

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-530614
(P2009-530614A)

(43) 公表日 平成21年8月27日(2009.8.27)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO 1 N 21/17 (2006.01) GO 1 N 21/17 6 2 0 2 G O 5 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2009-500502 (P2009-500502)
(86) (22) 出願日 平成19年3月16日 (2007.3.16)
(85) 翻訳文提出日 平成20年11月10日 (2008.11.10)
(86) 国際出願番号 PCT/US2007/006625
(87) 国際公開番号 W02007/109127
(87) 国際公開日 平成19年9月27日 (2007.9.27)
(31) 優先権主張番号 60/782, 915
(32) 優先日 平成18年3月16日 (2006.3.16)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

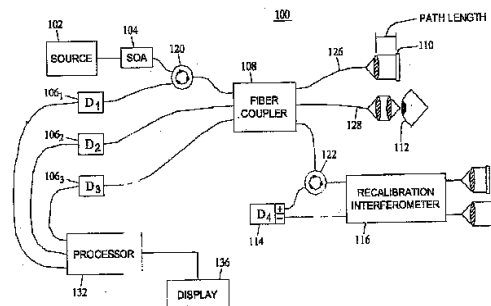
(71) 出願人 508276268
デューク ユニバーシティ
アメリカ合衆国、ノースカロライナ州 2
7708、ダーラム、ピー. オー. ボック
ス 90083、オフィス オブ ライセ
ンシング アンド ベンチャー
(74) 代理人 100113022
弁理士 赤尾 謙一郎
(74) 代理人 100110249
弁理士 下田 昭
(72) 発明者 マリンコ ブイ サルニク
アメリカ合衆国、ノースカロライナ州 2
7705、ダーラム、フォレスト オーク
ス ドライブ 102

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フーリエ領域光コヒーレンス・トモグラフィーに基づく実時間直角位相投影を実行するための方法、システム及びコンピュータプログラム製品

(57) 【要約】

実時間直角位相投影に基づくFDOCTを実行するための方法、システム及びコンピュータプログラム製品が開示される。一実施形態によれば、複数のインターフェログラム信号が位相シフトされる。複数のインターフェログラム信号のそれぞれにフーリエ変換が適用される。複数の変換されたインターフェログラム信号の深さ依存性が後に除去される。複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれについて、実直角位相成分と、虚数直角位相成分とが後に計算される。導かれた実成分を得るため、変換されたインターフェログラム信号の実直角位相成分が結合され、導かれた虚数成分を得るため、変換されたインターフェログラム信号の虚数直角位相成分が結合される。導かれた虚数成分と倍率との積に対し、導かれた実成分を加えることにより、対象の全範囲深さプロフィールが構成される。その後、全範囲深さプロフィールを用い対象の全範囲深さ画像が生成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対象の全範囲画像を生成するための実時間直角位相投影処理を実行する方法であって、前記方法は：

(a)光源から関心ある対象に光を投影すると共に前記対象及び少なくとも1つの参照光源から反射される光を検出することで生成される複数のインターフェログラム信号のそれぞれに、フーリエ変換を適用する段階と、

(b)前記複数の変換されたインターフェログラム信号に関連する相対位相の深さ依存性を除去する段階と、

(c)前記複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれについて、実数直角位相成分と、虚数直角位相成分とを計算する段階と、

(d)導かれた実数成分を生成するため、前記変換されたインターフェログラム信号の前記実数直角位相成分を結合すると共に、導かれた虚数成分を生成するため、前記変換されたインターフェログラム信号の前記虚数直角位相成分を結合する段階と、

(e)前記導かれた虚数成分と倍率との積に、前記導かれた実数成分を加えることにより、前記対象の全範囲深さプロファイルを構成する段階と、

(f)前記全範囲深さプロファイルを用い、前記対象の全範囲深さ画像を生成する段階と、

を備える方法。

【請求項 2】

前記複数のインターフェログラム信号は、第1のインターフェログラム信号と残りの複数のインターフェログラム信号とを含み、前記残りの複数のインターフェログラム信号のそれぞれは、誘発位相シフトの角度に従って前記第1のインターフェログラム信号から位相シフトされる請求項1記載の方法。

【請求項 3】

前記除去段階は、前記複数の変換されたインターフェログラム信号に属する第1の変換されたインターフェログラム信号の位相プロファイルを、残りの複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれから差引く段階を含む請求項1記載の方法。

【請求項 4】

前記差引き段階は、

【数 6】

$$\hat{s}_2'(z) = \|\hat{s}_2(z)\| \exp[\arg(\hat{s}_2(z)) - \arg(\hat{s}_1(z))]$$

として表され、

【数 1 1】

$$\hat{s}_1(z)$$

は前記第1の変換されたインターフェログラム信号であり、

【数 2】

$$\hat{s}_n(z)$$

は前記残りの複数の変換されたインターフェログラム信号の1つを表す請求項3記載の方法。

【請求項 5】

前記除去段階は：

(a)前記複数の変換されたインターフェログラム信号に属する第1の変換されたインターフェログラムのベクトル表現を、正の実数軸へ揃える段階と、

(b)残りの複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれのベクトル表現を、誘発位相シフトの角度にシフトさせる段階と、

10

20

30

40

50

を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記計算段階は、前記複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれの、実数軸及び虚数軸へのベクトル投影を決定する段階を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

前記決定段階は、各ベクトル投影を直交座標で表現し、かつ各ベクトル投影についての実数直角位相成分と虚数直角位相成分とを得ることにより実行される請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

前記結合段階はそれぞれ、前記導かれた実数成分を生成するため、前記ベクトル投影の前記実数直角位相成分を合計すると共に、前記導かれた虚数成分を生成するため、前記ベクトル投影の前記虚数直角位相成分を合計することを含む請求項 7 記載の方法。

10

【請求項 9】

前記倍率は、前記導かれた実数成分及び前記導かれた虚数成分の合計大きさの比を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

前記倍率は、

【数 25】

$$\beta = \sqrt{\int |\hat{s}^{RE}(z)|^2 dz / \int |\hat{s}^{IM}(z)|^2 dz}$$

20

として表される値を含み、ここで

【数 27】

$$|\hat{s}^{RE}(z)|^2$$

は前記導かれた実数成分の全エネルギーであり、

【数 28】

$$|\hat{s}^{IM}(z)|^2$$

30

は前記導かれた虚数成分の全エネルギーである請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】

前記複数のインターフェログラム信号は、検出器信号の干渉成分を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 12】

