

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02013/161282

発行日 平成27年12月21日 (2015.12.21)

(43) 国際公開日 平成25年10月31日 (2013.10.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1J 11/00 (2006.01)	GO1J 11/00	2G065
GO1J 9/02 (2006.01)	GO1J 9/02	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

出願番号 特願2014-512361 (P2014-512361)	(71) 出願人 504261077
(21) 国際出願番号 PCT/JP2013/002735	大学共同利用機関法人自然科学研究機構
(22) 国際出願日 平成25年4月23日 (2013.4.23)	東京都三鷹市大沢二丁目21番1号
(31) 優先権主張番号 特願2012-101276 (P2012-101276)	(74) 代理人 100081776
(32) 優先日 平成24年4月26日 (2012.4.26)	弁理士 大川 宏
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	(72) 発明者 藤 貴夫
	愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38 大学
	共同利用機関法人自然科学研究機構 分子
	科学研究所内
	(72) 発明者 野村 雄高
	愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38 大学
	共同利用機関法人自然科学研究機構 分子
	科学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光パルスの強度と位相を測定する装置及び方法

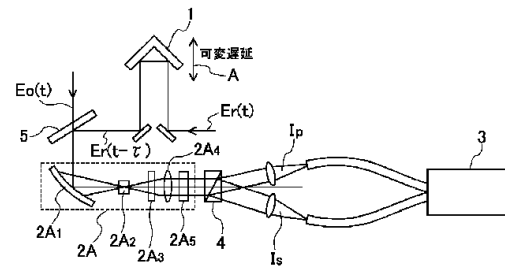
(57) 【要約】

任意の時間幅をもつ光パルスの分光強度及び分光位相の絶対値を測定する方法及び装置を提供すること。

光遅延手段で遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ参照光パルスと電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスとを非線形混合して次式 ($\chi^{(2)}$ は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 $\chi^{(2)}$ はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。) で表される信号光パルスを作る非線形混合手段と、

$E_r(t - \tau) + E_r(t - \tau) E_0(t)$
 前記信号光パルスを分光して次式 (F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部 (Real part) を表す記号である。) で表されるフーリエ変換信号を出力するイメージング分光装置と、を有し、
 $| F [E_r(t - \tau)] |^2 + | F [E_r(t - \tau) E_0(t)] |^2$
 $+ 2R \{ F [E_r(t - \tau)] \}^* \cdot F [E_r(t - \tau) E_0(t)] \}$

前記フーリエ変換信号の第2項の信号 (周波数分解光ゲート信号) と前記フーリエ変換信号の第3項の信号 (電



A Variable delay

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ をもつ参照光パルスとの時間遅延を変更する光遅延手段と、

前記光遅延手段で遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式 (\otimes は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 α はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。) で表される信号光パルスを作る非線形混合手段と、

$$E_r(t - \tau) + \alpha E_r(t - \tau) \otimes E_0(t)$$

前記信号光パルスを分光して次式 (F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部 (Real part) を表す記号である。) で表されるフーリエ変換信号を出力するイメージング分光装置と、

$$|F[E_r(t - \tau)]|^2 + |F[E_r(t - \tau) \otimes E_0(t)]|^2 + 2R\{F[E_r(t - \tau)]\}^* \cdot F[E_r(t - \tau) \otimes E_0(t)]\}$$

を有し、

前記フーリエ変換信号の第 2 項の信号 (周波数分解光ゲート信号) と前記フーリエ変換信号の第 3 項の信号 (電気光学サンプリング信号) から前記被計測光パルスの強度と位相を求めることを特徴とする光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項 2】

前記非線形混合手段は、 4 光波差周波混合手段、 3 光波差周波混合手段或いは和周波混合手段を含む請求項 1 に記載の光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項 3】

前記 4 光波差周波混合手段は、非線形光学気体と非線形光学結晶をカスケードに備える請求項 2 に記載の光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項 4】

前記和周波混合手段は、和周波混合光と前記参照光パルスとを合波する合波手段を備える請求項 2 に記載の光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項 5】

時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ もつ参照光パルスとの時間遅延を変更する光遅延ステップと、

