

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-139890
(P2021-139890A)

(43) 公開日 令和3年9月16日(2021.9.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1J 3/45 (2006.01)	GO1J 3/45	2G020
GO2F 1/39 (2006.01)	GO2F 1/39	2K102

審査請求 有 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2021-25185 (P2021-25185)
 (22) 出願日 令和3年2月19日(2021.2.19)
 (31) 優先権主張番号 20159989.1
 (32) 優先日 令和2年2月28日(2020.2.28)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 500341779
 フラウンホーファー・ゲゼルシャフト・ツ
 ール・フェルデルング・デル・アンゲヴァ
 ンテン・フォルシュング・アインゲトラ
 ゲネル・フェライン
 ドイツ連邦共和国, 80686 ミュンヘ
 ン, ハンザシュトラッセ 27ツェー
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100123652
 弁理士 坂野 博行
 (74) 代理人 100175042
 弁理士 高橋 秀明

最終頁に続く

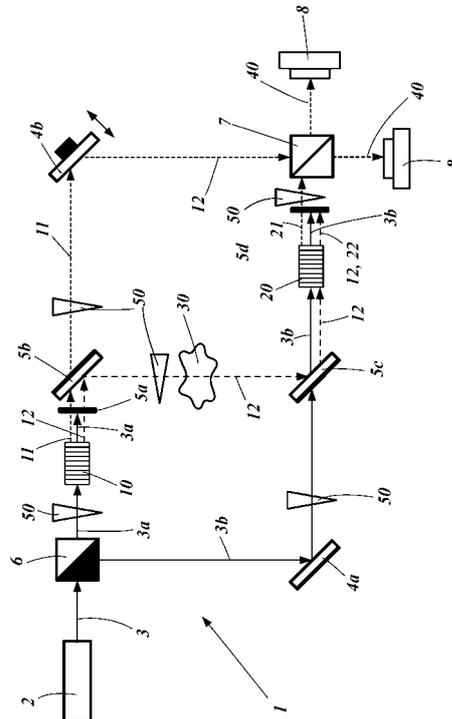
(54) 【発明の名称】 非線形干渉計を用いた画像化または分光法のための方法

(57) 【要約】

【課題】 画像化および/または分光法において、正確で長い測定時間を可能にする。

【解決手段】 第1の信号フィールドと第1のアイドラーフィールドを、第1の非線形媒体のポンピングにより、2つのフィールドが相関するように生成する。対象物を、第1のアイドラーフィールドを用いて照明する。第2の信号フィールドと第2のアイドラーフィールドを、第1の非線形媒体のポンピングにより、2つのフィールドが相関するように生成する。第1と第2のアイドラーフィールドを、2つのフィールドの区別がつかないように結合させ、かつ第1と第2の信号フィールドを、2つのフィールドが干渉するように結合させる。検出手段により、干渉信号フィールドの第1の測定を行う。干渉信号フィールドの1つ以上の追加測定を行う。追加測定毎に、異なる位相シフト がセットアップにおいて生成され、全ての測定が、セットアップの安定時間内で実行される。位相関数 を計算する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画像化および/または分光法のための方法であって、

i) 第 1 の信号フィールド s_1 および第 1 のアイドラーフィールド i_1 を、ポンプビームを用いた第 1 の非線形媒体のポンピングにより、2 つのフィールドが関連するように生成するステップと、

ii) 対象物を、第 1 のアイドラーフィールド i_1 を用いたそれぞれ透過および/または反射により照明するステップと、

iii) 第 2 の信号フィールド s_2 および第 2 のアイドラーフィールド i_2 を、

- ポンプビームを用いた、空間的に分離した第 2 の非線形媒体のポンピングにより、また

- ポンプビームを用いた、前記第 1 の非線形媒体の 2 回目のポンピングにより、2 つのフィールドが関連するように生成するステップと、

iv) 前記第 1 のアイドラーフィールド i_1 および前記第 2 のアイドラーフィールド i_2 を、2 つのフィールドの区別がつかないように結合させ、かつ

前記第 1 の信号フィールド s_1 および前記第 2 の信号フィールド s_2 を、2 つのフィールドが干渉するように結合させるステップと、

v) 検出手段により、干渉信号フィールド $s_{1,2}$ の第 1 の測定を行うステップと、

vi) 前記検出手段により、前記干渉信号フィールド $s_{1,2}$ の 1 つ以上の追加測定を行うステップであって、

ここで、前記ステップ vi) の前記追加測定ごとに、異なる位相シフト ϕ がセットアップにおいて生成され、

ここで、前記ステップ v) の前記第 1 の測定および前記ステップ vi) の前記 1 つ以上の追加測定は、前記セットアップの安定時間内ですべて実行される、ステップと、

vii) 前記対象物の画像および/またはスペクトルを得るために、前記ステップ v) および前記ステップ vi) からの測定値から位相関数 ϕ を計算するステップと、を含む、方法。

【請求項 2】

前記位相シフト ϕ は、

- 前記第 1 の信号フィールド s_1 内、および/または

- 前記第 2 の信号フィールド s_2 内、および/または

- 前記第 1 のアイドラーフィールド i_1 内、および/または

- 前記第 2 のアイドラーフィールド i_2 内、および/または

- 前記第 1 の非線形媒体前方のポンプビーム内、好適には第 1 のポンプビーム内、および/または

- 前記第 2 の非線形媒体前方のポンプビーム内、好適には第 2 のポンプビーム内、および/または

- 前記第 1 の信号フィールド s_1 と前記第 2 の信号フィールド s_2 との間、および/または

- 前記第 1 の信号フィールド s_1 と前記第 1 のアイドラーフィールド i_1 との間、および/または

- 前記第 1 のポンプビームと前記第 2 のポンプビームとの間、および/または

- 前記干渉信号フィールド $s_{1,2}$ 内で形成される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記位相シフト ϕ は、

- 1 つ以上のフィールドのパス長を変更すること、および/または

- 前記第 1 のポンプビームおよび/または前記第 2 のポンプビームの波長を変更することによって、ならびに/または

- 熱効果によって、ならびに/または

- 一方もしくは両方の干渉計アームの光路長の空間変位もしくは変更によって作成される

、請求項 1 または 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記位相シフトは、それぞれピエゾ素子によって可動なミラーの並進および / または光学面の並進および / またはダイクロミックミラーの並進によって、ならびに / またはファイバエキスパンダーによって、ならびに / または平面平行板の傾斜によって、ならびに / または 2 つのビーム、好適には 2 つのポンプビーム間の光周波数差によって、ならびに / または E O M および / または波長板および / または偏光ビームスプリッタおよび / または偏光子による偏光の変化によって、ならびに / または複屈折板の回転もしくは移動によって、導入することができる、請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 5】

前記ステップ v) の前記セットアップの位相は、未知および / または任意である、請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 6】

前記ステップ i) および / または前記ステップ i i i) において、前記信号フィールドおよび前記アイドラーフィールドは、結晶の内部またはその後方の分離手段によって分離されるか、または非線形媒体での信号フィールドおよびアイドラーフィールドの生成のために分離され、それぞれ B B O 結晶でのフィールドの生成のために分離されている、請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 7】

前記ステップ v) および / または前記ステップ v i) において、強め合うおよび弱め合う干渉が、それぞれ、干渉手段、それぞれ 5 0 / 5 0 ビームスプリッタの 2 つの出力アーム後方の第 1 の検出手段および第 2 の検出手段によって測定され、それぞれここでは、前記 5 0 / 5 0 ビームスプリッタは、信号結合手段である、請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 8】

前記ステップ v) および / または前記ステップ v i) において、1 つの検出手段が使用され、ここで測定ごとに位相シフト が生成されるか、または 2 つ以上の検出手段が使用され、ここで追加の検出手段ごとに同じまたは別個の位相シフト が生成される、請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法を提供するように適合化された画像化および / または分光法のための装置。