前記全範囲深さプロファイルは、複素共役分解された画像を構成するために用いられる請求項 1 記載の方法。

【請求項 13】

前記フーリエ変換は、離散フーリエ変換及び高速フーリエ変換の少なくとも一つを含む請求項 1 記載の方法。

40

【請求項 14】

前記フーリエ変換は、サイン及びコサイン関数の和による、前記複数のインターフェログラム信号の少なくとも一つの最小二乗フィットの係数である値を有する複素配列を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 15】

前記関心ある対象は、生体組織を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 16】

前記生体組織は、人間の目の前眼部を含む請求項 15 記載の方法。

【請求項 17】

50

対象の全範囲画像を生成するための実時間直角位相投影処理を実行するシステムであって、前記システムは：

(a) 光源から関心ある対象に光を投影すると共に前記対象及び少なくとも1つの参照光源から反射される光を検出することで生成される複数のインターフェログラム信号を生成するための干渉計；並びに

(b) 前記複数の変換されたインターフェログラム信号に関連する相対位相の深さ依存性を除去し、前記複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれについて、実数直角位相成分と虚数直角位相成分とを計算し、導かれた実数成分を生成するため、前記変換されたインターフェログラム信号の前記実数直角位相成分を結合すると共に、導かれた虚数成分を生成するため、前記変換されたインターフェログラム信号の前記虚数直角位相成分を結合し、前記導かれた虚数成分と倍率との積に、前記導かれた実数成分を加えることにより、前記対象の全範囲深さプロファイルを構成し；及び前記全範囲深さプロファイルを用い、前記対象の全範囲深さ画像を生成するための処理装置、を備えるシステム。

【請求項18】

前記複数のインターフェログラム信号は、第1のインターフェログラム信号と残りの複数のインターフェログラム信号とを含み、前記残りの複数のインターフェログラム信号のそれぞれは、誘発位相シフトの角度に従って前記第1のインターフェログラム信号から位相シフトされる請求項17記載のシステム。

【請求項19】

前記処理装置はさらに、前記複数の変換されたインターフェログラム信号に属する第1の変換されたインターフェログラム信号の位相プロファイルを、残りの複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれから差引くことに適する請求項17記載のシステム。

【請求項20】

前記位相プロファイルの差引きは、

【数6】

$$\hat{s}_2'(z) = \|\hat{s}_2(z)\| \exp[\arg(\hat{s}_2(z)) - \arg(\hat{s}_1(z))]$$

として表され、

【数11】

$$\hat{s}_1(z)$$

は前記第1の変換されたインターフェログラム信号であり、

【数2】

$$\hat{s}_n(z)$$

は前記残りの複数の変換されたインターフェログラム信号の1つを表す請求項19記載のシステム。

【請求項21】

前記処理装置はさらに、

(a) 前記複数の変換されたインターフェログラム信号に属する第1の変換されたインターフェログラムのベクトル表現を、正の実数軸へ揃え、

(b) 残りの複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれのベクトル表現を、誘発位相シフトの角度にシフトさせる、ことに適する請求項17記載のシステム。

【請求項22】

前記処理装置はさらに、前記複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれの、実数軸及び虚数軸へのベクトル投影を決定することに適する請求項17記載のシステム。

【請求項23】

10

20

30

40

50

前記処理装置はさらに、各ベクトル投影を直交座標で表現し、かつ各ベクトル投影についての実数直角位相成分と虚数直角位相成分とを得ることに適する請求項 2 2 記載のシステム。

【請求項 2 4】

前記処理装置はさらに、それぞれ、前記導かれた実数成分を生成するため、前記ベクトル投影の前記実数直角位相成分を合計すると共に、前記導かれた虚数成分を生成するため、前記ベクトル投影の前記虚数直角位相成分を合計することに適する請求項 2 3 記載のシステム。

【請求項 2 5】

前記倍率は、前記導かれた実数成分及び前記導かれた虚数成分の合計大きさの比を含む請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 2 6】

前記倍率は、

【数 2 5】

$$\beta = \sqrt{\int |\hat{s}^{RE}(z)|^2 dz / \int |\hat{s}^{IM}(z)|^2 dz}$$

として表される値を含み、ここで

【数 2 7】

$$|\hat{s}^{RE}(z)|^2$$

は前記導かれた実数成分の全エネルギーであり、

【数 2 8】

$$|\hat{s}^{IM}(z)|^2$$

は前記導かれた虚数成分の全エネルギーである請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 2 7】

前記複数のインターフェログラム信号は、検出器信号の干渉成分を含む請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 2 8】

前記全範囲深さプロファイルは、複素共役分解された画像を構成するために用いられる請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 2 9】

前記フーリエ変換は、離散フーリエ変換及び高速フーリエ変換の少なくとも 1 つを含む請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 3 0】

前記フーリエ変換は、サイン及びコサイン関数の和による、前記複数のインターフェログラム信号の少なくとも 1 つの最小二乗フィットの係数である値を有する複素配列を含む請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 3 1】

前記関心ある対象は、生体組織を含む請求項 1 7 記載のシステム。

【請求項 3 2】

前記生体組織は、人間の眼の前眼部を含む請求項 3 1 記載のシステム。

【請求項 3 3】

(a) 光源から関心ある対象に光を投影すると共に前記対象及び少なくとも 1 つの参照光源から反射される光を検出することで生成される複数のインターフェログラム信号のそれぞれに、フーリエ変換を適用する段階と、

10

20

30

40

50

(b)前記複数の変換されたインターフェログラム信号に関連する相対位相の深さ依存性を除去する段階と、

(c)前記複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれについて、実数直角位相成分と、虚数直角位相成分とを計算する段階と、

(d)導かれた実数成分を生成するため、前記変換されたインターフェログラム信号の前記実数直角位相成分を結合すると共に、導かれた虚数成分を生成するため、前記変換されたインターフェログラム信号の前記虚数直角位相成分を結合する段階と、

(e)前記導かれた虚数成分と倍率との積に、前記導かれた実数成分を加えることにより、前記対象の全範囲深さプロファイルを構成する段階と、

(f)前記全範囲深さプロファイルを用い、前記対象の全範囲深さ画像を生成する段階と

10

、
を含むステップを実行するため、コンピュータ読取可能な媒体に実現されたコンピュータ実行可能な命令を含むコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(政府の権利)

本書の主題は、アメリカ国立眼研究所(NEI)によって授与された連邦補助金番号No. EY013516によって支持されるアメリカ合衆国政府と共になされた。アメリカ合衆国政府はこの発明について所定の権利を有する。

20

(関連する出願への相互参照)

