャンネルロックインアンプ142の入力に接続される。多チャンネルロックインアンプ142は、たとえば32チャンネルのロックインアンプを4つ連結して128チャンネルとしたものである。

【0070】

光学測定装置100は、制御系としてチョッパー制御器144と、ピエゾステージ制御器148と、コンピュータ146を有する。チョッパー制御器144から多チャンネルロックインアンプ142にロックイン検出のための参照信号が供給される。チョッパー制御器144は、光チョッパー105（図8参照）への電源供給を制御する。また、光チョッパー105の回転数の信号を受けて、回転数をフィードバック制御する。

30

【0071】

コンピュータ146は多チャンネルロックインアンプ142を制御し、多チャンネルロックインアンプ142からのデータを収集するとともに、ピエゾステージ制御器148に制御信号を出力する。

【0072】

ピエゾステージ制御器148はコンピュータ146からの制御信号を受けて、ピエゾステージ127のアクチエータ（不図示）を制御する。多チャンネルロックインアンプ142からの出力信号をコンピュータ146で収集しつつ、試料20をピエゾステージ127によって掃引し、各測定点における誘導ラマンスペクトルを取得する。多チャンネルロックインアンプ142とピエゾステージ127は、コンピュータ146にインストールされたソフトウェアによって制御される。

40

【0073】

図10は、光学測定装置100で得られる誘導ラマン損失画像である。図10(A)は第40から第50チャンネルの信号の総和により得られた画像、図10(B)は、第55から第65チャンネルの信号の総和により得られた画像である。

50

【 0 0 7 4 】

試料 2 0 として、ポリスチレン (P S) とポリメタクリル酸メチル (P M M A) を重量比 1 : 1 でトルエンに溶解し、溶液をスライドガラスに滴下、乾燥させて作製した膜を用いた。ロックイン検出の時定数は 1 0 0 0 m s 、ピクセルサイズは $0.5 \times 0.5 \mu m$ 、画像のサイズは $2 0 \times 2 0 \mu m$ である。濃淡が薄いほど信号強度が大きく、濃いほど信号強度が小さいことを意味する。

【 0 0 7 5 】

図 1 0 (A) の第 4 0 から第 5 0 チャンネルの信号は、主に P S の寄与を示す。図 1 0 (B) の第 5 5 から第 6 5 チャンネルの信号は、主に P M M A の寄与を示す。図 1 0 (A) と図 1 0 (B) の画像は、一度のイメージングで得られた同一のデータから作成されている。図 1 0 (A) と図 1 0 (B) で異なるコントラストを示しており、膜内の位置によって P S と P M M A の濃度比が異なることが分析可能である。

10

【 0 0 7 6 】

図 1 1 は、異なるピクセル位置での誘導ラマンスペクトルを示す図である。図 8 及び図 9 に示す光学測定装置 1 0 0 を用いることで、ポンプパルス光とプローブパルス光のいずれの波長も掃引することなく、各測定点での誘導ラマン損失スペクトルの取得が可能である。

【 0 0 7 7 】

図 1 1 中の実線は $(X , Y) = (9 , 6)$ ピクセル (図 1 0 (A) 及び図 1 0 (B) で白の三角印で示す位置) でのスペクトル、破線は $(X , Y) = (2 7 , 3 3)$ ピクセル (図 1 0 (A) 及び図 1 0 (B) で黒の三角印で示す位置) におけるスペクトルである。いずれのスペクトルも、P S のスペクトルと P M M A のスペクトルが重なったスペクトルとなっているが、P S 由来のラマンバンドと P M M A 由来のラマンバンドの強度比が異なっている。実線では P S 由来のラマンバンドの強度比が大きく、破線では P M M A 由来のラマンバンド強度比が大きい。このように、試料に白色パルス光を照射することで、一度に異なる物質の状態を測定することができる。

20

【 0 0 7 8 】

図 1 2 は、本発明の効果を示す図である。第 1 ~ 第 4 実施形態を通して、同一の光源からの光をプローブパルス光と参照パルス光に分割し、参照パルス光に光源のパルス繰り返し周期の半分の遅延を与え、試料を透過したプローブパルス光と遅延が与えられた参照パルス光を同時検出し、平衡器 3 0 で ± 1 のロジックとの乗算でプローブ光が参照光の信号の符号を反転し、バイアスによって平衡処理を行うことによって、効果的にノイズを低減し、所望の信号を高感度に得ることができる。

30

【 0 0 7 9 】

図 1 2 では、平衡器 3 0 をロックインアンプに接続し、プローブパルス光のみを直接チョップして得た信号強度 (左側のカラム) と、プローブパルス光と参照パルス光を同時にチョップして得た信号強度 (右側のカラム) を示す。プローブパルス光のみの場合の強度が $7.31 \times 10^{-1} V$ であるのに対し、参照パルス光とプローブパルス光を同時に入射した場合は $3.01 \times 10^{-3} V$ となった。平衡後の信号強度はプローブパルス光のみの場合と比べて $1/243$ に低減している。これは、プローブパルス光に含まれるノイズも $1/243$ として検出されることを意味する。第 2 実施形態のように試料に刺激 S を与える場合や、第 3 及び第 4 実施形態のようにポンプパルス光を用いる場合は、刺激やポンプパルス光はプローブパルス光のみに同期しているので、刺激あるいは誘導ラマン効果による強度変調は、プローブパルス光のみに生じ、参照パルス光には生じない。平衡器 3 0 によりプローブパルス光と参照パルス光の差分をとることで、刺激 S の影響や誘導ラマン信号だけを高感度で検出することができる。

40

< 第 5 実施形態 >

第 1 実施形態から第 4 実施形態では、光源からのパルス光をプローブ光と参照光に分割し、参照光にパルス繰り返しの半周期の遅延を与えた後、共通の光検出素子で光信号を検出し、検出信号に ± 1 の方形波を乗算してノイズの相殺を行った。

50

【 0 0 8 0 】

第5実施形態では、ノイズキャンセルのための平衡処理に正弦波を用いる。同じ光源から同時刻に放射された光の強度変調光をプローブ光と参照光に分割し、プローブ光と参照光に強度変調周期の1/4程度に相当する時間差をつけた後、共通の光検出素子で検出する。検出された信号に対して、光源からの光に同期し、かつ位相調整がなされた同期信号を乗算する。同期信号の位相を調整することでプローブ光の検出信号と参照光の検出信号の差を最小にして（平衡化して）光雑音を打ち消し、所望の信号成分だけを取り出す。

【 0 0 8 1 】

図13は、第5実施形態の光学測定装置200の概略図である。光源201からの光に対して、同期信号源207によって駆動される強度変調器202により周期的な強度変調が与えられる。強度変調を与えられた光はビームスプリッタ203によって試料計測に用いられるプローブ光 L_p と参照光 L_R に分割される。参照光 L_R は、ビームスプリッタ203後の付加的な光路によって強度変調の4分の1周期に相当する分の遅延が与えられる。参照光 L_R に与えられる遅延は、参照光 L_R とプローブ光 L_p が区別されればよいので、厳密に強度変調の4分の1周期でなくても、その近傍であればよい。プローブ光 L_p と参照光 L_R はビームスプリッタ206を用いて重ねられ、試料210に入射される。