【請求項 1 0】

画像化および / または分光法のための装置であって、
 ポンプビームを生成するためのポンプ源と、
 前記ポンプビームによりポンピングされる、第 1 の信号フィールド s_1 および第 1 のアイドラーフィールド i_1 を生成する第 1 のフィールド生成手段と、
 前記ポンプビームによりポンピングされる、第 2 の信号フィールド s_2 および第 2 のアイドラーフィールド i_2 を生成する第 2 のフィールド生成手段と、を備え、
 ここで、前記第 1 のフィールド生成手段および前記第 2 のフィールド生成手段は、
 - 前記ポンプビームによりポンピングされる 2 つの空間的に分離された非線形媒体、または
 - 第 1 の信号フィールド s_1 および第 1 のアイドラーフィールド i_1 の生成のために前記ポンプビームにより 1 回目のポンピングがなされかつ第 2 の信号フィールド s_2 および第 2 のアイドラーフィールド i_2 の生成のために 2 回目のポンピングがなされる 1 つの非線形媒体であり、さらに
 前記第 1 のアイドラーフィールド i_1 によるそれぞれ透過または反射によって照明される測定すべき対象物と、
 前記第 1 の信号フィールド s_1 および前記第 2 の信号フィールド s_2 を、2 つのフィールドが干渉するように重ね合わせるための信号結合手段と、

10

20

30

40

50

前記第 1 のアイドラーフィールド i_1 および前記第 2 のアイドラーフィールド i_2 を、2 つのフィールドの区別がつかないように重ね合わせるためのアイドラー結合手段と、干渉信号フィールドの強度および/または位相を検出するための検出手段と、を備える装置において、

移相器が、前記第 1 の信号フィールド s_1 内、および/または前記第 2 の信号フィールド s_2 内、および/または前記ポンプビーム内、および/または区別のつかない第 1 の信号フィールド s_1 および第 2 の信号フィールド s_2 内に配置され、

前記移相器は、前記対象物の画像および/またはスペクトルを得るために、測定中に前記装置内に位相シフトを導入するように適合化されていることを特徴とする、装置。

【請求項 1 1】

10

位相シフトは、それぞれ piezo 素子によって可動な可動ミラーおよび/または可動光学面および/または可動ダイクロイックミラーによって、ならびに/またはファイバエキスパンダーによって、ならびに/または傾斜可能な平面平行板によって、ならびに/または 2 つのビーム、好適には 2 つのポンプビーム間の光周波数差によって、ならびに/または EOM および/または波長板および/または偏光ビームスプリッタおよび/または偏光子による偏光の変化によって、ならびに/または回転可能なもしくは可動の複屈折板によって導入することができる、請求項 1 0 記載の装置。

【請求項 1 2】

分離手段および前記信号結合手段は、マッハツェンダー干渉計構成またはレーザーフィゾー干渉計構成、またはマイケルソン干渉計構成で配置されている、請求項 1 0 記載の装置。

20

【請求項 1 3】

前記位相シフトは、干渉計内で作成される、請求項 1 2 記載の装置。

【請求項 1 4】

前記装置は、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法を提供するように適合化された制御デバイスを含み、前記制御デバイスは、移相器および検出手段に接続されている、請求項 1 0 から 1 3 までのいずれか 1 項記載の装置。

【請求項 1 5】

不揮発性メモリを有するマイクロプロセッサを備えたコンピュータデバイスであって、前記不揮発性メモリは、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法を提供するように適合化された実行可能プログラムを含み、好適には、前記コンピュータデバイスは、制御デバイスである、コンピュータデバイス。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、請求項 1 による非線形干渉計を用いた画像化または分光法のための改善された方法と、請求項 1 0 による画像化または分光法のための改善された装置と、に関する。

【背景技術】

【0002】

非線形干渉計は、同じまたは異なる波長の相関光を検出しながら、特定の波長で未知の対象物、好適には試料をプローブすることを可能にする。公知の非線形干渉法システムでは、最大の強め合いの画像および最大の弱め合いの画像を完全に決定するために、絶対的に適正な干渉計設定を行うことが極めて重要である。これを得るために、干渉計は、各測定前に調整される必要がある。このことは、例えば、セットアップ内に対象物がない状態で、最大に強め合う干渉および/または最大に弱め合う干渉を見つけるべく干渉計の可視性を測定することによって行うことができる。

40

【0003】

干渉計の安定性のドリフトのために、セットアップの安定性は、長い動作時間の間に保証することができなくなり、その結果、干渉の可視性が低下し、測定の精度が低下する。安定性のドリフトは、とりわけ、セットアップにおける熱的变化、コンポーネントの機械

50

的不安定性および/または熱的不安定性によって、さらには潜在的振動によっても発生する可能性がある。既知のシステムでは、比較的長い動作時間の間に、弱め合う干渉および/または強め合う干渉が最大になるようにセットアップを再調整するか、またはフリンジの中心を再調整する必要がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の課題は、より正確であって、より長い測定時間も可能にさせる、非線形干渉計を用いた画像化または分光法のための改善された方法を提供し、さらに、より正確な、画像化または分光法のための改善された、より正確な装置を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明によれば、請求項1による対象物の画像化および/または分光法のための方法が提供されている。

【0006】

本方法は、以下のステップ、

i) 第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 を、ポンプビームを用いた第1の非線形媒体のポンピングにより、2つのフィールドが相関するように生成するステップと、

ii) 対象物を、第1のアイドラーフィールド i_1 を用いたそれぞれ透過および/または反射により照明するステップと、

20

iii) 第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 を、

- ポンプビームを用いた、空間的に分離した第2の非線形媒体のポンピングにより、または

- ポンプビームを用いた、第1の非線形媒体の2回目のポンピングにより、2つのフィールドが相関するように生成するステップと、

iv) 第1のアイドラーフィールド i_1 および第2のアイドラーフィールド i_2 を、2つのフィールドの区別がつかないように結合させ、かつ

第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 を、2つのフィールドが干渉するように結合させるステップと、

30

v) 検出手段により、干渉信号フィールド s_{12} の第1の測定を行うステップと、

vi) 検出手段により、干渉信号フィールド s_{12} の1つ以上の追加測定を行うステップであって、

ここで、ステップ vi) の追加測定ごとに、異なる位相シフト ϕ がセットアップにおいて生成され、

ここで、ステップ v) の第1の測定およびステップ vi) の1つ以上の追加測定は、セットアップの安定時間内ですべて実行される、ステップと、

vii) 対象物の画像および/またはスペクトルを得るために、ステップ v) およびステップ vi) からの測定値から位相関数 γ を計算するステップと、を含む。

40

【0007】

本発明は、請求項10による画像化および/または分光法のための装置をさらに提供する。

【0008】

本装置は、

ポンプビームを生成するためのポンプ源と、

ポンプビームによりポンピングされる、第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 を生成する第1のフィールド生成手段と、

ポンプビームによりポンピングされる、第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 を生成する第2のフィールド生成手段と、を備え、

ここで、第1のフィールド生成手段および第2のフィールド生成手段は、

50

- ポンプビームによりポンピングされる2つの空間的に分離された非線形媒体か、または
 - 第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 の生成のためにポンプビームにより1回目のポンピングがなされかつ第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 の生成のために2回目のポンピングがなされる1つの非線形媒体であり、さらに

第1のアイドラーフィールド i_1 によるそれぞれ透過または反射によって照明される測定すべき対象物と、

第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 を、2つのフィールドが干渉するように重ね合わせるための信号結合手段と、

第1のアイドラーフィールド i_1 および第2のアイドラーフィールド i_2 を、2つのフィールドの区別がつかないように重ね合わせるためのアイドラー結合手段と、

干渉信号フィールドの強度および/または位相を検出するための検出手段と、を備える。

これにより、移相器は、第1の信号フィールド s_1 内、および/または第2の信号フィールド s_2 内、および/またはポンプビーム内、および/または区別のつかない第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 内に配置され、

ここで、移相器は、対象物の画像および/またはスペクトルを得るために、測定中に装置内に位相シフトを導入するように適合化されている。

【0009】

本発明は、既知のシステムに対して、干渉計を調整および/または再調整する必要がない改善された解決手段を提供する。好適には、セットアップ内に対象物がない状態で測定の開始時にセットアップを調整する必要がなく、かつ/または干渉計の安定時間よりも長い測定時間の間システムを再調整する必要はない。本発明の別の利点は、分光法のための干渉縞中心または強め合うもしくは弱め合う干渉のための干渉計設定を見つける必要がないことである。

【0010】

本発明の別の利点は、例えば、強め合う干渉および/または弱め合う干渉のために、測定の開始時の位相を特定値に設定する必要がないことである。本発明の利点として、測定の開始時の干渉計の位相は、未知および/または任意であってよい。