本出願は、2006年3月16日出願の米国仮特許出願No. 60/782,915の利益を主張する。この仮特許出願の内容は参照することにより全体が本書に援用される。

【0002】

(技術分野)

本書に記述される主題は、フーリエ領域(FD)変換の利用、並びにそれらの干渉法及び光コヒーレンス・トモグラフィー(OCT)の分野への応用に関する。特に、本書に記述される主題は、FDOCTに基づく実時間直角位相投影の実行に関する。

【背景技術】

【0003】

30

近年の光コヒーレンス・トモグラフィー(OCT)の発達は、生物組織の高速断面像のためのフーリエ領域(FD)技術に集中してきた。すなわち、FD技術は、従来のOCT技術に対して増大する信号対雑音比(SNR)及び増大するロバスト性を提供する。FDOCT技術のSNRの優位は、より高速の画像取得に用いられてもよく、それによって生体の実用的な3次元OCT画像を可能とする。FDOCTにおいて、試料内の散乱体の位置は、試料からの後方散乱光と参照光との混合により生成される実数値のスペクトル インターフェログラム(spectral interferogram)のフーリエ変換によって取得される。インターフェログラムのフーリエ変換は、エルミート対称性(Hermitian symmetric)であり、それによって正及び負の距離が区別できない複素共役アーチファクト(artifact)を取り込む。実際に、この対称性のアーチファクトは、正又は負の移動範囲内全体に試料を設置することによって回避することができ、このようにして全画像の奥行き(depth)の潜在性の半分のみを利用する。このような片側だけ(one sided)の画像化は薄い対象物には適するが、FDOCTシステムの有限なスペクトル分解能に典型的に関係する、感度の特徴的な(characteristic)ロールオフにより、広がった対象物の画像化が限られる。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

正及び負の距離が区別される全範囲(Full-range)画像化は、位相シフト干渉法から取り入れた技術を用いた干渉OCT信号の複素成分を間接的に測定することにより得られる。

インターフェログラムの虚数成分は、90度単位で参照反射(reference reflection)の

50

位相をシフトさせることにより得られる。位相シフトは、離散的に進む (discretely stepped) 圧電変換器 (PZT) が搭載された反射体、又は参照アーム (reference arm) 内の電気光学変調器を用い、分光計に基づくFDOCTシステムで実証されてきた。インターフェログラムを連続してシフトさせる1つの欠点は、重大な画像破損が、得られた実際の位相シフトにおける微小な偏差 (例えば、色の偏差) から生じ、又は位相をシフトした捕捉の間の微小な (例えば、サブ波長 (sub-wavelength)) 試料の動きから生じることである。

【0005】

近年、直線偏光した光を用い、2つの位相をシフトした信号の瞬間的な捕捉が実証された。この技術は、複屈折試料に存在する潜在的な画像破損によって制限されたのと同様に、2つの位相をシフトした信号しか有しない (それは複素信号の再構成を制限する) ことによって制限された。分光計に基づくFDOCTシステム及び掃引信号源 (swept source) (SS) FDOCTシステムのために3×3結合したファイバー結合器を用い、3つの位相をシフトしたインターフェログラムを瞬間的に捕捉する方法もまた使用されてきた。しかしながら、複素共役画像の再構成のためのこれらのタイプのシステムの能力は、ファイバー結合器に関する分割比の波長依存性によって限定されることがある。さらに、周波数シフトに基づく全範囲画像化へのアプローチが考慮されているが、この方法は分光計に基づくシステムと互換性 (compatible with) がない。

【0006】

注目すべきは、上記した位相をシフトしたFDOCT技術のすべては、位相器の波長依存性から生じるのと同様に、位相シフトの較正誤りから生じる画像破損を欠点として持っている。位相シフトの異常の補償により、及び位相シフトした取得の間での軸方向の試料の移動の計算により、対称性のアーチファクトの抑制を改善するための計算技術が以前から存在してきた。しかし、FDOCT画像に存在する複素共役アーチファクトの除去に取り組む方法はまったくなかった。

従って、FDOCT画像の複素共役アーチファクトを除去する有効な方法への要求が存在する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本書に記述される主題は、FDOCTに基づく実時間直角位相投影を実行するための方法、システム及びコンピュータプログラム製品を含む。一の方法は、複数のインターフェログラム信号の位相シフトを含む。複数のインターフェログラム信号のそれぞれにフーリエ変換が適用される。複数の変換されたインターフェログラム信号の深さ依存性がその後除去される。複数の変換されたインターフェログラム信号のそれぞれについて、実数 (real) 直角位相成分と、虚数直角位相成分とがその後計算される。導かれた実数成分を得るため、変換されたインターフェログラム信号の実数直角位相成分が結合され、導かれた虚数成分を得るため、変換されたインターフェログラム信号の虚数直角位相成分が結合される。導かれた虚数成分と倍率 (scaling factor) との積に対し、導かれた実数成分を加えることにより、対象の全範囲深さプロファイルが構成される。その後、全範囲深さプロファイルを用い、対象の全範囲深さ画像が生成される。

【0008】

FDOCTに基づく実時間直角位相投影を実行するための本書に記述される主題は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、又は任意のそれらの組合せで実行されてもよい。そのようなものとして、本書で用いられる "機能" 又は "モジュール" という用語は、記述される特徴 (feature) を実行するためのハードウェア、ソフトウェア、及び/又はファームウェアを表す。1つの例示的な実行において、本書に記述される主題は、コンピュータ読取可能な媒体に実現されたコンピュータ実行可能な命令を含むコンピュータプログラム製品を用いて実行されてよい。本書に記述される主題を実行するのに適した例示的なコンピュータ読取可能な媒体は、ディスクメモリデバイス、チップメモリデバイス、プログラム可能な論理素子、特定用途向け集積回路、及びダウンロード可能な電気信号を含む。さらに、本書に記述される主題を実行するコンピュータプログラム製品は、単一の素子 (d

10

20

30

40

50

evice)若しくは計算プラットフォームに存在することができ、又は複数の素子若しくは計算プラットフォームに分散されることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

本書に記述される主題の好適な実施形態は、添付の図面を参照してここで説明される。

本主題は、フーリエ分解 (Fourier decomposition) を用い、位相シフトした信号を直交基底系 (basis set) に投影することにより、FDOCT画像内の複素共役アーチファクトを除去するための方法に関連する。一実施形態において、直角位相投影 (quadrature projection) 処理が用いられる。直角位相投影は、位相シフトした信号をベクトルとして表示することを含む。一般に上記ベクトルは、フーリエ変換される位相シフトした信号の実数成分及び虚数成分から導かれる。これらのベクトルはその後、実数軸及び虚数軸に投影される。直角位相投影処理に付随する1つの重要な特徴は、90度シフト干渉法で誤って調整された位相シフトの影響を受けず、非(non-)90度位相シフト手法での各位相シフトに対する象限位置 (quadrant location) を予め決定することだけを必要とすることである。