【 0 0 8 2 】

試料210透過後のプローブ光 L_p と参照光 L_R は共通の光検出素子211によって電気信号に変換され、プリアンプ212によって適当な大きさに増幅される。便宜上、プローブ光 L_p の検出信号を $A \cos(wt)$ とすると、参照光 L_R の検出信号は $B \sin(wt)$ となる。ここで A はプローブ光 L_p の強度に比例する量、 B は参照光 L_R の強度に比例する量、 w は同期信号の角周波数である。光雑音は A と B の揺らぎで表されるが、プローブ光 L_p と参照光 L_R は同時刻の光を分割したものであるため、互いに比例して揺らぐ。あるいは、 A と B の比は光学素子の特性で定まり、一定である。光検出素子211で検出される電気信号は、

$$A \cos(wt) + B \sin(wt)$$

と表わされる。この検出信号は増幅後に平衡器230に入力される。平衡器230は、乗算器231と、位相シフタ232と、ローパスフィルタ233を有する。プリアンプ212の出力は乗算器231の入力に接続される。一方、同期信号源207から出力される同期信号は、位相シフタ232によって位相が調整され、乗算器231に入力されて検出された信号と乗算される。便宜上、乗算器231に入力される同期信号を

$$C \cos(wt + f)$$

と表す。ここで f は同期信号の位相であり、位相シフタ232によって調整される。従って、乗算器231からの出力は、

$$(1/2)AC\{\cos(2wt + f) + \cos f\} + (1/2)BC\{\sin(2wt + f) + \sin f\}$$

となる。この信号はローパスフィルタ233に入力され、低周波成分だけが出力される。その結果、平衡器230の出力信号は、 $A \cos f + B \sin f$ に比例する。つまり、位相 f を適切に選択すると、プローブ光 L_p の検出信号と参照光 L_R の検出信号の差が出力されることが分かる。

【 0 0 8 3 】

ここで、 $\cos f : \sin f = B : A$ となるように f を調整すると、平衡器230の出力が零になる。そのような f は $\tan^{-1}(A/B) + 2n\pi$ (n は整数)である。すなわち、光学素子の特性などで A と B の比が等しくないときも、 f を調整することによって平衡器230の出力を零にし、平衡化ができる。この調整により A と B の比がばらつくときでも、光雑音を打ち消すことができる。

【 0 0 8 4 】

一方、同期信号源207によって駆動される刺激源208によって、試料210に周期的な刺激が与えられる。刺激の位相は、プローブ光 L_p のみに刺激に誘起される強度変調がかかるように、プローブ光 L_p と同位相に制御される。刺激による効果はプローブ光 L_p の強度 A のみに変調を与えるので、ローパスフィルタ233からは、光雑音が打ち消された刺激に誘起された信号のみが出力される。

【0085】

このように、検出信号に直流成分が含まれていなくても、プローブ光と参照光の検出信号の強度比の補正を実現することができる。光源201との同期信号の位相を調整して光検出信号に乗算することで、プローブ光 L_p と参照光 L_R の光雑音を打ち消して、所望の刺激信号だけを取り出すことができる。

<変形例>

図14は、第5実施形態の変形例である光学測定装置300の概略構成図である。図14では、図13の構成に加えて、光検出素子211の直前に分光器311を挿入し、光検出素子211の直後に光源の強度変調に共鳴する共振器312を挿入する。それ以外の構成要素の構成、配置、機能は、図13と同じである。

10

【0086】

図13と関連して述べたように、図13の構成は検出信号に直流成分が含まれていなくてもプローブ光と参照光の検出信号の強度比を一定にすることができる。この特徴があることで、共振器312を用いることができる（共振器からの信号には直流成分が含まれない）。

【0087】

共振器312は熱雑音を生じさせる負荷抵抗を含まないので、熱雑音（電氣的雑音）を排除し、光検出信号の特定の周波数成分だけを取り出して平衡器230に供給する。外来雑音など測定に関係しない周波数の混入を防止し、かつ、信号雑音比を改善することができる。

20

【0088】

図14でも、プローブ光 L_p と参照光 L_R が重ねられた後は共通の光路を通り、単一の光検出器211で検出されるので、分光器が共通となり分光測定への適用が容易である。

【0089】

図14の構成は、共振器を用いて電氣的な雑音を低減しつつ、プローブ光 L_p と参照光 L_R の強度比の揺らぎによる光雑音を相殺するので、信号雑音比を最大限に向上することができる。

<第6実施形態>

図15は、第6実施形態の光学測定装置400の概略図である。図15でも、光検出素子211の直前に分光器311を配置し、直後に共振器312を配置する。

30

【0090】

第6実施形態では、プローブ光 L_p だけが試料210に導かれ、参照光 L_R は試料210を迂回する。試料210を透過しない参照光 L_R と、試料210を透過したプローブ光 L_p が空間的に重ねられて単一の光検出素子211で検出され、検出信号が平衡器430に入力される。また、試料にポンプ光（刺激）を照射し、ポンプ光の強度を参照信号の周波数で変調し、平衡器430の出力を参照信号の周波数でロックイン検出する。

【0091】

第6実施形態の特徴として、乗算器231の出力に含まれる直流成分に基づいて、位相シフタ232をフィードバック制御する。このフィードバック制御により、試料スキャン等による試料の状態変化によってプローブ光と参照光の検出強度比が変わっても、不必要な状態変化を排除して、刺激に誘起された強度比変化だけを取り出すことができる。

40

【0092】

位相のフィードバック制御について、より具体的に説明する。平衡器430は、乗算器231、第1のローパスフィルタ433、第2のローパスフィルタ434、積分器435、及び位相シフタ232を有する。第2のローパスフィルタ434により、乗算器231の出力信号から直流成分が取り出され、その積分信号によって位相シフタ232が駆動される。

【0093】

参照信号源451の出力は強度変調器452とロックイン検出器450に入力される。刺激源208からの刺激信号はプローブ光 L_p に同期し、強度変調器452によって強度

50

変調を受けた後、試料 2 1 0 に入射される。

【 0 0 9 4 】

参照信号の周波数は、イメージングなどによる試料 2 1 0 の状態変化の周波数より十分に大きく設定される。第 1 のローパスフィルタ 2 3 3 の遮断周波数は、参照信号の周波数より大きく設定される。積分器 4 3 5 の遮断周波数は参照信号の周波数よりは小さく、試料 2 1 0 の状態変化の周波数よりは大きく設定される。つまり、各々の周波数の大小関係は、

(光源の強度変調周波数) > (第 1 のローパスフィルタ 4 3 3 の遮断周波数)

> (参照信号の周波数) > (積分器 4 3 5 の遮断周波数) > (試料の状態変化周波数)

となる。

10

【 0 0 9 5 】

第 1 のローパスフィルタ 4 3 3 の遮断周波数は参照信号(つまり刺激信号)の周波数よりも大きく、かつ試料 2 1 0 の状態変化の周波数よりも大きいので、試料 2 1 0 の刺激に誘起される状態変化の情報を含んだ信号が第 1 のローパスフィルタ 4 3 3 を通過して、平衡器 4 3 0 の出力として得られる。この出力を参照信号の周波数でロックイン検出することにより、刺激に誘起された信号が得られる。