【0011】

本発明の別の利点は、測定精度をさらに改善する必要がある場合、または測定時間をさらに延長する必要がある場合に、ステップ v)およびステップ v_i)の測定を2回、または3回、または4回、またはそれ以上繰り返すことができることである。本発明の利点は、(1回のステップ v)およびステップ v_i)からなる)各測定単位のみが、セットアップの安定時間内に実行されればよいことにある。システムの再調整は、セットアップにおける開始フェーズが未知であってもよいため測定単位間では必要がない。ステップ $v_i i$)の計算のために、複数の測定単位が実行される場合には、測定単位の測定値が合計されてもよい。

【0012】

本発明の1つの原理は、時間変化する強度測定点からあらゆる測定位置での波面位相を計算することである。時間変化する信号が検出され、相対位相がこれらの信号にエンコードされる。フィールド間の位相シフトは、データ収集中に既知のように変化し、位相シフトが計算のために考慮される。

【0013】

好適な方法および/または装置では、第1および/または第2の非線形媒体は、非線形結晶、好適には $ppKTP$ 結晶(周期的に分極されたチタンリン酸カリウム結晶)、好適には BBO 結晶、好適には同じ物理的および光学的特性を有する2つの結晶である。

【0014】

ステップ i)および/またはステップ $i i i$)の好適な方法では、信号フィールドおよびアイドラーフィールドは、結晶の内部またはその後方の分離手段によって分離されるか

10

20

30

40

50

、または非線形媒体での信号フィールドおよびアイドラーフィールドの生成のために分離され、それぞれBBO（ - ホウ酸バリウム）結晶でのフィールドの生成のために分離されている。

【0015】

好適な方法および/または装置では、位相整合条件は、第1の信号フィールド s_1 およびアイドラーフィールド i_1 ならびに/または第2の信号フィールド s_2 およびアイドラーフィールド i_2 の生成において満たされる。

【0016】

好適な方法および/または装置では、第1の非線形媒体の後方において、分離手段が、第1の信号フィールド s_1 およびアイドラーフィールド i_1 を空間的に分離するためにフィールドパス内に配置されている。

10

【0017】

好適な方法および/または装置では、分離手段は、ダイクロイックミラーまたはプリズムまたは回折格子である。

【0018】

好適な方法および/または装置では、ポンプビームは、コヒーレントな光ビームもしくはレーザービームを生成するためのコヒーレントな光源もしくはレーザーを含むポンプ源によって生成されている。

【0019】

好適には、ポンプ源は、ポンプビームまたはそれぞれコヒーレントな光ビームもしくはレーザービームを生成するためのコヒーレントな光源もしくはレーザーを含むことができる。

20

【0020】

好適な方法および/または装置では、ポンプビームは、第1の非線形媒体をポンピングする第1のポンプビームと、第2の非線形媒体をポンピングする第2のポンプビームとに分離され、ここで、この分離は、ポンプビーム分離手段によって、好適には、ビームスプリッタかまたは波長板を備えた偏光ビームスプリッタによって実現される。

【0021】

好適な方法および/または装置では、第1および第2の信号フィールド s_1, s_2 ならびに第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 の生成は、誘導放出を伴うおよび/または伴わない誘導コヒーレンスによって、好適には非線形媒体を低ゲインまたは高ゲインの状況でポンピングすることによって実現される。

30

【0022】

好適な方法および/または装置では、相関信号フィールド s_1, s_2 およびアイドラーフィールド i_1, i_2 は、相関光子ビーム、または相関光子対すなわちそれぞれ絡み合った光子対である。

【0023】

好適な方法および/または装置では、第1の信号フィールド s_1 は、波長 λ_{s_1} を有し、第1のアイドラーフィールド i_1 は、波長 λ_{i_1} を有し、ならびに/またはここで第2の信号フィールド s_2 は、波長 λ_{s_2} を有し、第2のアイドラーフィールドは、波長 λ_{i_2} を有する。好適には、波長 λ_{s_1} は、波長 λ_{s_2} に等しく、ならびに/または波長 λ_{i_1} は、波長 λ_{i_2} に等しい。好適には、波長 λ_{s_1} および波長 λ_{s_2} は、波長 λ_{i_1} および λ_{i_2} とは異なる。これは、測定手段上の測定が異なる波長で実行される間に、特定の波長で対象物をプローブすることを可能にする。

40

【0024】

好適な方法および/または装置では、相関という表現は、好適には、第1の信号フィールド s_1 およびアイドラーフィールド i_1 ならびに/または第2の信号フィールド s_2 およびアイドラーフィールド i_2 が、位相、および/または強度、および/または振幅、および/またはコヒーレンス時間、および/または運動量、および/または空間、および/またはスペクトル特性において相関しているという意味で理解される。

50

【 0 0 2 5 】

好適な方法および/または装置では、第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 は、第1の非線形媒体における2つのフィールドの生成によって関連される。好適には、第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 は、位相、および/または強度、および/または振幅、および/またはコヒーレンス時間、および/または運動量、および/または空間において関連している。

【 0 0 2 6 】

好適な方法および/または装置では、第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 は、第2の非線形媒体における2つのフィールドの生成によって関連される。好適には、第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 は、位相、および/または強度、および/または振幅、および/またはコヒーレンス時間、および/または運動量、および/または空間において関連している。

10

【 0 0 2 7 】

好適な方法および/または装置では、区別がつかないという表現は、好適には、これらのフィールドの区別がつかず、ゆえにそれらは干渉している、好適には、すべての自由度において区別がつかず、ゆえにそれらは干渉しているという意味で理解される。自由度とは、空間的、および/または周波数、および/または偏光、および/またはモードであり得る。

【 0 0 2 8 】

好適な方法および/または装置では、第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 の干渉は、好適には干渉手段上での、好適にはビームスプリッタもしくは偏光ビームスプリッタ上での、第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 の区別がつかないことに起因する。

20

【 0 0 2 9 】

好適な方法および/または装置では、第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 の干渉は、干渉計へのコンポーネントの配置のために発生する。好適には、これらのコンポーネントは、マッハツェンダー干渉計構成またはフィゾー干渉計構成またはマイケルソン干渉計構成で配置される。

【 0 0 3 0 】

好適な方法および/または装置では、第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 は、それぞれ非線形結晶をコヒーレントなポンプビームでポンピングすることによって関連され、かつ/または2つのフィールドの区別がつかないことによって、好適にはそれらはすべての自由度において区別がつかず、ゆえにそれらは干渉する。自由度とは、空間的、および/または周波数、および/または偏光、および/またはモードであり得る。

30

【 0 0 3 1 】

好適な方法および/または装置では、第1および第2の信号フィールド s_1, s_2 は、それぞれ第1および第2の非線形結晶をコヒーレントなポンプビームでポンピングすることによって関連され、かつ/または2つのフィールドの区別がつかないことによって、好適にはそれらはすべての自由度において区別がつかず、ゆえにそれらは干渉する。自由度とは、空間的、および/または周波数、および/または偏光、および/またはモードであり得る。

40

【 0 0 3 2 】

好適な方法および/または装置では、ポンプフィールドおよびアイドラーフィールドの空間的およびスペクトル的コヒーレンスは、第1の信号フィールド s_1 と第2の信号フィールド s_2 との間の一次干渉が観察できる程度である。レーザーのコヒーレンス時間が結晶1と結晶2との間の伝搬時間よりも短い場合、生成されるフィールドの所要コヒーレンスは、ポンプと第1のアイドラーフィールド i_1 との間のパスに光学的遅延を導入することによって達成することができ、付加的に、第1の信号フィールド s_1 と第2の信号フィールド s_2 との間の一次干渉条件が満たされなければならない。ここでは、ポンプとは、好適には、第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 の生成のた

50

めのポンプを意味する。これは、どの結晶でフィールドが生成されるかは未知なはずであることを意味する。これは、例えば、第1の結晶からのアイドラーフィールドを、第2の結晶からのアイドラーフィールドと完全に位置合わせすることによって得ることができる。

【0033】

好適な方法および/または装置では、第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 の干渉により、干渉信号フィールド s_{12} が生成される。

【0034】

好適な方法および/または装置では、第1のアイドラーフィールド i_1 および第2のアイドラーフィールド i_2 の結合は、第2の非線形媒体の内部および/またはその後方で発生し、またはアイドラー結合手段のために発生する。

10

【0035】

好適な方法および/または装置では、第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 の結合は、第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 の空間的重ね合わせにより実現される。好適には、第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 の空間的重ね合わせは、非線形媒体の内部やその後方で、あるいはアイドラー結合手段、それぞれビームスプリッタおよび/またはダイクロイックミラー内のフィールドの空間的重ね合わせによって実現される。