10

【0010】

図1は、本主題を実行するのに用いられてよい典型的なOCTシステムを図示する。図1は、前眼部 (ocular anterior segment) の高速、実時間画像化に用いられる典型的な3×3掃引信号源OCT (SSOCT) システムに関連して本主題を記述するが、本書に記述される主題は一般に他のOCT用途に適用してもよく、又は任意の適切な干渉計装置又はシステムで実行されてもよい。

20

【0011】

図1に関し、OCTシステム100は、光源102、半導体光増幅器 (SOA) 104、複数の検出器106_{1...3}、ファイバー結合器108、反射 (reflectance) ミラー110、試料112、1/4(4th) 検出器114、第1の光サーキュレータ120、第2の光サーキュレータ122、及び再較正 (recalibration) 干渉計116を含む。又、OCTシステム100は、処理装置132及びディスプレイユニット136を含んでもよい。

【0012】

光源102は、任意の広帯域の短コヒーレンス長光源 (例えば、複数の波長又はモードを持つ光源)、又は任意の同等の光源機構を含んでもよい。一実施形態において、光源102は波長可変 (tunable) のファブリ・ペロー ファイバーリング掃引 (swept) レーザであってよい。その代わりに、必要に応じて光源102が狭帯域の光源を含んでもよい。光源102に続いてSOA104がある。一実施形態において、SOA104はブースター (booster) 半導体光増幅器を含んでもよい。SOA104によって増幅された後、光源信号は光サーキュレータ120を経由してファイバー結合器108に進む。ファイバー結合器108は、3×3ファイバー結合器又はそれと同等の機構を含んでもよい。一実施形態において、ファイバー結合器108は、光源信号を3つの光路に分割するよう設計され、光ファイバーをベースとするスプリッタである。光サーキュレータ120は、光源102から試料アーム128及び参照アーム126に光をより効率良く送るために用いられる要素である。光サーキュレータ120は、試料から検出器106₁へ戻る後方散乱光の経路 (routing) を補助 (aids) している。一の例示的な実施形態において、ファイバー結合器108からの3つの光路は、試料アーム128、参照アーム126、及び第2の光サーキュレータ122を経由して再較正干渉計116へ導かれる。同様に、ファイバー結合器108は、該結合器の分割比によって決まるインターフェログラム信号に、所定の位相シフトを生じさせるよう構成されてもよい。

30

40

【0013】

試料アーム128において、光源信号は試料112に達すると共に、光の少量がファイバー結合器108に反射して戻る。参照アーム126において、光源信号は移動性の参照ミラー110に達すると共に、光源の信号光の一部がファイバー結合器108に反射して戻る。試料アーム128及び参照アーム126の両方から反射して戻る光線は、その後、参照ミラー110と試料112との経路長によって決まるファイバー結合器108内で (構成的又は破壊的方法のいずれか

50

で)再結合される。試料112から反射され又は後方散乱された光と、参照ミラー110からの光との干渉縞は、試料112内の散乱の位置及び散乱振幅についての情報を含む。

【0014】

反射された光を再結合した後、ファイバー結合器108は光信号を分割し、分割された光(すなわち、検出器信号)を検出器106_{1...3}に供給する。検出器106_{1...3}は、分光計、アレイ検出器、又は複素干渉信号を導くために検出器信号を処理する任意の同等の構成要素を含んでもよい。特に、参照ミラー110が参照アームでの経路長を変更するにつれ、検出器は、反射された光の一連の構成的及び破壊的結合を観測する。特に、一連の光結合は、インターフェログラムを生成するために用いられてよい。検出器106_{1...3}からの検出器信号は、最終的に処理装置132に受信される。一実施形態において、検出器信号は処理装置132に到達する前にフィルターをかけられてもよい。処理装置132は、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、個人用デジタル補助装置(PDA)、及びそれと同等のもののような、任意の処理機構を含んでもよい。特に、処理装置132は、フィルターをかけられた検出器信号から複素インターフェログラム信号を得るために計算を実行するのに関与する。その後、処理装置132は、ディスプレイユニット136に提供される信号出力を生成する。ディスプレイユニット136は、コンピュータモニター、ラップトップ画面、テレビジョン、及びそれと同等のもののような、任意の表示画面を含んでもよい。特に、ディスプレイユニット136は、複素インターフェログラム信号から構成される、複素共役分解(resolved)された画像を表示可能である。

10

20

【0015】

システム100は、複素共役分解されたFDOCT画像を容易に表示するよう構成されてもよい。特に、処理装置132は、以下の方法200を実行するために要求される、いくつかの計算の多いタスク(computation intensive tasks)を実行するのに適していてもよい。一実施形態において、処理装置132は、この目的を達成するためのソフトウェアプログラム、又は任意の他のコンピュータ読取可能な媒体を実行してもよい。

【0016】

図2は、本書に記述される主題の実施形態に従う、実時間、直角位相投影に基づいたフーリエ領域(FD)光コヒーレンス・トモグラフィ(OCT)を実行するための例示的な方法200を図示するフローチャートである。図2に関し、ブロック202で、複数のインターフェログラム信号のそれぞれは、誘発(induced)位相シフトによって分割される。一実施形態において、インターフェログラム信号は、位相シフトするFDOCTシステム内の検出器信号の干渉成分から得られる。検出器信号のインターフェログラム成分は、 $S_n(k) = A_m \cos(2z_m k + \phi_m + \phi_n)$ で表されてよく、ここで、 Z_m, A_m 及び ϕ_m はそれぞれ軸方向距離、反射率、及び解析される試料でのm番目の散乱体(例えば、偏光粒子又は孔)の相対位相を表す。同様に、 ϕ_n は、n番目の位相シフトされた取得物に対して導入される付加的な位相シフトを表す。

30

【0017】

3つの分離したインターフェログラム信号(又はインターフェログラム)、 $S_1(k)$ 、 $S_2(k)$ 、及び $S_3(k)$ が120度の公称(nominal)位相シフトによって分離される仮定を検討する。さらに具体的に言うと、各インターフェログラム信号は、前の信号に関して120度位相シフトされている。例えば、 $S_2(k)$ は $S_1(k)$ に関して120度シフトされ、 $S_3(k)$ は $S_2(k)$ から120度位相シフトされている。図3は、位相シフトされたインターフェログラム信号、 $S_1(k)$ 、 $S_2(k)$ 、及び $S_3(k)$ の例示的説明である。一実施形態において、インターフェログラム信号は、検出器106からの出力として提供される。