【 0 0 9 6 】

積分器 4 3 5 の遮断周波数は、参照信号の周波数よりも小さいので、積分器 4 3 5 からの出力には、刺激に誘起された信号はほとんど含まれない。しかし、試料 2 1 0 の状態変化の周波数よりは大きいので、試料の状態変化の情報は含まれる。つまり、積分器 4 3 5 からの信号は、刺激に誘起されたプローブ光 L_p の強度 A の変化を含まないが、試料 2 1 0 の状態変化やその他外乱によって変化する A と B (参照光 L_R の強度) の差の情報が含まれる。積分器 4 3 5 の出力信号に基づき、位相シフタ 2 3 2 は A と B の差が零になるようにフィードバック制御される。

20

【 0 0 9 7 】

外乱や試料の状態変化などで A と B の比が変化しても、状態変化による刺激の信号変化までは打ち消さないゆっくりとしたフィードバック制御により、プローブ光 L_p と参照光 L_R の検出信号強度比を一定にすることができる。その結果、光雑音を打ち消しながら、刺激に誘起された信号に基づいた試料の状態変化の観測が可能になる。

30

【 0 0 9 8 】

第 5 実施形態(図 1 3 及び図 1 4)では、試料 2 1 0 の状態変化による A と B の比の変化を防ぐためにプローブ光 L_p と参照光 L_R の双方を試料 2 1 0 に照射していたが、第 6 実施形態(図 1 6)では、試料 2 1 0 の状態変化による A と B の比の変化をフィードバック制御により補正するので、参照光 L_R を試料 2 1 0 に照射する必要がない。

【 0 0 9 9 】

参照光 L_R を試料 2 1 0 に照射する必要がないので、参照光 L_R による試料 2 1 0 の損傷を防止できる。従って、光源 2 0 1 の強度をより強くすることができる。また、試料 2 1 0 の照射による光学的損失を減らすことができる。これにより、検出信号強度を大きくして、熱雑音や外来雑音、光電流の散弾雑音に対する信号雑音比を向上することが可能になる。

40

< 発展例 >

図 1 6 は、第 6 実施形態の構成を誘導ラマン測定に適用した例を示す。

【 0 1 0 0 】

図 1 6 では、光源 5 0 1 としてパルスレーザを用いる。この例ではパルス繰り返し周波数は 76.3 MHz で、4 分の 1 周期に相当する光路長は約 1 m となる。パルス光はビームスプリッタ 5 0 5 で分割され、一方の光成分はポンプ光 L_S と呼ばれる刺激源として用いられる。ポンプ(パルス)光 L_S は、チョッパー 5 5 2 によって強度が変調され、試料 2 1 0 に照射される。ポンプ光 L_S は適当な光路によって、プローブ光(パルス光) L_p と同時に試料 2 1 0 に照射されるように調整される。

【 0 1 0 1 】

50

もう一方のパルス光成分は、フォトニック結晶ファイバ(PCF)502に入射される。PCF502によって、単色のパルスレーザは白色パルス光に変換される。この白色パルス光は偏光子503を経た後、偏光ビームスプリッタ504によって、プローブ光 L_p と参照光 L_R に分割される。

【0102】

偏光子503は、白色光の偏光方向を固定・調整するために挿入されている。一般に、ビームスプリッタ504の分割比は入射光の偏光方向によって変化するため、偏光方向がパルス毎に揺らぐと、パルス毎にAとBの比が揺らぎ、光雑音を打ち消すことができなくなる。従って、パルス毎の分割比のばらつきを抑えるため、ビームスプリッタ504の直前の偏光子503によって偏光方向を固定する。偏光ビームスプリッタ504は水平方向の偏光を透過し、垂直方向の偏光を反射する。例えば、偏光子503の偏光方向を 45° とすると、プローブ光 L_p と参照光 L_R の分割比は1:1になる。プローブ光 L_p は試料210に入射され、ポンプ光 L_S とプローブ光 L_p の誘導ラマン効果によって、分子振動の情報が強度変調として載せられる。参照光 L_R は付加的な光路によってパルス繰り返しの4分の1周期に相当する遅延が与えられた後、偏光ビームスプリッタ507上でプローブ光 L_p と空間的に重ねられる。白色光の分割と重ね合わせに偏光ビームスプリッタ504、507を用いる場合、プローブ光 L_p は水平偏光なので偏光ビームスプリッタ504、507を高い透過率で透過する。参照光 L_R は垂直偏光なので、高い反射率で反射される。したがって、通常のビームスプリッタよりも光学的な損失が小さく抑えられる。

10

【0103】

プローブ光 L_p と参照光 L_R は共通の分光器311によって分光され、適当な波長が共通の光検出素子211に導入される。図16では図示の便宜上、単一の光検出素子211だけが描かれているが、複数の光検出素子211を波長毎に用意すると(図9参照)、同時多波長計測によるスペクトルを得ることができる。

20

【0104】

図17は、図16の系で測定されたプローブ光 L_p の光雑音打消し効果とフィードバックの効果(平衡器430のフィードバック制御)を示すものである。横軸は、プローブ光 L_p の強度Aと参照光 L_R の強度Bの差をAで規格化したものであり、光学的なバランスのずれを表す。縦軸は、光をチョップすることなく得られた信号をAで規格化したものであり、変調度換算の雑音を表す。雑音がなければ、信号が無く変調がかかっていない場合の信号強度は零になる。チョップされていない、或いは刺激に誘起された変調などがかけられていないにもかかわらず信号が観測されるのは、光雑音が原因である。

30

【0105】

星印はノイズキャンセルなしにプローブ光のみを検出した測定結果を示す。四角印は、平衡器430でノイズキャンセルを行うが、フィードバック制御を行わない場合の測定結果を示す。丸印は、平衡器430でノイズキャンセルとフィードバック制御を行った時の測定結果を示す。

【0106】

データ取得の際のパラメータとして、参照信号の周波数は4.5 kHz、第1のローパスフィルタ433の遮断周波数は10 kHz、積分器435と第2のローパスフィルタ435の遮断周波数は1 kHzとした。試料210は挿入せず、プローブ光 L_p と参照光 L_R の強度比を偏光子503の角度により調節した。フィードバック機能を無効にした状態で参照光 L_R を遮断し、プローブ光 L_p を直接チョップすると、プローブ光 L_p の強度Aが得られる。プローブ光 L_p を遮断し、参照光 L_R を直接チョップすると、参照光 L_R の強度Bが得られる。

40

【0107】

図中の星印は、試料210を通さずに、参照光を遮断して得られた信号であり、プローブ光 L_p の光雑音を示す。変調度換算で約 $1.5 \times 10^{-4} \text{ (Hz)}^{-1/2}$ の光雑音が観測されている。四角印の測定点では、フィードバック機能を無効にしているが、横軸の値がゼロ、すなわち $A=B$ となるように偏光子503を調節することで、 $6.4 \times 10^{-6} \text{ (Hz)}^{-1/2}$ まで雑音が打ち消されることが分かる。雑音の下限は、回路中の抵抗の熱雑音や能動素子による雑音、