【0036】

好適な方法および/または装置では、第1および第2の信号フィールド s_1, s_2 の結合は、信号結合手段により発生する。

20

【0037】

好適な方法および/または装置では、第1および第2の信号フィールド s_1, s_2 の結合は、第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 の空間的重ね合わせにより実現される。好適には、第1および第2のアイドラーフィールド i_1, i_2 の空間的重ね合わせは、信号結合手段、それぞれビームスプリッタおよび/またはダイクロイックミラーによって実現される。

【0038】

好適な方法および/または装置では、第1および第2の信号フィールド s_1, s_2 の干渉は、それぞれビームスプリッタ、および/または50/50ビームスプリッタ、および/または偏光ビームスプリッタ、および/またはダイクロイックミラーによる信号結合手段内のフィールドの空間的重ね合わせによって実現され、ならびに/または非線形媒体後方のフィールドの空間的重ね合わせによって実現される。

30

【0039】

好適な方法および/または装置では、信号および/またはアイドラー結合手段は、ビームスプリッタ、および/または50/50ビームスプリッタ、および/または偏光ビームスプリッタ、および/またはダイクロイックミラーを含む。

【0040】

好適な方法および/または装置では、ステップ v)およびステップ v_i)の測定は、対象物上または対象物内の特定の点について行われる。

40

【0041】

好適な方法および/または装置では、ステップ v)およびステップ v_i)の測定は、対象物上の移動または異なる測定点のための対象物による追加位相シフトを導入しないために、対象物の移動なしで行われる。

【0042】

好適な方法および/または装置では、位相シフトは、

- 第1の信号フィールド s_1 内、および/または
- 第2の信号フィールド s_2 内、および/または
- 第1のアイドラーフィールド i_1 内、および/または
- 第2のアイドラーフィールド i_2 内、および/または

50

- 第1の非線形媒体前方のポンプビーム内、好適には第1のポンプビーム内、および/または
- 第2の非線形媒体前方のポンプビーム内、好適には第2のポンプビーム内、および/または
- 第1の信号フィールド i_1 と第2の信号フィールド i_2 との間、および/または
- 第1の信号フィールド s_1 と第1のアイドラーフィールド i_1 との間、および/または
- 第1のポンプビームと第2のポンプビームとの間、および/または
- 干渉信号フィールド s_{12} 内で形成される。

【0043】

上記の任意選択事項はすべて同じ結果につながる。また、組み合わせ、すなわちいくつかの任意選択事項の組み合わせも、同じ結果につながる。

10

【0044】

好適な方法および/または装置では、位相シフトは、

- 1つ以上のフィールドのパス長を変更すること、および/または
- 第1および/または第2のポンプビームの波長を変更することによって、ならびに/または
- 熱効果によって、ならびに/または
- 一方もしくは両方の干渉計アームの光路長の空間変位もしくは変更によって作成される。

【0045】

好適な方法および/または装置では、ファイバ内で位相シフトは、

- 熱効果、および/または
- 1つ以上のフィールドのパス長を変更すること、および/または
- 第1および/または第2のポンプビームの波長を変更すること、および/または
- ファイバ内の機械的応力によって作成される。

20

【0046】

ステップ v_i) の好適な方法および/または装置において、異なる位相シフトとは、セットアップにおける、好適には干渉計におけるステップ v) の位相に、位相シフトが追加されることを意味する。

【0047】

好適な方法および/または装置では、ステップ v) の位相、好適にはセットアップの位相、好適にはステップ v) の干渉計の位相は、未知および/または任意である。

30

【0048】

好適な方法および/または装置では、位相シフトは、それぞれピエゾ素子によって可動なミラーの並進および/または光学面の並進および/またはダイクロイックミラーの並進によって、ならびに/またはファイバエキスパンダーによって、ならびに/または平面平行板の傾斜によって、ならびに/または2つのビーム、好適には2つのポンプビーム間の光周波数差によって、ならびに/またはEOMおよび/または波長板および/または偏光ビームスプリッタおよび/または偏光子による偏光の変化によって、ならびに/または平面平行板の傾斜によって、ならびに/または複屈折板の回転もしくは移動によって、導入することができる。

40

【0049】

好適な方法および/または装置では、セットアップの安定時間は、安定時間の間、セットアップの可視性の変化、好適には干渉計の可視性の変化が、0.6 ~ 1の範囲、好適には0.9 ~ 1の範囲、好適には0.95 ~ 1の範囲にあることを意味する。

【0050】

好適な方法および/または装置では、検出手段は、CCDカメラまたはCMOSカメラまたは分光計またはファイバアレイまたはSPADアレイである。

【0051】

好適な方法および/または装置では、検出手段上で検出された干渉信号フィールド s_1

50

s_2 のみが、ステップ v_i の位相関数の計算に使用され、好適には、干渉信号フィールド $s_{1,2}$ を検出する検出手段の検出領域のみが、ステップ v_i の位相関数の計算に使用される。

【0052】

ステップ v) および / またはステップ v_i) の好適な方法、ならびに / または好適な装置では、干渉信号フィールド $s_{1,2}$ の強度および / または位相および / または振幅が測定される。

【0053】

ステップ v) および / またはステップ v_i) の好適な方法、ならびに / または好適な装置では、強め合うおよび弱め合う干渉は、それぞれ、干渉手段、それぞれ 50 / 50 ビームスプリッタの2つの出力アーム後方の第1の検出手段および第2の検出手段によって測定され、それぞれここでは、50 / 50 ビームスプリッタは、信号結合手段である。強め合うおよび弱め合う干渉が、本発明による2つの検出手段を備えた干渉手段の後方で測定される場合、さらに、追加の位相シフト ϕ が、ステップ v_i) のセットアップで生成される。この実施形態の利点は、1つの位相シフト ϕ および強め合うおよび弱め合う干渉の検出によって、4つの測定ステップを行うことができることである。好適には、位相シフト ϕ は、干渉手段の第1の出力アーム上の（例えば強め合う干渉での）測定に追加され、さらに位相シフト ϕ は、干渉手段の第2の出力アーム上の（例えば弱め合う干渉での）測定に追加される。

10

【0054】

ステップ v) および / またはステップ v_i) の好適な方法では、1つの検出手段が使用され、ここで測定ごとに位相シフト ϕ が生成されるか、または2つ以上の検出手段が使用され、ここで追加の検出手段ごとに同じまたは別個の位相シフト ϕ が生成される。

20

【0055】

好適な方法および / または装置では、検出手段は、検出領域を有し、ここで、領域全体が、ステップ v) および / またはステップ v_i) の1つの特定の測定に使用されるか、またはここで領域が、より個別の測定領域に分割され、ここで、個々の測定領域ごとに、別個の位相シフト ϕ が生成される。

【0056】

好適な方法では、ステップ v) およびステップ v_i) の測定は、対象物全体の位相関数 (x, y) の計算のために、対象物の点 x, y ごとに繰り返される。

30

【0057】

対象物の位相関数 $\phi(x, y)$ の計算は、以下のステップの1つに従った計算によって行うことができる。

【0058】

ステップ v) およびステップ v_i) の好適な方法および / または装置では、2つの測定が2つの異なる位相で実行され、これは、1つの位相シフト ϕ が生成されることを意味する。

【0059】

ステップ v) およびステップ v_i) の好適な方法および / または装置では、3つの測定が3つの異なる位相で実行され、これは、2つの位相シフト ϕ が生成されることを意味する。

40

【0060】

ステップ v) およびステップ v_i) の好適な方法および / または装置では、4つの測定が4つの異なる位相で実行され、これは、3つの位相シフト ϕ が生成されることを意味する。

【0061】

ステップ v) およびステップ v_i) の好適な方法および / または装置では、5つの測定が5つの異なる位相で実行され、これは、4つの位相シフト ϕ が生成されることを意味する。

50

【 0 0 6 2 】

ステップ v) およびステップ v i) の好適な方法および / または装置では、6 つの測定が 6 つの異なる位相で実行され、これは 5 つの位相シフト が生成されることを意味する。

【 0 0 6 3 】

ステップ v) およびステップ v i) の好適な方法および / または装置では、2 つの位相シフト が、1 つの位相シフトステップならびにそれぞれ干渉手段の 2 つの出力アーム後方の第 1 の検出手段および第 2 の検出手段による強め合うおよび弱め合う干渉の測定のみで生成される。