40

【0018】

ブロック204で、各インターフェログラム信号のフーリエ変換が行われる。特に、インターフェログラム信号、 $S_1(k)$ 、 $S_2(k)$ 、及び $S_3(k)$ のそれぞれは、フーリエ変換操作を受ける。一実施形態において、それぞれ位相シフトされたインターフェログラム信号のフーリエ変換は、その値がサイン及びコサイン関数の和による、インターフェログラム信号の最小二乗フィット(fit)の係数である複素配列であつてもよい。離散的にサンプルされ

50

たシステムについて、離散フーリエ変換（DFT）、又は高速フーリエ変換（FFT）（試料の数が2のべき乗である場合）が用いられてもよい。インターフェログラム信号が外部の位相シフト（つまり、波長未満に対応する）によってのみ異なるため、各信号のフーリエ変換、

【数1】

$$\hat{S}_n(z) = FT\{s_n(k)\}$$

は同一の深さプロファイル（depth profile）強度を持つ。しかし、図4に示すように、誘発位相シフト ϕ_n により、それぞれ対応する深さにおける位相が異なる。図4は、複素平面における、フーリエ変換され位相シフトしたインターフェログラム信号を图示する。フーリエ変換されたインターフェログラム信号

10

【数2】

$$\hat{S}_n(z)$$

は、角度 $\theta_m + \phi_n$ で深さ分解した量

【数3】

$$\|\hat{S}_n(z_m)\|$$

20

をプロット（plot）することにより複素平面上でベクトル的に（vectorally）表現され、ここで m の可能な値は0から2 までである。本主題に従うインターフェログラムを生成するため、付加的な反射体が用いられてもよいが、図4は目的の明瞭のために単一の反射体についての結果のみを示す。

【0019】

図2に戻り、ブロック206で、誘発位相シフト ϕ_n に伴う全ての深さでの位相を揃えるため、位相 ϕ_n の深さ依存性が除去される。位相シフトしたインターフェログラム信号の直角位相成分を正確に合計するため、2 分布（distribution）を満たす ϕ_n の知見が必要である。各反射体の位相を単純に計算する（account）ため、1つの検出器信号の位相プロファイルは、それぞれ位相シフトした信号から、その位相プロファイルを差引くことにより、1つの位相シフトした信号に対して人為的に（artificially）ゼロに揃えられ、このようにして、ファイバー結合器によって誘導された位相関係が維持される。一実施形態において、このことは第1の変換されたインターフェログラム信号の位相プロファイルを差引くことによって達成されてもよく、第1の変換されたインターフェログラム信号は、変換され位相シフトした信号のそれぞれから、正の実数軸に一致するよう任意に選択される。特に、式

30

【数4】

$$\hat{S}_2'(z) = \|\hat{S}_n(z)\|\exp[\arg(\hat{S}_n(z)) - \arg(\hat{S}_1(z))]$$

が用いられてよい。一例として、第2の変換された信号

40

【数5】

$$\hat{S}_2'(z)$$

の整列（aligning）は、第1の信号の位相プロファイルから第2の信号の位相プロファイルを差引くことにより決定されてもよい（つまり、

【数6】

$$\hat{S}_2'(z) = \|\hat{S}_2(z)\|\exp[\arg(\hat{S}_2(z)) - \arg(\hat{S}_1(z))]$$

）。単一の反射体について、この整列処理（つまり、位相の差引き）の結果が図5にベクトル的に示され、それは、変換された信号

50

【数 7】

$$\hat{s}_1'(z)$$

が正の実数軸に一致し、一方で残りの位相シフトした信号は位相シフト ϕ_n によって導入された角度に強いられていることを示す。特に、シフトしたインターフェログラム信号の間の位相関係が維持される。この位相減算 (subtraction) は、最大で半波長 (たとえば、最大で $\lambda/2$) だけ各散乱体の無視できる軸方向シフトを生じさせ、それは OCT で用いられる実際の光源のコヒーレンス長より非常に小さい。第 1 の変換された検出器信号についての位相が参照 (reference) され、 ϕ_n の知見が必要とされないことに注意されたい。

【0 0 2 0】

10

図 2 に戻り、ブロック 208 で、それぞれ位相参照された信号

【数 8】

$$\hat{s}_n'(z)$$

の直角位相成分が決定される。図 5 の破線矢印に示されるように、このステップは、各ベクトル (それぞれ変換され位相シフトした信号に関連する) の実数軸及び虚数軸への投影を計算することと類似である。一実施形態において、このことは、単に複素数値 (complex valued) 化され変換された信号

【数 9】

$$\hat{s}_n'(z) \text{ (例えば } \hat{s}_1'(z), \hat{s}_2'(z), \text{ 及び } \hat{s}_3'(z))$$

20

を直交座標で表現すると共に、各インターフェログラムについて対応する実数部及び虚数部

【数 10】

$$\hat{s}_n^{RE}(z) = \text{Re}\{\hat{s}_n'(z)\} \text{ 及び } \hat{s}_n^{IM}(z) = \text{Im}\{\hat{s}_n'(z)\}$$

を決定することにより、フーリエ分解によって実行されてもよい。

【0 0 2 1】

図 5 に関し、変換された信号

30

【数 11】

$$\hat{s}_1(z)$$

【数 12】

$$\hat{s}_2(z)$$

【数 13】

$$\hat{s}_3(z)$$

のそれぞれは、直交座標、又は "直角位相成分" に分解される。例えば、

40

【数 12】

$$\hat{s}_2(z)$$

は、直角位相成分

【数 14】

$$\hat{s}_2^{RE}(z) \text{ 及び } \hat{s}_2^{IM}(z)$$

に分解され、

【数 1 3】

$$\hat{S}_3(z)$$

は、

【数 1 5】

$$\hat{S}_3^{RE}(z) \text{ 及び } \hat{S}_3^{IM}(z)$$

に分解される。図 5 に明確に図示されていないが、

【数 1 1】

$$\hat{S}_1(z)$$

は、同様に直角位相成分

【数 1 6】

$$\hat{S}_1^{RE}(z)$$

及び

【数 1 7】

$$\hat{S}_1^{IM}(z)$$

に分解されるが、

【数 1 1】

$$\hat{S}_1(z)$$

が完全に実数軸上（及びそのために、成分

【数 1 6】

$$\hat{S}_1^{RE}(z)$$

に等しい）に位置するため、

【数 1 7】

$$\hat{S}_1^{IM}(z)$$

は値を持たない。

【0 0 2 2】

特に、コサイン及びサイン基底（basis）関数が直交するため、導かれた

【数 1 8】

$$\hat{S}_n^{RE}(z)$$

及び

【数 1 9】

$$\hat{S}_n^{IM}(z)$$

は、誘発位相シフト θ_n に関係なく直角位相にある。さらに具体的に、この操作は、それぞれ正の実数軸及び虚数軸に並ぶコサイン及びサイン基底関数に関し（with）、位相参照