50

光電流の散弾雑音で定まる。これら雑音による信号対雑音比は、光源 201 の入射光強度を大きくすることで向上する。

【0108】

偏光子 503 を調節して A と B の比を崩していくと、A が B よりも大きい場合、B が A よりも大きい場合のいずれにおいても、光雑音を十分に打ち消すことができず、光雑音が観測される。

【0109】

丸印の測定点では、フィードバック機能が用いられ、プローブ光と参照光の強度比が崩れた場合でも、光雑音が十分に打ち消されている。フィードバック機能を無効にすると強度比が崩れるにつれて光雑音が大きくなるが（四角印）、フィードバック機能を有効にする

10

【0110】

図 18 ~ 図 20 は、第 5 実施形態と第 6 実施形態の光学測定を多波長同時計測誘導ラマン顕微鏡に適用したときの測定結果を示す。図 18 (a) は用いた試料 600 の上面図、図 18 (b) は側面図である。直径 4 μm のポリスチレン (PS) 球 602 を、ポリビニルアルコール (PVA) 膜 601 中に埋めた試料 600 を作製する。

【0111】

図 19 (a) の実線は、ポリスチレン (PS) の自発ラマンスペクトル、破線は PVA の自発ラマンスペクトルを示す。PS は、3054 cm^{-1} にピークのあるラマンバンドを有し、PVA は 2914 cm^{-1} にピークがあるラマンバンドを有する。ポンプ光とプローブ光の波数差を 3050 cm^{-1} 付近に設定すると、主に PS 由来の信号が得られ、波数差を 2915 cm^{-1} 付近に設定すると、主に PVA 由来の信号が得られる。

20

【0112】

図 19 (b) と図 19 (c) は、ノイズキャンセル有り、かつフィードバック無しの際のイメージング結果をそれぞれ示す。測定開始時にプローブ光の強度 A と参照光の強度 B を A = B に設定し、試料 600 を掃引することで画像を得る。黒色ほど信号強度が小さく、白色ほど信号強度が大きい。図 19 (b) では、3050 cm^{-1} のラマンバンドに共鳴するプローブ光の波長で得られた画像であり、PS 球 602 が存在するところに強い信号が円板状に得られている。図 19 (c) は、2915 cm^{-1} のラマンバンドに共鳴するプローブ光

30

【0113】

図 19 (d) は比較として、実施形態のノイズキャンセルが実施されていないときのイメージング結果を示す。3050 cm^{-1} のラマンバンドに共鳴する波長において、参照光をブロックしているため、プローブ光の光雑音が打ち消されていない。この場合、プローブ光の光雑音に信号が埋もれて PS 球 602 の像が得られない。また、図には示さないが、2915 cm^{-1} のラマンバンドに共鳴する波長においても同様である。実施形態では、参照光を用いた平衡処理を行うことにより、分光器を通しながら同時多波長で光雑音打消しが達成

40

【0114】

図 19 (e) と図 19 (f) はそれぞれ、ノイズキャンセルに加えて、フィードバック制御を行ったときのイメージング結果を示す。図 19 (e) は 3050 cm^{-1} のラマンバンドに共鳴するプローブ光の波長で得られた画像、図 19 (f) は 2915 cm^{-1} のラマンバンドに共鳴するプローブ光の波長で得られた画像である。それぞれ、図 19 (b) と図 19 (c) と同様のコントラストが得られている。フィードバック制御を行うことにより、光学的なバランスが自動的に調整されて、光雑音が打ち消されていることが分かる。さらに、刺激に誘起された信号はフィードバックによって打ち消されないようにフィードバックの応答を適切に設定することで、ポンプ光による刺激が観測されるという原理が実証されて

50

いる。

【0115】

図20(a)と図20(b)は、それぞれ図19(b)と図19(e)の $X = 4.25 \text{ mm}$ における断面図である。この図は、測定中のプローブ光の強度Aと参照光の強度Bの比の崩れがフィードバック制御により自動補正される効果を示している。図20(a)はフィードバックを適用しない場合で、ポリスチレン(PS)球602が存在する領域で誘導ラマン散乱に由来して信号強度が大きくなっている。しかし、PS球602の形状が球状であるにもかかわらず、信号強度が場所によって大きく揺らいでいる。これは測定の開始時に光学的調整によって設定された $A=B$ の条件が、PS球602を透過することで乱されたために、プローブ光の光雑音が十分に打ち消されなくなったためである。

10

【0116】

これに対し、図20(b)は、フィードバックを適用した場合で、PS球602が存在する領域で誘導ラマン散乱に由来して信号強度が大きい。しかも、図20(a)で見られるような、PS球602の存在領域における信号強度の大きな揺らぎは観測されない。これは、図20(b)ではPS球602を透過することによる $A=B$ の条件の乱れがフィードバックによって自動的に補正されて、プローブ光の光雑音が最大限に打ち消されているためである。測定中の $A=B$ (あるいは強度比)の崩れが、第6実施形態のフィードバック制御による位相調整の方法で自動的に補正されるという原理が実証されている。

【0117】

本出願は、2013年6月27日に出願された日本国特許出願第2013-135412号に基づきその優先権を主張するものであり、同日本国特許出願の全内容を参照することにより本願に援用する。

20

【符号の説明】

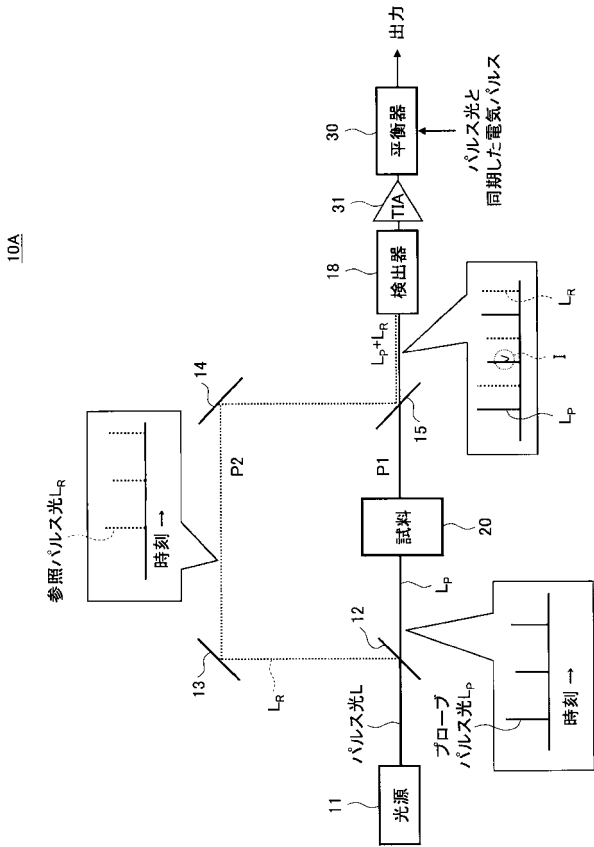
【0118】

10A、10B、100、200、300、400、500 光学測定装置
 11、201 光源
 18、18-1~18-n、211 検出器
 12、15、52、55、119、122、504、507 偏光ビームスプリッタ(光学素子)
 20、210 試料
 30、230、430 平衡器
 34 コンパレータ(方形波生成器)
 38、231 乗算器
 51、110 白色光源
 58、311 分光器
 59 多チャンネルロックインアンプ
 127 ステージ
 150 測定系
 202、252 強度変調器
 232 位相シフタ
 435 積分器
 450 ロックイン検出器
 451 参照信号減
 501 パルス光源
 L_P プローブパルス光
 L_R 参照パルス光
 L_S 刺激またはポンパルス光