【 0 0 6 4 】

好適な方法では、位相関数 (x, y) は、以下の関係式、

【 0 0 6 5 】

【 数 1 】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3},$$

【 0 0 6 6 】

ただし、好適には、

位相 α をそれぞれ $\alpha = 0$ もしくは任意とした干渉信号フィールドの強度 I_1 、

位相シフト β をそれぞれ $\beta = \pi/2$ とした干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_2 、

位相シフト γ をそれぞれ $\gamma = \pi$ とした干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_3 を、

位相シフト δ をそれぞれ $\delta = 3\pi/2$ とした干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_4 、

により、ステップ v) および v i) での測定によって、それぞれステップ v) および v i) での強度測定によって計算される。

【 0 0 6 7 】

好適な方法では、位相関数 (x, y) は、以下の関係式、

【 0 0 6 8 】

【 数 2 】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \left\{ \left[\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right] \frac{I_1 - I_3}{2I_2 - I_1 - I_3} \right\},$$

【 0 0 6 9 】

ただし、好適には、

位相 $\alpha = 0$ もしくは任意での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_2 、

位相シフト $\beta = \pi/2$ での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_1 、

位相シフト $\gamma = \pi$ での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_3 、

により、ステップ v) および v i) での測定によって、それぞれステップ v) および v i) での強度測定によって計算される。

【 0 0 7 0 】

好適な方法では、位相関数 (x, y) は、以下の関係式、

【 0 0 7 1 】

【 数 3 】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \left\{ \frac{I_1 - I_3}{2I_2 - I_1 - I_3} \right\},$$

【 0 0 7 2 】

ただし、好適には、

位相 $\alpha = 0$ もしくは任意での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_2 、

位相シフト $\beta = \pi/2$ とした干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_1 、

10

20

30

40

50

位相シフト ϕ をそれぞれ $\phi = -\pi/4$ とした干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_3 、
により、ステップ v) および v_i) での測定によって、それぞれステップ v) および v_i)
での強度測定によって計算される。

【0073】

好適な方法では、位相関数 $\Phi(x, y)$ は、以下の関係式、

【0074】

【数4】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2},$$

10

【0075】

ただし、好適には

位相 $\phi = \pi/4$ での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_1 、

位相シフト $\phi = 3\pi/4$ での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_2 、

位相シフト $\phi = 5\pi/4$ での干渉信号フィールド s_{12} の強度 I_3 、

により、ステップ v) および v_i) での測定によって、それぞれステップ v) および v_i)
での強度測定によって計算される。

【0076】

好適な方法では、位相関数 $\Phi(x, y)$ は、以下の関係式、

【0077】

【数5】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3},$$

20

【0078】

により、ステップ v) および v_i) での測定によって、それぞれステップ v) および v_i)
での強度測定によって計算される。

【0079】

好適な方法では、ステップ v_i) において、対象物の位相分布は、強度測定の強度パ
ターンによって検索される。

30

【0080】

好適な方法および/または装置では、セットアップは、好適には、ファイバ内ポンプ、
ファイバ内フィールド生成、ファイバ内干渉、およびファイバ内検出を伴うファイバ内セ
ットアップとして設計されてよい。好適には、対象物のために、第1のアイドラーフィ
ールドは、ファイバから第1のアイドラーフィールドを結合する第1のファイバカプラと、
第1のアイドラーフィールドを対象物後方のファイバに結合する第2のファイバカプラと
によって形成される自由空間チャンネル内に配置されている。

【0081】

好適な方法および/または装置では、分離手段および信号結合手段は、マッハツェンダ
ー干渉計構成で配置され、それぞれマッハツェンダー干渉計のビームスプリッタのように
作用する。

40

【0082】

好適な方法および/または装置では、ポンプビーム分離手段および信号結合手段は、マ
ッハツェンダー干渉計構成で配置され、それぞれマッハツェンダー干渉計のビームスプリ
ッタのように作用する。

【0083】

マッハツェンダー干渉計構成での好適な方法および/または装置では、第1のフィ
ールド生成手段は、分離手段の前方およびポンプビーム分離手段の後方に配置されてお
り、ここで、分離手段は、第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 を
分離し、ここで、対象物は、第1のアイドラーフィールド i_1 内に配置され、ここで、第

50

2のフィールド生成手段は、対象物の後方に配置され、ここで、結合手段内で、第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 が干渉する。

【0084】

マッハツェンダー干渉計構成での好適な方法および/または装置では、第1のフィールド生成手段および干渉手段は、マッハツェンダー干渉計構成で配置され、それぞれマッハツェンダー干渉計のビームスプリッタのように作用する。ここで、一方のアームには、第2の生成手段が配置されている。ここで、好適には、第1および第2の生成手段は、BB0結晶である。

【0085】

好適な方法および/または装置では、分離手段および信号結合手段は、レーザーフィゾー干渉計構成で配置されている。

【0086】

好適な方法および/または装置では、分離手段および信号結合手段は、レーザーマイケルソン干渉計構成で配置されている。

【0087】

好適な方法および/または装置では、干渉計は、偏光干渉計であり、好適には、2つの偏光がそれぞれ干渉計の一方のアームに送信される。

【0088】

好適な方法および/または装置では、位相シフトは、干渉計内で作成されている。

【0089】

本発明は、上記の方法のうちの一つを提供するように適合化された画像化および/または分光法のための装置をさらに提供する。

【0090】

本発明は、制御デバイスが移相器および検出手段に接続されている、上記の方法のうちの一つを提供するように適合化された制御デバイスを備えた装置をさらに提供する。

【0091】

本発明はさらに、不揮発性メモリを有するマイクロプロセッサを備えたコンピュータデバイスを提供し、ここで、不揮発性メモリは、上記の方法の一つを提供するように適合化された実行可能プログラムを含み、好適には、ここで、コンピュータデバイスが制御デバイスである。

【0092】

本発明の上記および他の態様、特徴、および利点は、添付の図面と共に解釈するならば、以下の詳細な説明からより明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】マッハツェンダー干渉計のセットアップでの本発明の装置の第1の実施形態を示した図である。

【図2】フィゾー干渉計のセットアップでの本発明の装置の第2の実施形態を示した図である。

【図3】本発明の装置の第3の実施形態を示した図である。

【図4】BB0結晶を有するマッハツェンダー干渉計のセットアップでの本発明の装置の第4の実施形態を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0094】

図1は、マッハツェンダー干渉計構成での本発明の装置の第1の実施形態を示している。ポンプ源2は、ポンプビーム3、好適にはレーザービームを放出する。ポンプビーム3は、ポンプビーム分離手段で分割され、ここでは、ポンプビームスプリッタ6が、ポンプビーム3を2つのコヒーレントなポンプビーム3aおよび3bに分割する。ポンプビームスプリッタ6は、通常のビームスプリッタか、または第1および第2のフィールド生成手段10もしくは20をポンピングするために、ポンプビーム3aもしくは3bのうちの1

10

20

30

40

50

つの偏光を回転させる付加的波長板（図示せず）を備えた偏光ビームスプリッタであり得る。第1および/または第2のポンプビーム3 aおよび3 bの偏光は、第1および第2のフィールド生成手段1 0および2 0のポンピングを可能にする波長板（図示せず）によって回転させることができる。このために、第1のポンプビーム3 aは、第1の生成手段1 0に案内され、第2のポンプビーム3 bは、第1のミラー4 aによって第2の生成手段2 0に案内される。第2のポンプビーム3 bのパスには、第3のダイクロイックミラー5 cが配置され、第2のポンプビーム3 bは、この第3のダイクロイックミラー5 cを通過して走行することが可能である。

【0095】

上記のように、第1の生成手段1 0は、第1のポンプビーム3 aによってポンピングされ、第1の信号フィールド1 1および第1のアイドラーフィールド1 2を生成する。第1のポンプビーム3 aは、第1の生成手段1 0の通過後、第1のダイクロイックミラー5 aによって阻止されるが、ここでは第1の信号フィールド1 1および第1のアイドラーフィールド1 2の通過は可能である。

【0096】

次いで、第1の信号フィールド1 1および第1のアイドラーフィールド1 2は、分離手段で、図1では第2のダイクロイックミラー5 bで分離される。第1の信号フィールド1 1は、第2のダイクロイックミラー5 bを通過して、第2のミラー4 bによって、好適には可動ミラーによってビームスプリッタ7に案内されるように走行する。