前記光遅延ステップで遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式 (\otimes は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 α はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。) で表される信号光パルスを作る非線形混合ステップと、

$$E_r(t - \tau) + \alpha E_r(t - \tau) \otimes E_0(t)$$

前記信号光パルスをイメージング分光装置に入力して次式 (F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部 (Real part) を表す記号である。) で表されるフーリエ変換信号を出力するフーリエ変換ステップと、

$$|F[E_r(t - \tau)]|^2 + |F[E_r(t - \tau) \otimes E_0(t)]|^2 + 2R\{F[E_r(t - \tau)]\}^* \cdot F[E_r(t - \tau) \otimes E_0(t)]\}$$

前記フーリエ変換信号の第 2 項の信号 (周波数分解光ゲート信号) から前記被計測光パルスの強度と位相を求めるステップと、

前記フーリエ変換信号の第 3 項の信号 (電気光学サンプリング信号) から前記被計測光パルスの強度と位相を求めるステップと、

を有することを特徴とする光パルスの強度と位相を測定する方法。

【請求項 6】

前記周波数分解光ゲート信号から得られた位相を、前記電気光学サンプリング信号から得られた位相にシフトさせるステップを有する請求項 5 に記載の光パルスの強度と位相を測定する方法。

【請求項 7】

10

20

30

40

50

前記非線形混合ステップは、4光波差周波混合ステップ、3光波差周波混合ステップ或いは和周波混合ステップを含む請求項5又は6に記載の光パルスの強度と位相を測定する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、任意の時間幅をもつ光パルスの分光強度と分光位相を測定する装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

パルス時間幅がピコ秒以上の光パルスの場合、オシロスコープで電場振幅波形を直接測定することができる。しかし、パルス時間幅がピコ秒未満になるとオシロスコープでは測定することができない。

【0003】

自己相関器では、超短光パルスが二つの同じパルスに分割される。その二つのパルスが非線形結晶に同時に入射されて第2高調波光が発生される。第2高調波光の強度が二つのパルスの間の遅延時間の関数として測定される。これが強度相関をもたらす。しかし、この強度相関法では光パルスの位相を求めることができない。

【0004】

超短光パルスの分光強度と分光位相を測定する方法として、電気光学サンプリング(EOS)法が知られている(例えば、非特許文献1参照。)。このEOS法は、電場 $E_0(t)$ をもつ被測定光パルスと時間遅延制御された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつプローブ光パルスとをEO(電気光学)結晶に入力して、電場 $E_0(t)$ をもつ被測定光パルスでEO結晶内に誘起される複屈折によるプローブ光パルスの偏光回転量を測定するものである。すなわち、EOS法は、 $E_r(t - \tau)$ のプローブ光パルスと $E_0(t)$ の被測定光パルスで変調された $E_r(t - \tau)E_0(t)$ の変調光との干渉を測定するものである。

【0005】

また、超短光パルスの分光強度と分光位相を測定する周波数分解光ゲート(FROG)法が最近開発された(例えば、特許文献1参照。)。このFROG法は、電場 $E_0(t)$ をもつ被測定光パルスと時間遅延制御された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ参照光パルスとを非線形媒質に入射させて、非線形媒質に誘導回折格子を形成し、非線形媒質に入射された被測定光 $E_0(t)$ を参照光 $E_r(t - \tau)$ により回折させ、回折されたパルス光を分光装置で分光して、被測定光の強度と位相を求めるものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許5754292号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Q.Wu, X.C.Zhang, "Free-space electrooptic sampling of terahertz beams", Appl. Phys. Lett. Vol. 67, pp3523-3525(1995)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記した従来のEOS法は、被測定光パルスの中心周波数の周期より十分短い光パルスをプローブ光として使用すると、被測定光パルスの電場 $E_0(t)$ についてのすべての情報(分光強度、分光位相)を求めることができる。分光位相の絶対値も求めることができる。しかし、そのためには被測定光パルスの中心周波数の周期より十分短い光パルスをプローブ光として使用する必要があり、被測定光パルスが超短光パルスの場合、電場情報を求めることができない。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