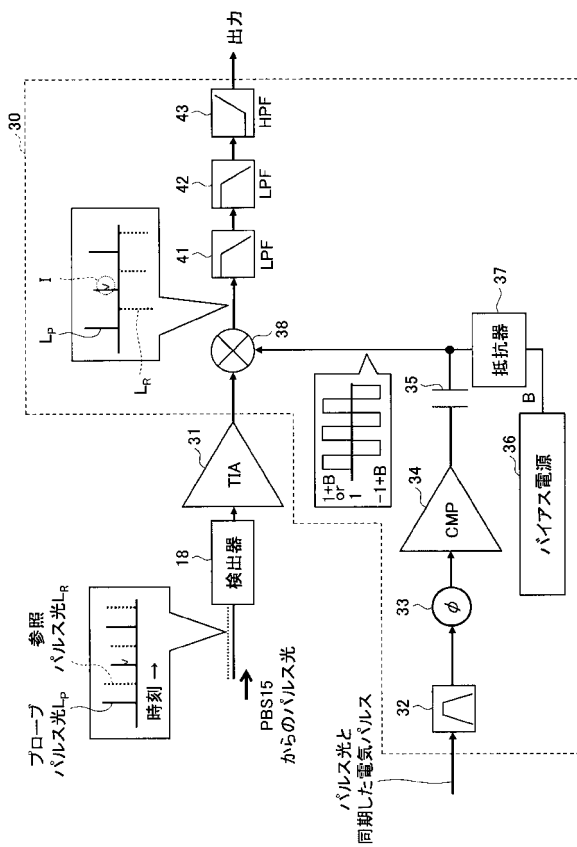
30

40

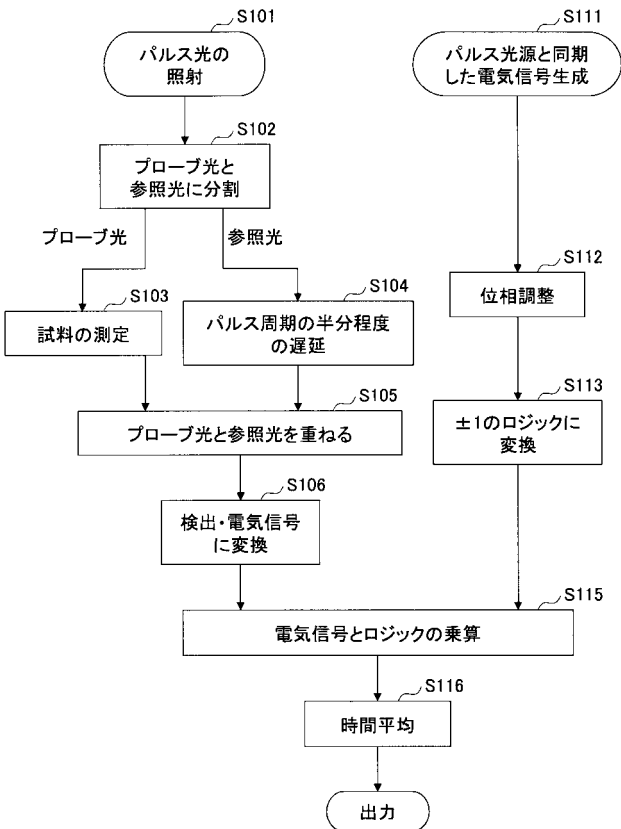
【 図 1 】



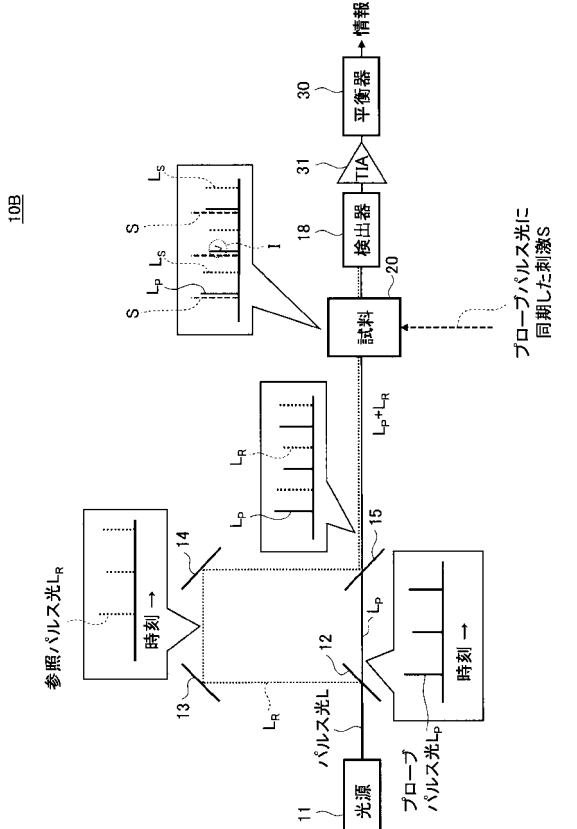
【 図 2 】



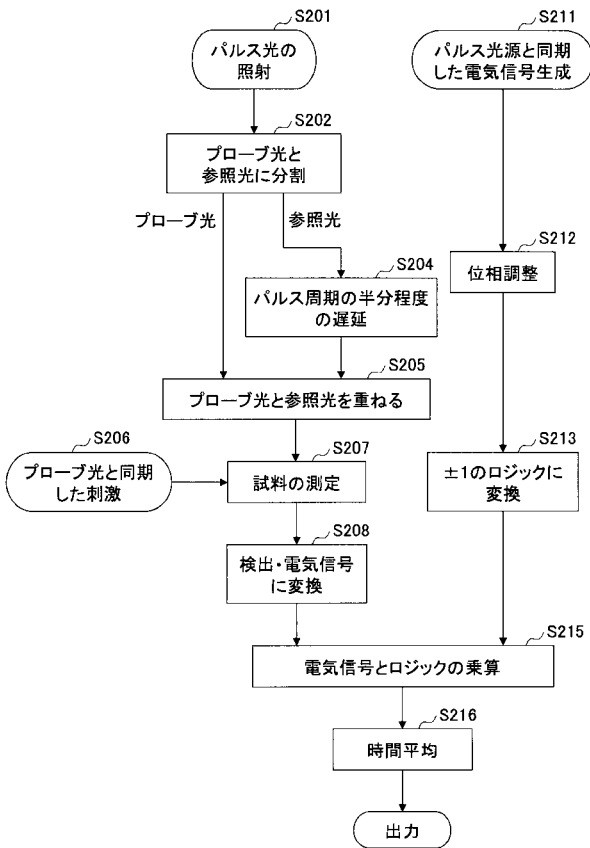
【 図 3 】



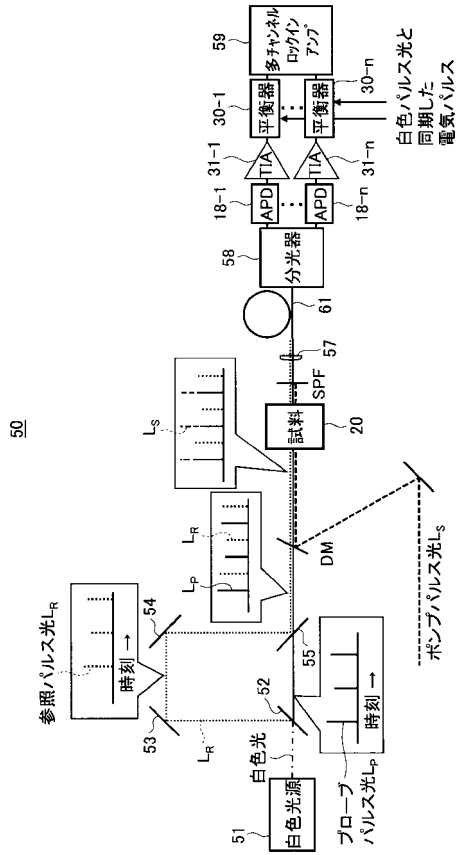
【 図 4 】



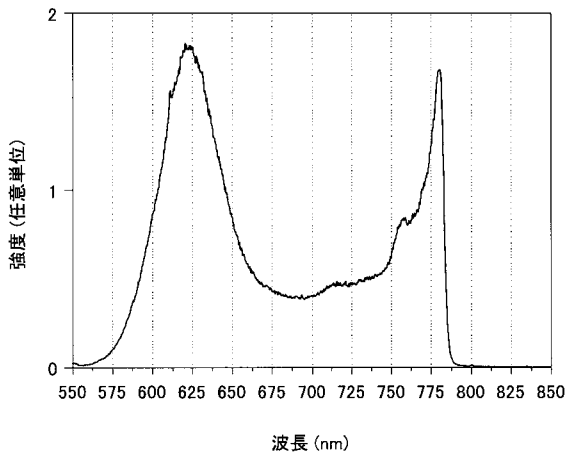
【 図 5 】



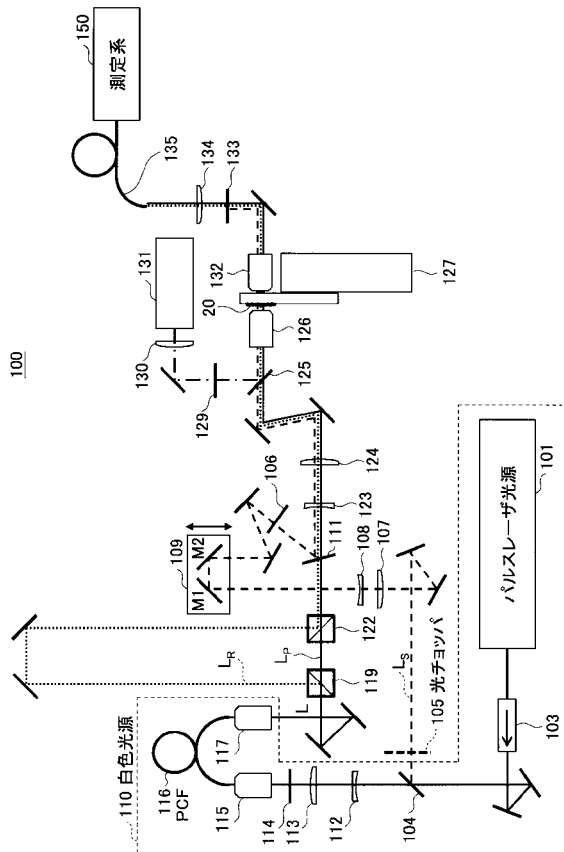
【 図 6 】



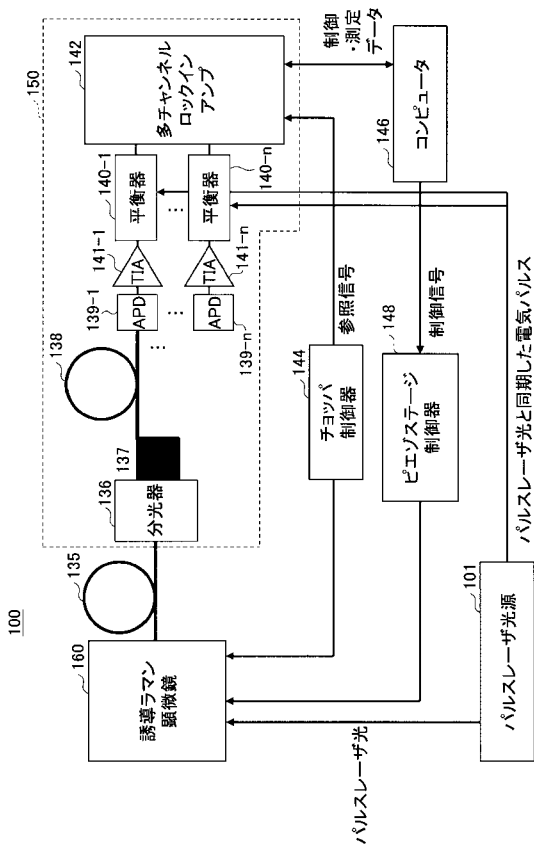
【 図 7 】



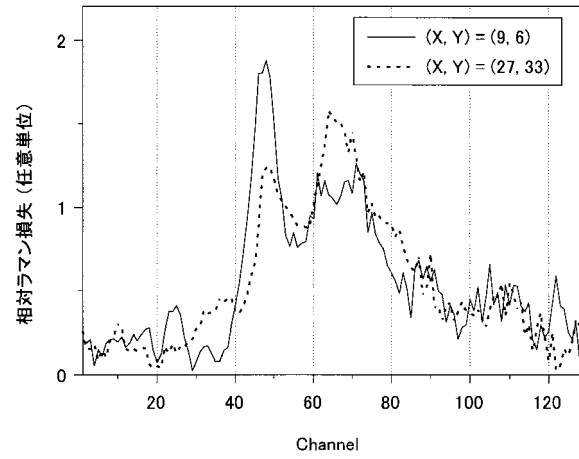
【 図 8 】



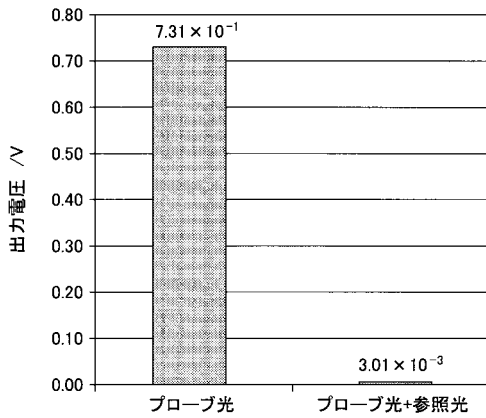
【 図 9 】



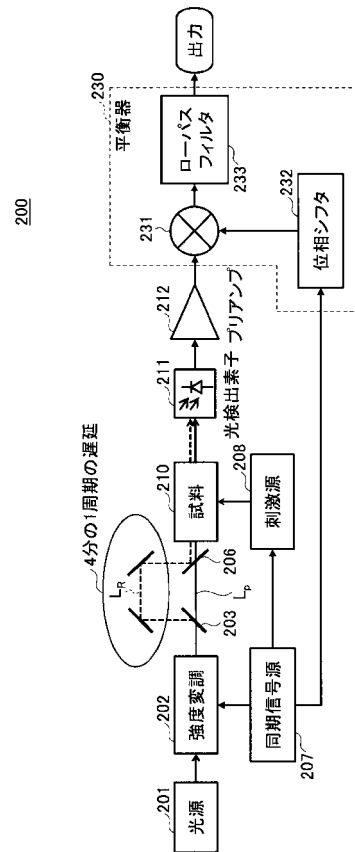
【 図 1 1 】



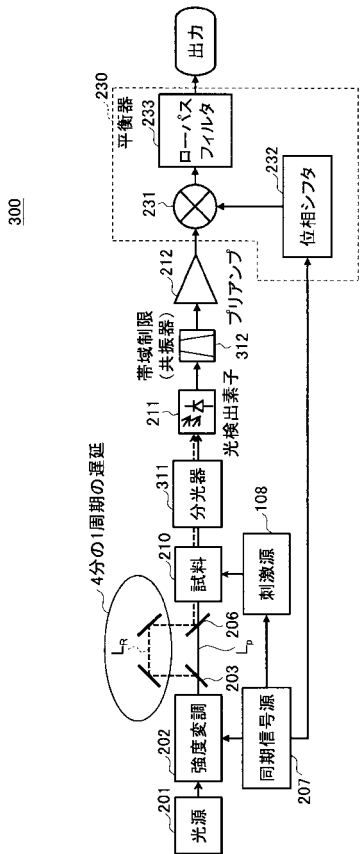
【 図 1 2 】



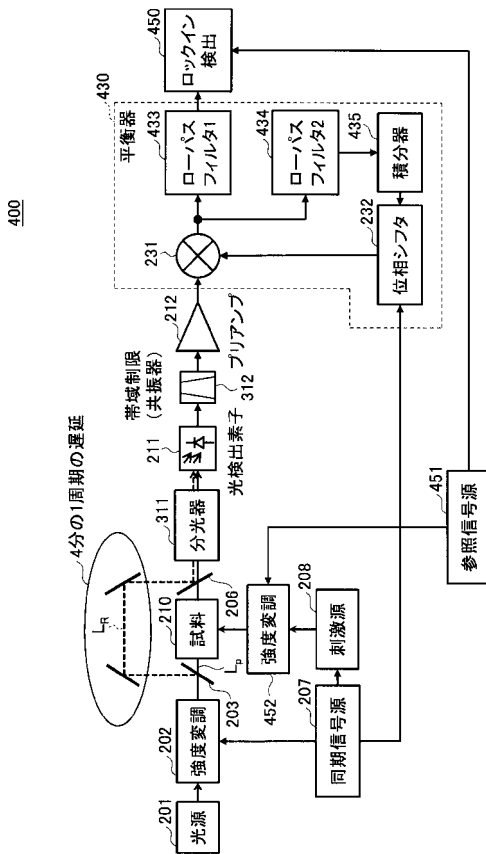
【 図 1 3 】



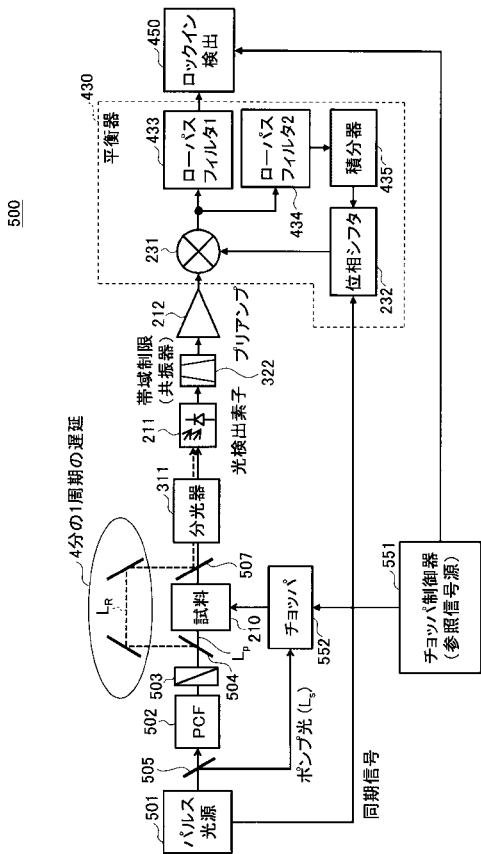
【図 14】



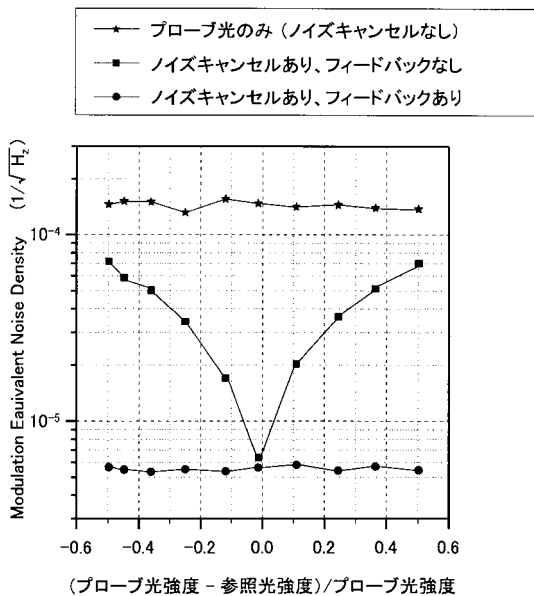
【図 15】



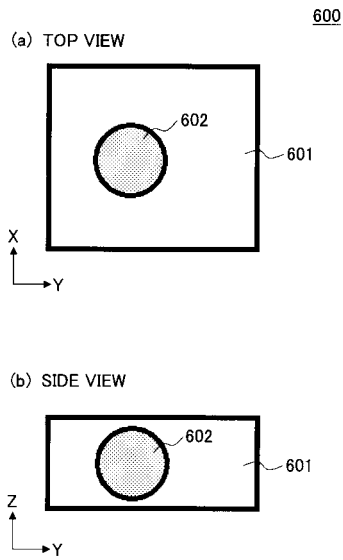
【図 16】



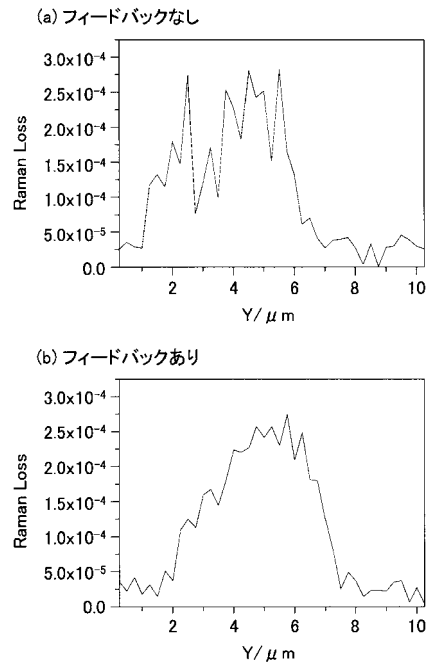
【図 17】



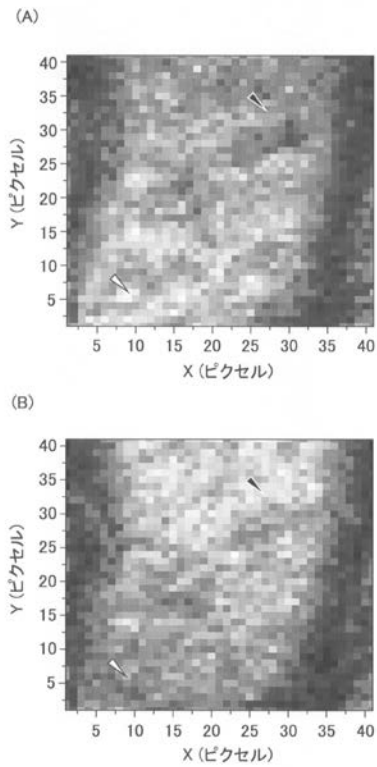
【 図 1 8 】



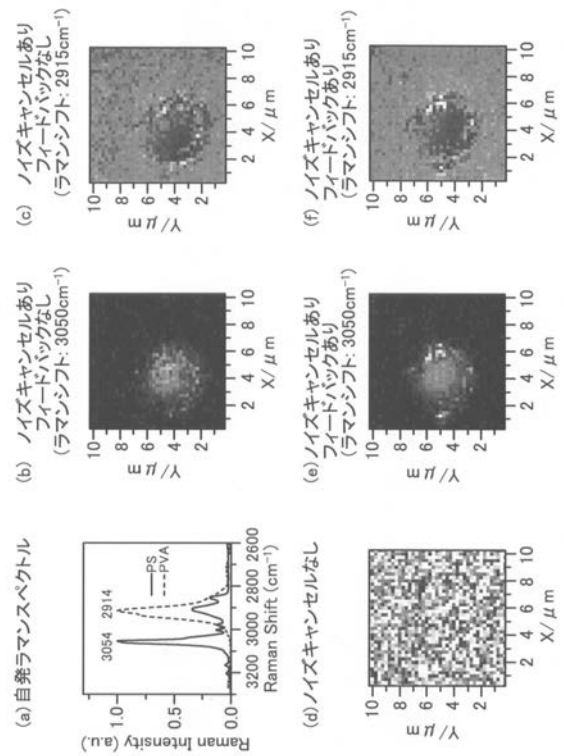
【 図 2 0 】



【 図 1 0 】



【 図 1 9 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2014/065587
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N21/27(2006.01)i, G01N21/65(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) G01N21/00, 21/01, 21/17-21/74 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 1996-2014 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X <u>P, A</u>	Keisuke Seto et al., Development of a balanced detector with biased synchronous detection and application to near shot noise limited noise cancelling of supercontinuum pulse light, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 85,023702 (2014), 2014.02.05, 023702-1 - 023702-11	1-3, 7-11 <u>4-6, 12</u>