10

20

30

40

50

された信号のフーリエ分解に対応する。これらの分解された信号は、このように正確に90度の差で位相に分離され、このようにして直角位相にあると称される。コサイン及びサイン基底関数を用いてフーリエ分解を選択することは一般的であるが、任意の直交基底関数の組に適合する直角位相投影アルゴリズムの処理に不可欠ではない。又、波数（つまり、波長の逆数）への n の依存性は、投影の直交性に影響を及ぼさない。

【数 1 8】

$$\hat{S}_n^{RE}(z)$$

及び

【数 1 9】

$$\hat{S}_n^{IM}(z)$$

は実数値であり、

【数 1 8】

$$\hat{S}_n^{RE}(z)$$

の深さプロファイルは基準位置に関して対称であり、一方で

【数 1 9】

$$\hat{S}_n^{IM}(z)$$

は非対称である。

【0 0 2 3】

図 2 に関し、ブロック 210 で、変換され位相シフトした信号の直角位相成分が結合される。90 度位相シフト手法と共に用いられる場合、実数軸又は虚数軸に沿った投影のみが保持される。特に、直交成分の非ゼロ値は、誤って較正された位相シフト及び / 又は試料ドリフトの結合を表す。直角位相投影が非 90 度位相シフト手法と共に用いられる場合、実数成分及び虚数成分は同様の振幅を持ち、両者は保持される。どちらの直角位相投影された成分が、 $\hat{S}_n^{RE} = \pm 1$ 及び $\hat{S}_n^{IM} = \pm 1$ を用いて表される軸に対し平行に並ぶか又は軸に対し平行でないかを決定するため、各 n の推定が必要とされる。各 n の符号が n の象限位置にのみ依存するため、直角位相投影アルゴリズムは、実際の誘発位相シフトの較正誤り又はドリフトの影響を受けない。図 6 に示すように、関係

【数 2 0】

$$\hat{S}^{RE}(z) = \sum_n \delta_n^{RE} \hat{S}_n^{RE}, \text{ 及び } \hat{S}^{IM}(z) = \sum_n \delta_n^{IM} \hat{S}_n^{IM}$$

を用い、導かれた実数信号及び虚数信号がこのように決定される。

【0 0 2 4】

図 2 に戻り、任意のブロック 212 で、実数及び虚数の直角位相成分への異なる寄与を計算するため、導かれた直角位相成分

【数 2 1】

$$\hat{S}^{RE}(z)$$

及び

10

20

30

40

【数 2 2】

$$\hat{s}^{IM}(z)$$

が拡大縮小される。特に、導かれた実数及び虚数信号は、それらの各振幅を正規化するためにスケージング (scaling) を必要としてもよい。最適の倍率を決定するため、種々の手法が用いられてもよい。例えば、実数及び虚数ベクトルの合計大きさの割当て (ration) を考慮することにより、正規化スカラー (scalar) が得られる。その代わり、強力な反射体からのあらゆる可能な複素共役アーチファクトを抑制するための最適な倍率を決定するため、手動又はコンピュータによる反復プロセスが用いられてもよい。一実施形態において、

10

【数 2 3】

$$\hat{s}^{IM}$$

に対する

【数 2 4】

$$\hat{s}^{RE}$$

の最大値の比として β を計算することにより、導かれた直角位相成分が互いに対して拡大縮小 (scaled) される。他の実施形態において、拡大縮小 (scaling) 係数 β は、導かれた虚数信号の全エネルギーに対する、導かれた実数信号の全エネルギーの比を表してもよい。特に、 β は、

20

【数 2 5】

$$\beta = \sqrt{\int |\hat{s}^{RE}(z)|^2 dz / \int |\hat{s}^{IM}(z)|^2 dz}$$

として表されてもよい。

30

【0025】

図 2 に戻り、ブロック 214 で、複素共役分解された画像が得られる。一実施形態において、前記複素共役分解された画像 (例えば、A スキャン超音波生体認証 (A-scan ultrasonography and biometry)) は、導かれた実数成分と、拡大縮小された虚数成分とを直接合計する、つまり、

【数 2 6】

$$\hat{s}(z) = \hat{s}^{RE}(z) + \beta \hat{s}^{IM}(z)$$

により得られる。このことは、正及び負の距離の明確な区別を可能とする。図 7 に合計が示され、それは

40

【数 2 1】

$$\hat{s}^{RE}(z)$$

における対称複素共役アーチファクトピークが、

【数 2 2】

$$\hat{s}^{IM}(z)$$

50

における非対称ピークによって相殺されることを示し、それによって全範囲深さプロファイル

【数 2 1】

$$\hat{S}^{RE}(z)$$

を生じさせる（これは複素共役分解された画像を構成するため最終的に用いられてよい）。

【 0 0 2 6 】

本書に記述された直角位相投影処理は、図 1 に示すように、3 × 3 マイケルソン型干渉計のポートから同時に取得された、3 つの非 90 度位相シフトしたインターフェログラムを用いて実証された。光源は、1310nm に中心がある 84nm FWHM の光源バンド幅で、試料において 8mW を超える平均出力 (average power) の条件で、波長可変のファイバー・ペローファイバーリング掃引レーザ（例えば、マイクロンオプティクス (Micron Optics)）であり、ブースター半導体光増幅器（例えば、インフェニックス (InPhenix)）に続いた。光源は、前進及び後進掃引の両方を処理することにより 6.67kHz の有効ライン速度の条件で、3.33kHz の三角波で駆動された。試料アームは、検流計が搭載された走査ミラーを有する特製のスリットランプ (slit lamp) 上に搭載された。"最近接"アルゴリズムを用いてデータチャンネル (data channel) を再サンプリングするため、2 × 2 ファイバー・マイケルソン干渉計からの較正信号が使用された。すべての 4 つのチャンネルは、4 つの光ダイオード検出器 (例えば、ニューフォーカス (New Focus) ; D₁₋₃, モデル 1817, 及び D₄, モデル 1617) から、10MHz (例えば、ナショナルインスツルメンツ (National Instruments) PCI 6115) で同時にデジタル化された。