一方、F R O G法は、参照光パルスの時間幅が被測定光パルスの時間幅より長くても分光強度と分光位相を求めることができる。しかし、求まる分光位相は相対値であり、キャリア・エンベロープ・フェーズ（CEP）の絶対値を求めることができない（S.T.Cundiff, "Phase stabilization of ultrashort optical pulses" J.Phys.D35,pp43-59(2002)参照。）。

【 0 0 1 0 】

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、任意の時間幅をもつ光パルスの分光強度及び分光位相の絶対値を測定する装置及び方法を提供することを課題としている。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

F R O G法とE O S法は上記のように一長一短がある。そこで、発明者らはF R O G法とE O S法とを組み合わせる方法を創出した。

【 0 0 1 2 】

上記の課題を解決するためになされた本発明の光パルスの強度と位相を測定する装置は、時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ をもつ参照光パルスとの時間遅延を変更する光遅延手段と、前記光遅延手段で遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式（は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 η はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。）で表される信号光パルスを作る非線形混合手段と、

20

$E_r(t - \tau) + E_r(t - \tau) \cdot E_0(t)$
前記信号光パルスを分光して次式（ F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部（Real part）を表す記号である。）で表されるフーリエ変換信号を出力するイメージング分光装置と、

$$|F[E_r(t - \tau)]|^2 + |F[E_r(t - \tau) \cdot E_0(t)]|^2 + 2R\{F[E_r(t - \tau)]^* \cdot F[E_r(t - \tau) \cdot E_0(t)]\} \quad (1)$$

を有し、前記フーリエ変換信号の第2項の信号（周波数分解光ゲート（F R O G）信号）と前記フーリエ変換信号の第3項の信号（電気光学サンプリング（E O S）信号）から前記被計測光パルスの強度と位相を求めることを特徴とする。

30

【 0 0 1 3 】

F R O G信号から得られた位相を、E O S信号から得られた位相に合わせることで位相の絶対値を求めることができる。任意の時間幅をもつ光パルスの強度と位相を測定することができる。

【 0 0 1 4 】

上記の光パルスの強度と位相を測定する装置において、前記非線形混合手段は、4光波差周波混合手段、3光波差周波混合手段或いは和周波混合手段を含むものとすることができる。

【 0 0 1 5 】

また、前記4光波差周波混合手段は、非線形光学気体と非線形光学結晶をカスケードに備えるものとすることができる。

40

【 0 0 1 6 】

また、前記和周波混合手段は、和周波混合光と前記参照光パルスとを合波する合波手段を備えるものとすることができる。

【 0 0 1 7 】

上記の課題を解決するためになされた本発明の光パルスの強度と位相を測定する方法は、時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ をもつ参照光パルスとの時間遅延を変更する光遅延ステップと、前記光遅延ステップで遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式で表される信号光パルスを作る非線形混合ステップと、

50

$$E_r(t - \tau) + E_r(t - \tau) - E_0(t)$$

前記信号光パルスを入力して式(1)で表されるフーリエ変換信号を出力するフーリエ変換ステップと、前記フーリエ変換信号の第2項の信号(周波数分解光ゲート(FROG)信号)から前記被計測光パルスの強度と位相を求めるステップと、前記フーリエ変換信号の第3項の信号(電気光学サンプリング(EOS)信号)から前記被計測光パルスの強度と位相を求めるステップと、を有することを特徴とする。

【0018】

上記の光パルスの強度と位相を測定する方法において、前記周波数分解光ゲート信号から得られた位相を、前記電気光学サンプリング信号から得られた位相にシフトさせるステップを有するとよい。

10

【0019】

周波数分解光ゲート信号から得られた位相を、電気光学サンプリング信号から得られた位相にシフトさせるので、位相の絶対値を求めることができる。

【0020】

また、前記非線形混合ステップは、4光波差周波混合ステップを含んでもよい。

【0021】

混合された信号光パルスは互いに直交する二つの偏光成分に分割されて分光されるので、FROG信号とEOS信号とを同時に分離して得ることができる。

【0022】

また、前記非線形混合ステップは、4光波差周波混合ステップの代わりに、3光波差周波混合ステップ或いは和周波混合ステップを含んでもよい。

20

【発明の効果】

【0023】

FROG信号から得られた位相を、EOS信号から得られた位相に合わせることで、位相の絶対値が求まる。任意の時間幅をもつ光パルスの強度と位相を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】光パルスの強度と位相を測定する装置のブロック図である。