P, A	Keisuke SETO et al., "Development of a balanced detection suited to simultaneous multi-wavelength measurements with noisy white-probe-light", Dai 61 Kai JSAP Spring Meeting Koen Yokoshu, 03 March 2014 (03.03.2014)	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 22 August, 2014 (22.08.14)		Date of mailing of the international search report 16 September, 2014 (16.09.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/065587

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2014-106233 A (Siemens Healthcare Diagnostics Products GmbH), 09 June 2014 (09.06.2014), paragraphs [0031] to [0042] & EP 2735861 A1 & US 2014/147928 A1 & CN 103837690 A	1-12
A	JP 2012-26830 A (Shimadzu Corp.), 09 February 2012 (09.02.2012), claim 1 & US 2012/0188549 A1 & CN 102346137 A	1-12
A	JP 2003-98071 A (Hitachi Medical Corp.), 03 April 2003 (03.04.2003), claim 1 & US 2004/0236195 A1 & EP 1420242 A1 & WO 2003/008944 A1	1-12
A	JP 2004-333344 A (Hitachi, Ltd.), 25 November 2004 (25.11.2004), claim 1 (Family: none)	1-12

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 4 / 0 6 5 5 8 7									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N21/27(2006.01)i, G01N21/65(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. G01N21/00, 21/01, 21/17-21/74											
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2014年										