【0097】

第1のアイドラーフィールド1 2は、第2のダイクロイックミラー5 bで反射され、透過および/または反射によって対象物3 0と相互作用する。次いで、第1のアイドラーフィールド1 2は、第3のダイクロイックミラー5 cによって第2の生成手段2 0に案内される。

【0098】

第2の生成手段2 0は、第2のポンプビーム3 bによってポンピングされ、第2の信号フィールド2 1および第2のアイドラーフィールド2 2を生成する。第2の生成手段2 0の内部および/またはその後方で、第1のアイドラーフィールド1 2は、第2のアイドラーフィールド2 2と、これらの2つのフィールドの区別がつかないように空間的に重なり合う。第2のポンプビーム3 b、ならびに重なり合う第1および第2のアイドラーフィールド1 2および2 2は、第4のダイクロイックミラー5 dによって阻止されるが、第2の信号フィールド2 1は、ビームスプリッタ7上で透過および案内される。

【0099】

マッシュェンダー干渉計は、ポンプビームスプリッタ6とビームスプリッタ7の間に上方および下方の干渉計アームを備えて作製されている。

【0100】

第1および第2の信号フィールド1 1および2 1は、ビームスプリッタ7上で干渉する。ビームスプリッタ7の両方の出力側には、検出手段、好適には、CCDカメラが、干渉信号フィールド4 0の強度パターンを検出するように配置されている。

【0101】

位相シフト は、1つ以上の位相シフト手段5 0によって生成される。図1には、複数の位相シフト手段5 0が示されているが、画像化および分光法のための装置1には、1つだけでなく複数の位相シフト手段5 0を配置することもできる。図1には、単なる例として、位相シフト手段5 0が複数の場所に示されている。位相シフト手段5 0は、ミラーの並進によって、好適には piezoelectric 素子によって可動である第2のミラー4 bであり得る。位相シフト手段5 0は、ファイバエキスパンダー（ファイバ干渉計セットアップ用）、および/または傾斜面平行板、および/または2つのポンプビーム3 aおよび3 b間に周波数差を導入する光学素子、および/またはEOM（光電変調器）、および/または波長板、および/または偏光ビームスプリッタ、および/または偏光を変化させることによる偏光子、および/またはプレートを傾斜させることによる平面平行板、および/またはプレー

10

20

30

40

50

トを傾斜させることによる複屈折板であってもよい。

【0102】

位相シフト手段50の可能な場所は、第1の信号フィールド $s_1, 11$ 内、および/または第2の信号フィールド $s_2, 21$ 内、および/または第1のアイドラーフィールド $i_1, 12$ 内、および/または第2のアイドラーフィールド $i_2, 22$ 内、および/または、第1のポンプビーム3a内、および/または第2のポンプビーム3b内にある。

【0103】

図2は、フィゾー干渉計構成での本発明の装置の第2の実施形態を示している。ポンプ源2は、ポンプビーム3を放出し、このポンプビーム3は、第1のダイクロイックミラー5aを通過し、生成手段10をポンピングする。ここで、生成手段10は、第1の生成手段10としてこのポンピング方向に作用し、第1の信号フィールド11および第1のアイドラーフィールド12を生成する。

10

【0104】

第1の信号フィールド11およびポンプビーム3は、第2のダイクロイックミラー5bを通過し、第1のミラー4aで、好適には可動の第1のミラー4aで反射される。第1のミラー4aでの反射後、信号フィールド11およびポンプビーム3は、ダイクロイックミラー5bの2回目の通過を行い、生成手段10に案内される。

【0105】

第1のアイドラーフィールド12は、第2のダイクロイックミラー5bで反射され、透過および/または反射によって対象物30と相互作用し、第2のミラー4bにより案内されて第2のダイクロイックミラー5bに戻され、生成手段10に案内される。

20

【0106】

2回目では、この生成手段は、図2の右側からポンプビーム3によってポンピングされ、生成手段10は、このポンプ方向によって第2の生成手段として機能し、第2の信号フィールド21および第2のアイドラーフィールド22を生成する。第1の信号フィールド11および第2の信号フィールド21は、生成手段10の内部およびその後方で、これらの信号フィールドが干渉するように空間的に重なり合う。第1のアイドラーフィールド12および第2のアイドラーフィールド22は、生成手段の内部およびその後方で、これらの第1のアイドラーフィールド12および第2のアイドラーフィールド22のパスの区別がつかないように空間的に重なり合う。干渉信号フィールド40は、第1のダイクロイックミラーで反射され、検出手段によって検出される。

30

【0107】

図1のように、ここでも図2では、複数の位相シフト手段50が示されているが、画像化および分光法のための装置1には、1つだけでなく複数の位相シフト手段50を配置することができる。図2には、単なる例として、位相シフト手段50が複数の場所に示されている。位相シフト手段50は、ミラーの並進によって、好適にはピエゾ素子によって可動である第1のミラー4aであり得る。位相シフト手段50は、(図2には示されていない)ミラーの並進によって、好適にはピエゾ素子によって可動である第2のミラー4bであり得る。位相シフト手段50は、ファイバエキスパンダー(ファイバ干渉計セットアップ用)、および/または傾斜面平行板、および/または2つのポンプビーム3aおよび3bの間に周波数差を導入する光学素子、および/またはEOM(光電変調器)、および/または波長板、および/または偏光ビームスプリッタ、および/または偏光を変化させることによる偏光子、および/またはプレートを傾斜させることによる平面平行板、および/またはプレートを傾斜させることによる複屈折板でもあり得る。

40

【0108】

位相シフト手段50の可能な場所は、第1の信号フィールド $s_1, 11$ 内、および/または第1のアイドラーフィールド $i_1, 12$ 内、および/またはポンプビーム3内にある。

【0109】

図3は、フィゾー干渉計に類似の構成での本発明の装置の第3の実施形態を示している

50

。図 2 との違いは、図 3 では、第 1 のダイクロイックミラー 5 a がビームスプリッタ 7 に置き換えられ、第 1 の信号フィールド 1 1 が、第 2 の信号フィールド 2 1 および第 2 のアイドラーフィールド 2 2 の生成のためのポンピング方向の変更のために生成手段 1 0 の表面で反射されていることにある。第 1 のアイドラービームのみが表面を通過し、対象物と相互作用し、生成手段 1 0 に案内されて戻される。

【 0 1 1 0 】

図 4 は、B B O 結晶を備えたマッハツェンダー干渉計のセットアップにおける本発明の装置の第 4 の実施形態を示している。

【 0 1 1 1 】

ポンプ源 2 は、第 1 および第 2 のポンプビーム 3 a および 3 b に分割されるポンプビーム 3 を放出するが、偏光は、第 1 および第 2 の生成手段 1 0 および 2 0 をポンピングするために波長板（図示せず）によって調整することができる。この実施形態では、第 1 および第 2 の生成手段 1 0 および 2 0 は、B B O 結晶であり、特定の角度の下で、第 1 の生成手段 1 0 では第 1 の信号フィールド 1 1 および第 1 のアイドラーフィールド 1 2 を放出し、第 2 の生成手段 2 0 では第 2 の信号フィールド 2 1 および第 2 のアイドラーフィールド 2 2 を放出する。

10

【 0 1 1 2 】

第 1 のポンプビーム 3 a によってポンピングされた第 1 の生成手段 1 0 は、第 1 の信号フィールド 1 1 および第 1 のアイドラーフィールド 1 2 を生成する。第 1 の信号フィールド 1 1 は、第 1 のミラー 4 a で、好適には可動ミラーで反射され、さらに第 1 の信号フィールド 1 1 はビームスプリッタ 7 に案内される。第 1 のアイドラーフィールド 1 2 は、透過および / または反射によって対象物 3 0 と相互作用し、第 2 の生成手段 2 0 に案内される。

20

【 0 1 1 3 】

第 2 のポンプビーム 3 b によってポンピングされた第 2 の生成手段 2 0 は、第 2 の信号フィールド 2 1 および第 2 のアイドラーフィールド 2 2 を生成する。第 1 および第 2 のアイドラーフィールド 1 2 および 2 2 は、第 2 の生成手段 2 0 の内部およびその後方で、これらの第 1 および第 2 のアイドラーフィールド 1 2 および 2 2 の区別がつかないように空間的に重なり合う。第 2 の信号フィールド 2 1 は、ビームスプリッタ 7 に案内され、当該ビームスプリッタで第 1 の信号フィールド 1 1 と干渉する。ビームスプリッタの両方の出力アーム上には、検出手段 8 が、干渉信号フィールド 4 0 の検出のために配置されている。