【図2】4光波差周波混合手段の光学系を示す図である。

【図3】参照光パルスの第2高調波と被計測光パルスを干渉させる非線形混合手段の光学系を示す図である。

30

【図4】実施例に係る光パルスの強度と位相を測定する装置の概略図である。

【図5】式(6)に式(7)を加算して得られるXFROG信号をスペクトル表示した図である。

【図6】式(6)から式(7)を減算して得られるEOS信号をスペクトル表示した図である。

【図7】図5のスペクトルデータからXFROG信号回復アルゴリズムを使って求めた全周波数領域の位相スペクトル(分光強度と分光位相)である。

【図8】図6のスペクトルデータを波長で積分して求めた低周波における位相の時間変化(電場振幅時間波形)である。

40

【図9】図8の時間変化をフーリエ変換して求めた低周波における位相スペクトル(分光強度と分光位相)である。

【図10A】図7に示す位相スペクトルに図9の分光位相()を重ねて示した図である。

【図10B】図10Aに実線で示す位相スペクトルを矢印B方向に平行移動させて示す分光位相スペクトルと一致させた図である。

【図11】図10Bの位相スペクトルを逆フーリエ変換して求めた被計測光パルスの電場振幅時間波形である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

50

従来のEOS法の原理は、参照光パルス $E_r(t)$ と被計測光パルス $E_0(t)$ の非線形混合信号と、参照光パルス $E_r(t)$ との干渉信号を、参照光パルス $E_r(t)$ と被計測光パルス $E_0(t)$ の間の遅延時間を掃引して測定するものである。前記非線形相互作用が(3光波)和周波混合である場合、EOS法で測定される信号は、以下のように記載される。

【0026】

$$|E_r(t-\tau) + E_r(t-\tau)E_0(t)|^2 = |E_r(t-\tau)|^2 + |E_r(t-\tau)E_0(t)|^2 + 2R\{E_r(t-\tau)E_r^*(t-\tau)E_0(t)\} \quad (2)$$

ここで、 τ は時間平均を示し、 R は(3光波)和周波混合の非線形感受率に比例する係数である。 R は実数部(Real part)を表す記号である。

【0027】

式(2)の右辺第1項は、参照光パルスからのdc寄与である。第2項は、被計測光パルスと参照光パルスの直交相関信号強度である。第2項を分光したものは、直交相関FROG信号(XFROG)に相当する(S.Linden,H.Giessen,J.Kuhl,"XFROG-a new method for amplitude and phase characterization of weak ultrashort pulses," Phys. Status solidi B Vol.206, pp119-124(1998)参照)。第3項は、干渉項、すなわちEOS信号である。 $E_r(t-\tau)E_r^*(t-\tau) = I_r(t-\tau)$ をデルタ関数とすると、第3項は被計測光パルスの電場の情報を完全に与える $E_0(t)$ になる。さもないと、第3項は $I_r(t)$ のフーリエ変換で光学的にフィルターされる。

【0028】

XFROGとEOS、すなわち式(2)の右辺第2項と第3項を同時に測定できれば、EOSで得られるCEPの絶対値をXFROGで解析されるパルスのCEPの決定に使用することができる。

【0029】

本実施形態の光パルスの強度と位相を測定する装置のブロック図を図1に示す。参照光パルス $E_r(t)$ は光遅延手段1でだけ遅延されて、被測定光パルス $E_0(t)$ と参照光パルス $E_r(t-\tau)$ は非線形混合手段2で非線形混合されて式(3)で表される信号光パルス強度 $I_s(t)$ になる。

【0030】

$$I_s(t) = |E_r(t-\tau) + E_r(t-\tau)E_0(t)|^2 \quad (3)$$

信号光パルス強度 $I_s(t)$ はイメージング分光装置3に入力され、式(1)で表されるフーリエ変換信号が得られる。

【0031】

式(1)の第2項は式(2)の右辺第2項(XFROG)に相当し、式(1)の第3項は式(2)の右辺第3項(EOS)に相当するので、式(1)の第3項で得られる位相の絶対値で式(1)の右辺第2項で得られる位相を補正することができる。