【 0 0 2 7 】

試料での光強度 (optical power) は、前眼部の画像化のために 3.75mW に低減され、この値は総合感度 (system sensitivity) を測定するために用いられた。複素共役抑制 (suppression) 及び総合感度測定は、試料アームでの -50dB 減衰器について、図 8 に表されている。複素共役分解された A-スキャンは、対称アーチファクトの >30dB 抑制を達成する。図 8 に示されるように、両面の画像深さは 6.6mm であった。再結合損失に帰するピーク総合感度は DC の近くで 103dB と測定され、深さ走査の両端で 8dB だけ減少した。

【 0 0 2 8 】

図 9 は、人間の志願者の前眼部の生体内全深さ画像を図示する。画像は、直角位相投影処理と 3 × 3 SS OCT システムの組合せを用いて得られた。3 × 3 干渉計からの位相シフトしたインターフェログラムが同時に得られたため、試料の移動に起因した複素共役分解された画像の破損は観測されなかった。一実施形態において、画像処理は、C++ プログラム又は任意の他の適切なプログラム言語を実行する標準デスクトップコンピュータ (例えば、インテルペンティアム D 3.2 GHz) によって実行されてよい。最近接再サンプリング及び直角位相投影アルゴリズムは、毎秒 6.7 フレームで、フレーム当たり 800 ラインに対し、1,024 点の A-スキャンで実時間で実行及び表示されてもよい。図 9 において、生成された複素共役分解された画像 901 は、分解されていない画像 902 (フーリエ変換された検出器出力を平均して得られる) に対して比較された。特に、画像 901 は全深さの、生体内で得られた人間の前眼部のアーチファクトの無い画像を実証する。反対に、画像 902 は、複素共役アーチファクトによって改変された人間の前眼部を図示する。

【 0 0 2 9 】

結論として、任意の空間 (spaced) 位相シフトと共に、複素共役分解された FDOCT のための方法が提示される。この方法は、3 × 3 ファイバー結合器を用いて ~120 度位相シフトした干渉法について記述されたが、本主題は一般に、他の位相シフト技術によって得られ誤って較正された位相シフトの補正に適用できる。

【 0 0 3 0 】

本書に記述される主題の範囲を逸脱しない限り、本書に記述される主題の各種の詳細を

変更してよいことは理解されるであろう。さらに、前述の記述は説明を目的としたものに過ぎず、限定を目的としたものではない。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本書に記述された主題の実施形態に従う例示的なOCT干渉法システムを示す図である。

【図2】本書に記述される主題の実施形態に従う、直角位相投影処理を実行するための例示的なプロセスを図示するフローチャートである。

【図3】本書に記述される主題の実施形態に従う、位相シフトされたインターフェログラム信号を示す図である。

【図4】本書に記述される主題の実施形態に従い、複素平面においてベクトルの表現されフーリエ変換された信号を示す図である。

【図5】本書に記述される主題の実施形態に従う、実数軸及び虚数軸へのベクトルの投影を示す図である。

【図6】本書に記述される主題の実施形態に従い、導かれた実数信号及び虚数信号を示す図である。

【図7】本書に記述される主題の実施形態に従い、全範囲深さプロファイルを決するための対称複素共役アーチファクトピークの相殺を示す図である。

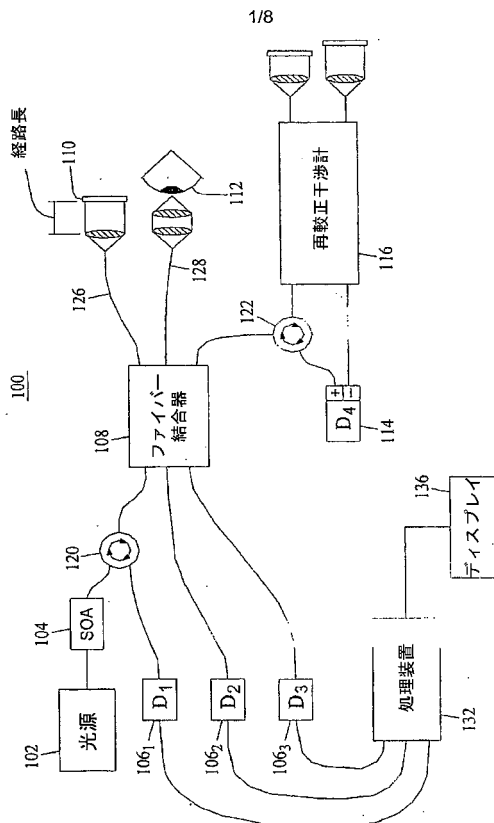
【図8】本書に記述される主題の実施形態に従い、複素共役分解されたA-スキャンを示すチャートである。