日本国実用新案登録公報	1996-2014年										
日本国登録実用新案公報	1994-2014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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)											
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									
PX PA	Keisuke Seto et al., Development of a balanced detector with biased synchronous detection and application to near shot noise limited noise cancelling of supercontinuum pulse light, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 85, 023702(2014), 2014.02.05, 023702-1~023702-11	1-3, 7-11 4-6, 12									
PA	瀬戸啓介 他, 強雑音白色プローブ光を用いる同時多波長計測に適したバランス検出法, 第61回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, 2014.03.03	1-12									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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		の日の後に公表された文献									
「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		「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									
「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		「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									
「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)		「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									
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献									
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願											
国際調査を完了した日 22.08.2014		国際調査報告の発送日 16.09.2014									
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) 横井 亜矢子	2W 9706								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3250									

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 4 / 0 6 5 5 8 7
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
PA	JP 2014-106233 A (シーメンス ヘルスケア ダイアグノスティクス プロダクツ ゲゼルシャフト ミット ベシユレンクテル ハフツング) 2014.06.09, 【0031】 - 【0042】 & EP 2735861 A1 & US 2014/147928 A1 & CN 103837690 A	1-12
A	JP 2012-26830 A (株式会社島津製作所) 2012.02.09 【請求項1】 & US 2012/0188549 A1 & CN 102346137 A	1-12
A	JP 2003-98071 A (株式会社日立メディコ) 2003.04.03, 【請求項1】 & US 2004/0236195 A1 & EP 1420242 A1 & WO 2003/008944 A1	1-12
A	JP 2004-333344 A (株式会社日立製作所) 2004.11.25, 【請求項1】 (ファミリーなし)	1-12

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, 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

特許法第30条第2項適用申請有り Review of Scientific Instruments内のサイト <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/rsi/85/2/10.1063/1.4863879> (テキスト版) <http://scitation.aip.org/docserver/fulltext/aip/journal/rsi/85/2/10.1063/1.4863879.pdf?expires=1452650476&id=id&accname=2101597&checksum=67FD4FBCB08661E0B162D211A3F49B0B> (PDF版) Review of Scientific Instruments 85, 023702 (2014)
平成26年2月5日掲載

特許法第30条第2項適用申請有り 2014年第61回応用物理学会春季学術講演会「講演予稿集」 17p - E4 - 8 強雑音白色プローブ光を用いる同時多波長計測に適したバランス検出法 平成26年3月3日掲載

(出願人による申告) 平成22年度、独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業チーム型研究(CREST) 研究領域「先端光源を駆使した光科学・光技術の融合展開」における研究課題「高性能レーザーによる細胞光イメージング・光制御と光損傷機構の解明」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

Fターム(参考) 2G059 AA05 BB08 BB12 EE01 EE03 FF01 FF03 GG01 GG08 HH01
JJ11 JJ17 JJ19 JJ22 JJ24 KK02 KK03 MM03 MM08 NN01

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。