【0032】

非線形混合手段2としては、図2に示すような4光波差周波混合手段を用いることができる。集光光学系2A₁で、参照光パルス $E_r(t-\tau)$ と被計測光パルス $E_0(t)$ とがアルゴンガス2A₂に集光されると、3次の非線形光学効果が誘起され、アルゴンを通して4光波差周波数混合(FWM)信号、 $E_r^2(t-\tau)E_0^*(t)$ が出力される。アルゴンガス2A₂への集光直後に非線形光学結晶2A₃が配置されると、参照光パルス $E_r(t-\tau)$ の第2高調波 $E_r^2(t-\tau)$ が発生される。

【0033】

この第2高調波 $E_r^2(t-\tau)$ の偏光は、FWM信号 $E_r^2(t-\tau)E_0^*(t)$ の偏光と直交しているので、1/4波長板2A₅で両者は混合される。

【0034】

混合された信号光パルスは、ウォラストンプリズム4で2つの信号光(p偏光の信号光

10

20

30

40

50

と s 偏光の信号光) に分離される。2つの信号光の強度 (p 偏光の信号光強度 I_p と s 偏光の信号光強度 I_s) は、

【数 1】

$$I_p = |E_r^2(t-\tau)|^2 + |\alpha E_r^2(t-\tau)E_0^*(t)|^2 - 2\Re\{i\alpha E_r^2(t-\tau)E_r^{*2}(t-\tau)E_0(t)\} \quad (4)$$

【数 2】

$$I_s = |E_r^2(t-\tau)|^2 + |\alpha E_r^2(t-\tau)E_0^*(t)|^2 + 2\Re\{i\alpha E_r^2(t-\tau)E_r^{*2}(t-\tau)E_0(t)\} \quad (5)$$

となる。

10

【0035】

(3)式と(4)~(5)式を比較することで、非線形混合の演算子が4光波差周波混合の場合、(3)式が(4)~(5)式になるように演算する記号であることがわかる。

【0036】

これら2つの信号光をイメージ分光装置3で分光してフーリエ変換することで、被計測光パルス $E_0(t)$ の分光強度と分光位相を求めることができる。

【0037】

非線形混合手段2を、図3に示すように、参照光パルス $E_r(t-)$ と被計測光パルス $E_0(t)$ との和周波混合 $E_r(t-)$ $E_0(t)$ を参照光パルス $E_r(t-)$ と干渉させる非線形混合手段2Bとすることもできる。被計測光パルス $E_0(t)$ と参照光パルス $E_r(t-)$ がレンズ2B₁で非線形光学結晶2B₂に集光されると、光軸方向に参照光パルス $E_r(t-)$ と被計測光パルス $E_0(t)$ の和周波混合光 $E_r(t-)$ $E_0(t)$ が出力される。和周波混合光 $E_r(t-)$ $E_0(t)$ がミラー2B₃で折り曲げられて合波器2B₄で参照光パルス $E_r(t-)$ と合波される。すると2つの光は干渉し、式(2)で表される干渉信号光が出力される。

20

【実施例】

【0038】

図4に、実施例に係る光パルスの分光強度と分光位相を測定する装置の概略を示す。実施形態の測定装置と同じ構成要素には同一の符号を付し説明を省略する。

30

【0039】

1は参照光パルス $E_r(t)$ の遅延時間を制御する遅延時間制御手段である。コーナミラーをサーボモータ等(不図示)で矢印A方向に移動させることで、光路長を変えて遅延時間を制御することができる。

【0040】

5は、被計測光パルス $E_0(t)$ と参照光パルス $E_r(t-)$ を合波する穴あきミラーである。2A₁は焦点距離が150mmの軸外し放物面鏡である。2A₃は厚さ50μmのBaB₂O₄結晶(タイプ1、 $\theta = 29^\circ$)である。

【0041】

Tiサファイア増幅器出力の基本波と第2高調波から、アルゴン中でのフィラメンテーションを通しての4光波混合を使って、位相が安定した準単サイクルパルスが作られた。作られた中赤外パルス(パルス幅12fs、パルスエネルギー250nJ、波長~5μm)を、被計測光パルス $E_0(t)$ とした。