【図9】本書に記述される主題の実施形態に従い、前眼部の生体内全深さ画像の対である。

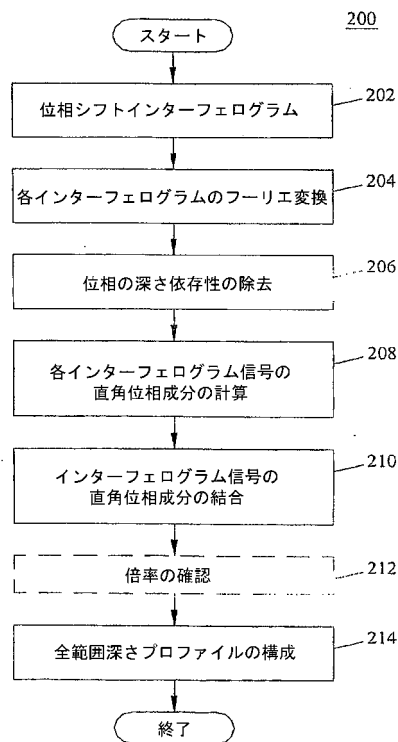
10

20

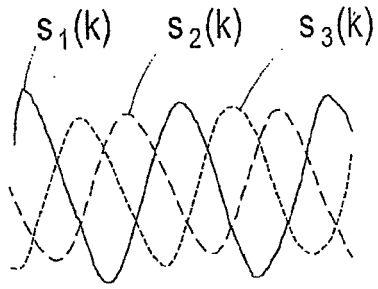
【図1】



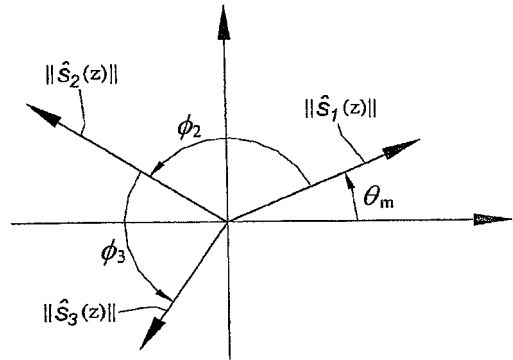
【図2】



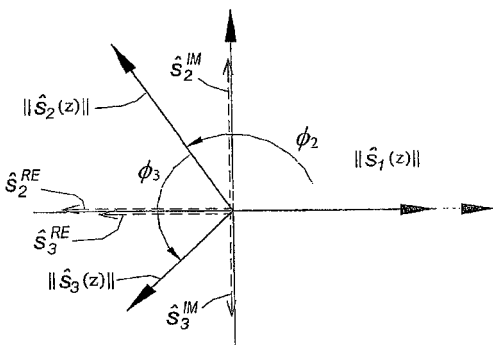
【 図 3 】



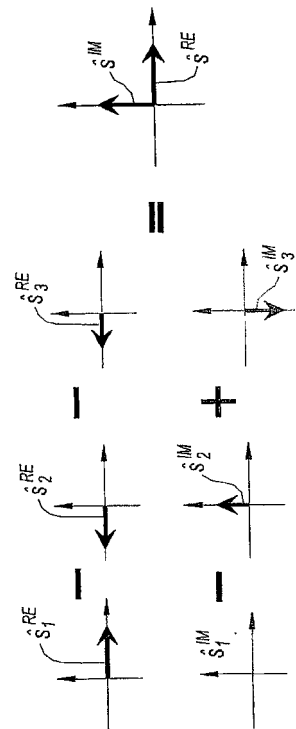
【 図 4 】



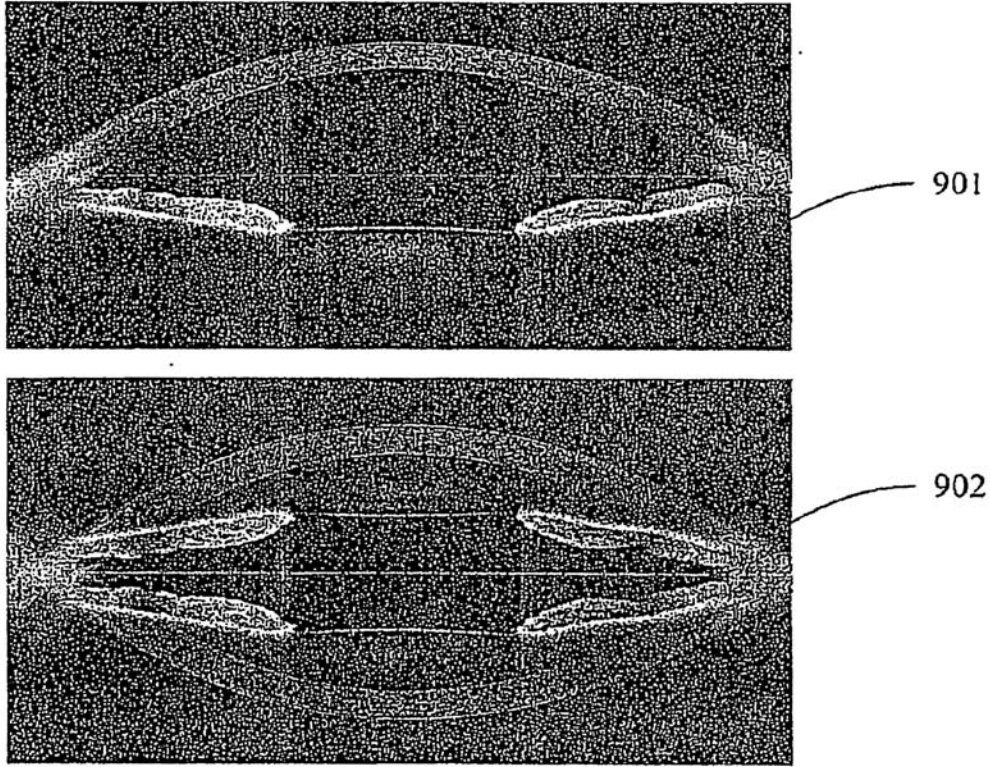
【 図 5 】



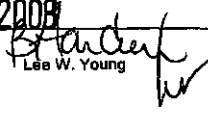
【 図 6 】



【 図 9 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 07/06625
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - G01B 11/02 (2007.10) USPC - 356/497 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) IPC(8): G01B 11/02 (2007.10) USPC: 356/497 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC: 356/450, 477, 479, 482, 485, 496, 497, 619 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PubWEST (USPT, PGPB, EPAB, JPAB); Wiley Interscience; CrossRef; Google; Google Scholar Search Terms: optical coherence tomography frequency fourier transform quadrature real imaginary phase shift interferometry scaling factor coefficient arg energy vector projection complex array		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2004/0239946 A1 (KANE et al.) 02 December 2004 (02.12.2004) entire document, especially para [0025], [0032], [0033], [0046], [0048], [0089], [0090], [0098]	1-33
Y	US 2004/0239943 A1 (IZATT et al.) 02 December 2004 (02.12.2004) entire document, especially para [0056], [0059], [0060]	1-33
Y	US 5,631,969 A (HANSON) 20 May 1997 (20.05.1997) entire document, especially col 3, ln 597col 4, ln 28	1-33
A	US 2005/0280828 A1 (FITZGERALD DE BOER) 22 December 2005 (22.12.2005) entire document	1-33
A	US 2004/0239938 A1 (IZATT) 02 December 2004 (02.12.2004) entire document	1-33
A	US 5,313,268 A (KEOLIAN et al.) 17 May 1994 (17.05.1994) entire document	1-33
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* 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 08 November 2007 (08.11.2007)		Date of mailing of the international search report 14 FEB 2008
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer:  Lee W. Young PCT Helpdesk: 671-272-4300 PCT OSP: 671-272-7774

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, 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, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ブライアン イー アップルゲート

アメリカ合衆国、ノースカロライナ州 27701、ダーラム、ダブル クラブ ビルディング
701

(72)発明者 ジョセフ エー アイザット

アメリカ合衆国、ノースカロライナ州 27615、ローリー、レズリー ドライブ 10505
Fターム(参考) 2G059 AA05 BB12 EE02 EE09 GG01 JJ01 JJ13 JJ17 JJ22 JJ30
KK03 MM01