30

【 0 1 1 4 】

前述のように、ここでも図 4 では、複数の位相シフト手段 5 0 が示されているが、画像化および分光法のための装置 1 には、1 つだけでなく複数の位相シフト手段 5 0 を配置することができる。図 4 には、単なる例として、位相シフト手段 5 0 が複数の場所に示されている。位相シフト手段は、ミラーの並進によって、好適にはピエゾ素子によって可動である第 1 のミラー 4 a であり得る。位相シフト手段 5 0 は、ファイバエキスパンダー（ファイバ干渉計セットアップ用）、および / または傾斜面平行板、および / または 2 つのポンプビーム 3 a および 3 b の間に周波数差を導入する光学素子、および / または E O M（光電変調器）、および / または波長板、および / または偏光ビームスプリッタ、および / または偏光を変化させることによる偏光子、および / またはプレートを傾斜させることによる平面平行板、および / またはプレートを傾斜させることによる複屈折板でもあり得る。

40

【 0 1 1 5 】

位相シフト手段 5 0 の可能な場所は、第 1 の信号フィールド s_1 , 1 1 内、および / または第 2 の信号フィールド s_2 , 2 1 内、および / または第 1 のアイドラーフィールド i_1 , 1 2 内、および / または第 2 のアイドラーフィールド i_2 , 2 2 内、および / または第 1 のポンプビーム 3 a 内、および / または第 2 のポンプビーム 3 b 内にある。

【 0 1 1 6 】

50

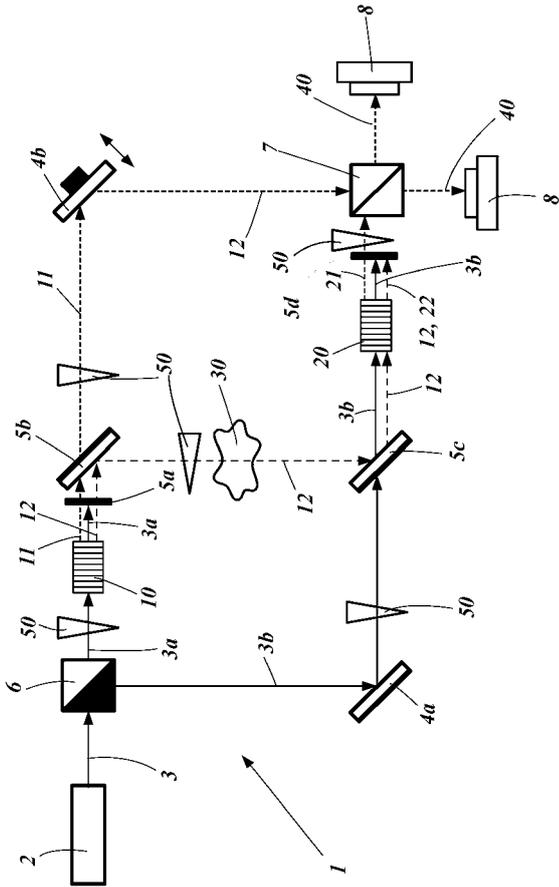
これらの結果につながった研究は、欧州連合によって支援された。この出願につながるプロジェクトは、助成金契約 No 801060 に基づいて欧州連合の Horizon 2020 研究およびイノベーション枠組み計画から資金提供を受けている。

【符号の説明】

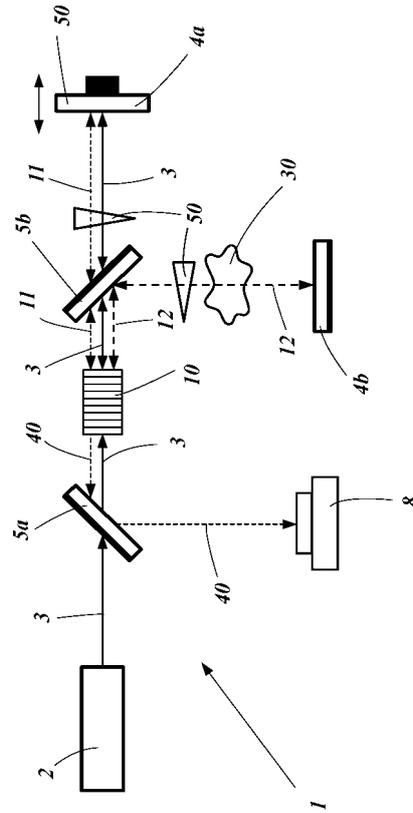
【0117】

1	画像化および分光法のための装置	
2	ポンプ源	
3	ポンプビーム	
3 a	第1のポンプビーム	
3 b	第2のポンプビーム	10
4 a	第1のミラー	
4 b	第2のミラー	
5 a	第1のダイクロイックミラー	
5 b	第2のダイクロイックミラー	
5 c	第3のダイクロイックミラー	
5 d	第4のダイクロイックミラー	
6	ポンプビームスプリッタ	
7	ビームスプリッタ (BS)	
8	検出手段	
10	第1のフィールド生成手段	20
11	第1の信号フィールド	
12	第1のアイドラーフィールド	
20	第2のフィールド生成手段	
21	第2の信号フィールド	
22	第2のアイドラーフィールド	
30	対象物	
40	干渉信号フィールド	
50	移相器	

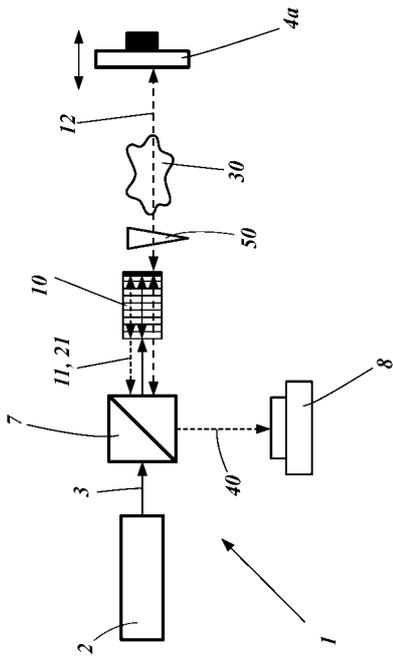
【図 1】



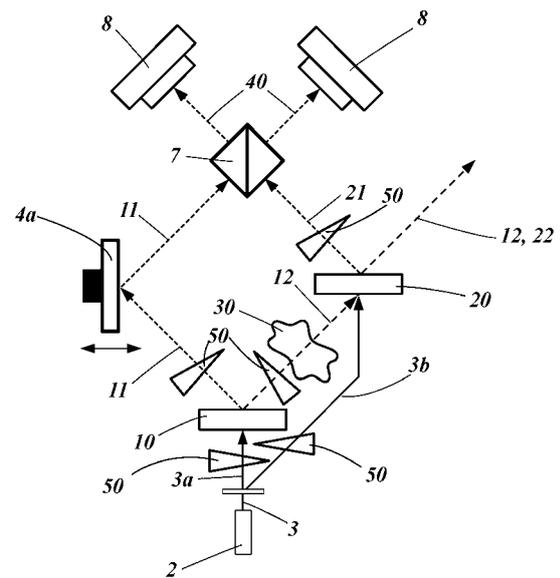
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【手続補正書】

【提出日】令和3年5月27日(2021.5.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0042】

好適な方法および/または装置では、位相シフトは、

- 第1の信号フィールド s_1 内、および/または
- 第2の信号フィールド s_2 内、および/または
- 第1のアイドラーフィールド i_1 内、および/または
- 第2のアイドラーフィールド i_2 内、および/または
- 第1の非線形媒体前方のポンプビーム内、好適には第1のポンプビーム内、および/または
- 第2の非線形媒体前方のポンプビーム内、好適には第2のポンプビーム内、および/または
- 第1の信号フィールド s_1 と第2の信号フィールド s_2 との間、および/または
- 第1の信号フィールド s_1 と第1のアイドラーフィールド i_1 との間、および/または
- 第1のポンプビームと第2のポンプビームとの間、および/または
- 干渉信号フィールド s_{12} 内で形成される。