40

【0042】

一方、被計測光パルス $E_0(t)$ を作る基になった基本波パルスの少量(パルス幅25fs、パルスエネルギー2μJ、波長0.8μm)を参照光パルス $E_r(t)$ とした。

【0043】

被計測光パルス($E_0(t)$ 、250nJ、12fs)と遅延時間をもつ基本波パルス($E_r(t-)$ 、2μJ、25fs)が穴あきミラー5で合波された。合波されたビームが放物面鏡2A₁でアルゴン2A₂中に集光され、4光波差周波数混合(FWM)信号

50

$E_r^2(t - \tau) E_0^*(t)$ が発生された。

【 0 0 4 4 】

一方、基本波パルスである参照光パルス $E_r(t - \tau)$ が BBO 結晶 $2A_3$ に入射されるので基本波パルスの第 2 高調波 $E_r^2(t - \tau)$ が発生される。

【 0 0 4 5 】

第 2 高調波 $E_r^2(t - \tau)$ の偏光は、FWM 信号 $E_r^2(t - \tau) E_0^*(t)$ の偏光と直交しているため、 $1/4$ 波長板 $2A_5$ で両者は混合され、式 (2) で表される信号光パルスになる。

【 0 0 4 6 】

混合された信号光パルスは、ウォラストンプリズム 4 によって式 (4)、式 (5) で表される 2 つの信号光の強度 (p 偏光の信号光強度 I_p と s 偏光の信号光強度 I_s) に分離される。なお、ウォラストンプリズム 4 を、ロッシュンプリズムにしてもよい。

【 0 0 4 7 】

2 つの信号光が 2 チャンネルのイメージング分光装置 3 に入力されると、式 (1) で表されるフーリエ変換 (スペクトル) 信号が得られる。本実施例の場合、式 (1) は以下に示すスペクトル信号 SS_1 、 SS_2 となる。

【 0 0 4 8 】

【 数 3 】

$$SS_1 = |\mathcal{F}[E_r^2(t - \tau)]|^2 + |\mathcal{F}[\alpha E_r^2(t - \tau) E_0^*(t)]|^2 - 2\Re\{i\alpha \mathcal{F}[E_r^2(t - \tau)] \cdot (\mathcal{F}[E_r^2(t - \tau) E_0^*(t)])^*\} \quad (6)$$

【 数 4 】

$$SS_2 = |\mathcal{F}[E_r^2(t - \tau)]|^2 + |\mathcal{F}[\alpha E_r^2(t - \tau) E_0^*(t)]|^2 + 2\Re\{i\alpha \mathcal{F}[E_r^2(t - \tau)] \cdot (\mathcal{F}[E_r^2(t - \tau) E_0^*(t)])^*\} \quad (7)$$

【 0 0 4 9 】

上記二つのスペクトル信号 SS_1 、 SS_2 からバックグラウンドとしての第 1 項を除去して、二つのスペクトル信号 SS_1 、 SS_2 を加算すると、第 2 項が残り XFROG 信号になる。二つのスペクトル信号 SS_1 、 SS_2 の差分をとると、第 3 項が残り EOS 信号になる。

【 0 0 5 0 】

図 5 は加算して得られる XFROG 信号をスペクトル表示したものであり、図 6 は減算して得られる EOS 信号をスペクトル表示したものである。

【 0 0 5 1 】

図 7 は図 5 のスペクトルデータから XFROG 信号回復アルゴリズム (米国、フェムトソフト社) を使って求めた全周波数領域の位相スペクトル (分光強度と分光位相) である。

【 0 0 5 2 】

図 8 は図 6 のスペクトルデータを波長で積分して求めた低周波における位相の時間変化 (電場振幅時間波形) である。

【 0 0 5 3 】

図 9 は図 8 の時間変化をフーリエ変換して求めた低周波における位相スペクトル (分光強度と分光位相) である。

【 0 0 5 4 】

図 10 A は図 7 に示す位相スペクトルに図 9 の分光位相 () を重ねて示した図である。図 10 A に示すように、実線で示す位相スペクトルを矢印 B 方向に平行移動させて図 10 B のように () で示す位相スペクトルと一致させると、これ (図 10 B の分光位相) が求める被計測光パルスの分光位相になる。