【手続補正2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

画像化および/または分光法のための方法であって、

- i) 第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 を、ポンプビームを用いた第1の非線形媒体のポンピングにより、2つのフィールドが相関するように生成するステップと、
 - ii) 対象物を、第1のアイドラーフィールド i_1 を用いたそれぞれ透過および/または反射により照明するステップと、
 - iii) 第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 を、
 - ポンプビームを用いた、空間的に分離した第2の非線形媒体のポンピングにより、または
 - ポンプビームを用いた、前記第1の非線形媒体の2回目のポンピングにより、2つのフィールドが相関するように生成するステップと、
 - iv) 前記第1のアイドラーフィールド i_1 および前記第2のアイドラーフィールド i_2 を、2つのフィールドの区別がつかないように結合させ、かつ前記第1の信号フィールド s_1 および前記第2の信号フィールド s_2 を、2つのフィールドが干渉するように結合させるステップと、
 - v) 検出手段により、干渉信号フィールド s_{12} の第1の測定を行うステップと、
 - vi) 前記検出手段により、前記干渉信号フィールド s_{12} の1つ以上の追加測定を行うステップであって、
- ここで、前記ステップvi)の前記追加測定ごとに、異なる位相シフトがセットアップにおいて生成され、
- ここで、前記ステップv)の前記第1の測定および前記ステップvi)の前記1つ以上の

追加測定は、前記セットアップの安定時間内ですべて実行される、ステップと、
 v i i) 前記対象物の画像および / またはスペクトルを得るために、前記ステップ v) および前記ステップ v i) からの測定値から位相関数を計算するステップと、を含む、方法。

【請求項 2】

前記位相シフトは、

- 前記第 1 の信号フィールド s_1 内、および / または
- 前記第 2 の信号フィールド s_2 内、および / または
- 前記第 1 のアイドラフィールド i_1 内、および / または
- 前記第 2 のアイドラフィールド i_2 内、および / または
- 前記第 1 の非線形媒体前方のポンプビーム内、および / または
- 前記第 2 の非線形媒体前方のポンプビーム内、および / または
- 前記第 1 の信号フィールド s_1 と前記第 2 の信号フィールド s_2 との間、および / または
- 前記第 1 の信号フィールド s_1 と前記第 1 のアイドラフィールド i_1 との間、および / または
- 前記第 1 のポンプビームと前記第 2 のポンプビームとの間、および / または
- 前記干渉信号フィールド s_{12} 内で形成される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記位相シフトは、

- 1 つ以上のフィールドのパス長を変更すること、および / または
- 前記第 1 のポンプビームおよび / または前記第 2 のポンプビームの波長を変更することによって、ならびに / または
- 熱効果によって、ならびに / または
- 一方もしくは両方の干渉計アームの光路長の空間変位もしくは変更によって作成される、請求項 1 または 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記位相シフトは、それぞれピエゾ素子によって可動なミラーの並進および / または光学面の並進および / またはダイクロイックミラーの並進によって、ならびに / またはファイバエキスパンダーによって、ならびに / または平面平行板の傾斜によって、ならびに / または 2 つのビーム間の光周波数差によって、ならびに / または EOM および / または波長板および / または偏光ビームスプリッタおよび / または偏光子による偏光の変化によって、ならびに / または複屈折板の回転もしくは移動によって、導入することができる、請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 5】

前記ステップ v) の前記セットアップの位相は、未知および / または任意である、請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 6】

前記ステップ i) および / または前記ステップ i i i) において、前記信号フィールドおよび前記アイドラフィールドは、結晶の内部またはその後方の分離手段によって分離されるか、または非線形媒体での信号フィールドおよびアイドラフィールドの生成のために分離され、それぞれ BBO 結晶でのフィールドの生成のために分離されている、請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 7】

前記ステップ v) および / または前記ステップ v i) において、強め合うおよび弱め合う干渉が、それぞれ、干渉手段、それぞれ 50 / 50 ビームスプリッタの 2 つの出力アーム後方の第 1 の検出手段および第 2 の検出手段によって測定され、それぞれここでは、前記 50 / 50 ビームスプリッタは、信号結合手段である、請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 8】

前記ステップ v) および / または前記ステップ vi) において、1つの検出手段が使用され、ここで測定ごとに位相シフトが生成されるか、または2つ以上の検出手段が使用され、ここで追加の検出手段ごとに同じまたは別個の位相シフトが生成される、請求項1から7までのいずれか1項記載の方法。

【請求項9】

請求項1から8までのいずれか1項記載の方法を提供するように適合化された画像化および / または分光法のための装置。

【請求項10】

画像化および / または分光法のための装置であって、

ポンプビームを生成するためのポンプ源と、

前記ポンプビームによりポンピングされる、第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 を生成する第1のフィールド生成手段と、

前記ポンプビームによりポンピングされる、第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 を生成する第2のフィールド生成手段と、を備え、

ここで、前記第1のフィールド生成手段および前記第2のフィールド生成手段は、

- 前記ポンプビームによりポンピングされる2つの空間的に分離された非線形媒体、または

- 第1の信号フィールド s_1 および第1のアイドラーフィールド i_1 の生成のために前記ポンプビームにより1回目のポンピングがなされかつ第2の信号フィールド s_2 および第2のアイドラーフィールド i_2 の生成のために2回目のポンピングがなされる1つの非線形媒体であり、さらに

前記第1のアイドラーフィールド i_1 によるそれぞれ透過または反射によって照明される測定すべき対象物と、

前記第1の信号フィールド s_1 および前記第2の信号フィールド s_2 を、2つのフィールドが干渉するように重ね合わせるための信号結合手段と、

前記第1のアイドラーフィールド i_1 および前記第2のアイドラーフィールド i_2 を、2つのフィールドの区別がつかないように重ね合わせるためのアイドラー結合手段と、

干渉信号フィールドの強度および / または位相を検出するための検出手段と、を備える装置において、

移相器が、前記第1の信号フィールド s_1 内、および / または前記第2の信号フィールド s_2 内、および / または前記ポンプビーム内、および / または区別のつかない第1の信号フィールド s_1 および第2の信号フィールド s_2 内に配置され、

前記移相器は、前記対象物の画像および / またはスペクトルを得るために、測定中に前記装置内に位相シフトを導入するように適合化されていることを特徴とする、装置。

【請求項11】

位相シフトは、それぞれピエゾ素子によって可動な可動ミラーおよび / または可動光学面および / または可動ダイクロイックミラーによって、ならびに / またはファイバエキスパンダーによって、ならびに / または傾斜可能な平面平行板によって、ならびに / または2つのビーム間の光周波数差によって、ならびに / またはEOMおよび / または波長板および / または偏光ビームスプリッタおよび / または偏光子による偏光の変化によって、ならびに / または回転可能なもしくは可動の複屈折板によって導入することができる、請求項10記載の装置。

【請求項12】

分離手段および前記信号結合手段は、マッハツェンダー干渉計構成またはレーザーフィゾー干渉計構成、またはマイケルソン干渉計構成で配置されている、請求項10記載の装置。

【請求項13】

前記位相シフトは、干渉計内で作成される、請求項12記載の装置。

【請求項14】

前記装置は、請求項1から8までのいずれか1項記載の方法を提供するように適合化さ

れた制御デバイスを含み、前記制御デバイスは、移相器および検出手段に接続されている、請求項 10 から 13 までのいずれか 1 項記載の装置。

【請求項 15】

不揮発性メモリを有するマイクロプロセッサを備えたコンピュータデバイスであって、前記不揮発性メモリは、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法を提供するように適合化された実行可能プログラムを含む、コンピュータデバイス。

フロントページの続き

(72)発明者 ファビアン シュタインレヒナー
ドイツ連邦共和国 0 7 7 4 5 イェーナ ラインホルト - ヘルツァー - シュトラッセ 5

(72)発明者 マルタ ギラベルテ パセツト
ドイツ連邦共和国 0 7 7 4 9 イェーナ アム シュタインボルン 2

(72)発明者 マルクス グラーフェ
ドイツ連邦共和国 0 7 7 4 5 イェーナ レオ - ザクセ - シュトラッセ 3 6 アー

Fターム(参考) 2G020 CA12 CB05 CB23 CC22 CC24 CC29 CC30 CC47 CC56 CC63
CC65 CD15 CD16 CD24 CD36
2K102 AA06 BA18 BB02 BC01 BD09 CA00 DA01 DA10 DA20 DB04
DD06 DD10 EB02 EB06 EB22 EB26

【外国語明細書】

2021139890000001.pdf