【 0 0 5 5 】

図 10 B の位相スペクトルを逆フーリエ変換すると図 11 に示す被計測光パルスの電場振幅時間波形が求まる。

10

20

30

40

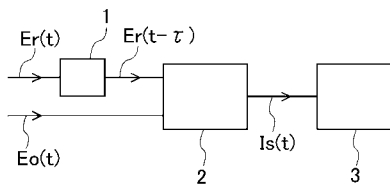
50

【符号の説明】

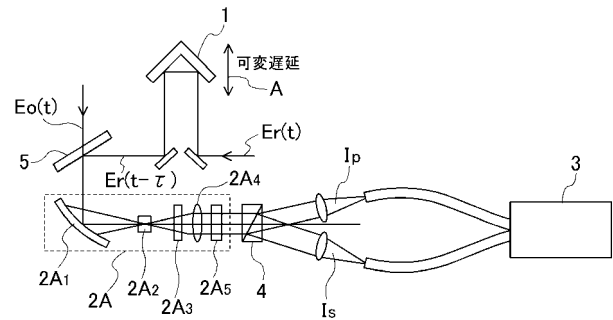
【 0 0 5 6 】

- 1 光遅延手段
- 2、2 A、2 B 非線形混合手段
- 3 イメージング分光装置

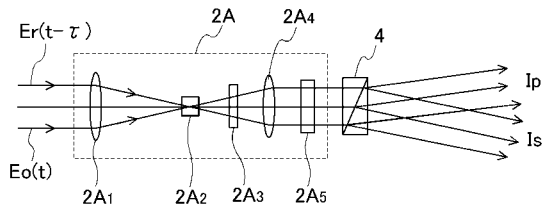
【 図 1 】



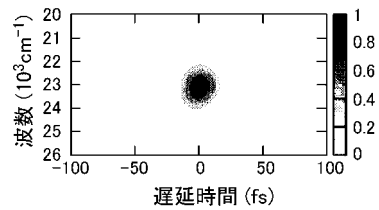
【 図 4 】



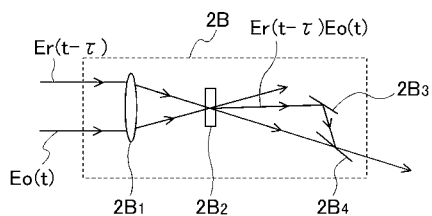
【 図 2 】



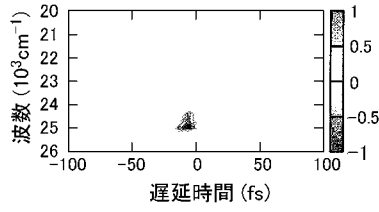
【 図 5 】



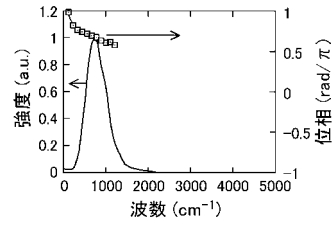
【 図 3 】



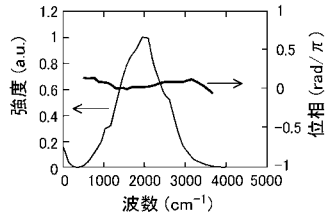
【 図 6 】



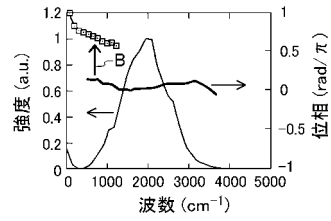
【 図 9 】



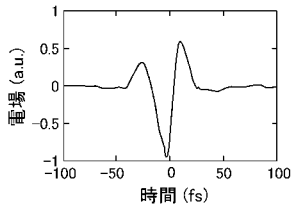
【 図 7 】



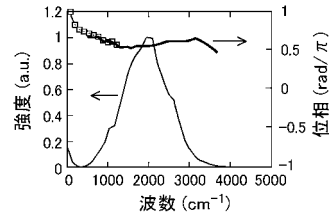
【 図 10 A 】



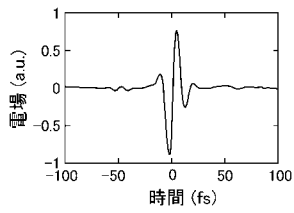
【 図 8 】



【 図 10 B 】



【 図 11 】



【手続補正書】

【提出日】平成26年11月18日(2014.11.18)

【手続補正1】

【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】

時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ をもつ参照光パルスとの時間遅延 τ を変更する光遅延手段と、

前記光遅延手段で遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式 (χ は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 χ はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。) で表される信号光パルスを作る非線形混合手段と、

$$E_r(t - \tau) + E_r(t - \tau) E_0(t)$$

前記信号光パルスを分光して次式 (F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部 (Real part) を表す記号である。) で表されるフーリエ変換信号を出力するイメージング分光装置と、

$$|F[E_r(t - \tau)]|^2 + |F[E_r(t - \tau) E_0(t)]|^2 + 2R\{F[E_r(t - \tau)]^* \cdot F[E_r(t - \tau) E_0(t)]\}$$

を有し、

前記フーリエ変換信号の第2項の信号 (周波数分解光ゲート信号) と前記フーリエ変換信号の第3項の信号 (電気光学サンプリング信号) から前記被計測光パルスの強度と位相を求めることを特徴とする光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項2】

前記非線形混合手段は、4光波差周波混合手段、3光波差周波混合手段或いは和周波混合手段を含む請求項1に記載の光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項3】

前記4光波差周波混合手段は、非線形光学気体と非線形光学結晶をカスケードに備える請求項2に記載の光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項4】

前記和周波混合手段は、和周波混合光と前記参照光パルスとを合波する合波手段を備える請求項2に記載の光パルスの強度と位相の測定装置。

【請求項5】

時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ もつ参照光パルスとの時間遅延 τ を変更する光遅延ステップと、

前記光遅延ステップで遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式 (χ は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 χ はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。) で表される信号光パルスを作る非線形混合ステップと、

$$E_r(t - \tau) + E_r(t - \tau) E_0(t)$$

前記信号光パルスをイメージング分光装置に入力して次式 (F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部 (Real part) を表す記号である。) で表されるフーリエ変換信号を出力するフーリエ変換ステップと、

$$|F[E_r(t - \tau)]|^2 + |F[E_r(t - \tau) E_0(t)]|^2 + 2R\{F[E_r(t - \tau)]^* \cdot F[E_r(t - \tau) E_0(t)]\}$$

前記フーリエ変換信号の第2項の信号 (周波数分解光ゲート信号) から前記被計測光パルスの強度と位相を求めるステップと、

前記フーリエ変換信号の第3項の信号 (電気光学サンプリング信号)

から前記被計測光パルスの強度と位相を求めるステップと、
を有することを特徴とする光パルスの強度と位相を測定する方法。

【請求項 6】

前記周波数分解光ゲート信号から得られた位相を、前記電気光学サンプリング信号から得られた位相にシフトさせるステップを有する請求項 5 に記載の光パルスの強度と位相を測定する方法。

【請求項 7】

前記非線形混合ステップは、4 光波差周波混合ステップ、3 光波差周波混合ステップ或いは和周波混合ステップを含む請求項 5 又は 6 に記載の光パルスの強度と位相を測定する方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0012】

上記の課題を解決するためになされた本発明の光パルスの強度と位相を測定する装置は、時間 t と共に変化する電場 $E_0(t)$ をもつ被計測光パルスと電場 $E_r(t)$ をもつ参照光パルスとの時間遅延 τ を変更する光遅延手段と、前記光遅延手段で遅延された電場 $E_r(t - \tau)$ をもつ前記参照光パルスと前記被計測光パルスとを非線形混合して次式（ α は一般的な非線形混合を表す演算子であり、 β はその非線形混合における非線形感受率に比例する係数である。）で表される信号光パルスを作る非線形混合手段と、

$E_r(t - \tau) + \alpha E_r(t - \tau) \beta E_0(t)$

前記信号光パルスを分光して次式（ F はフーリエ変換を表す記号である。 $*$ は複素共役を表す。 R は実数部 (Real part) を表す記号である。）で表されるフーリエ変換信号を出力するイメージング分光装置と、

$$|F[E_r(t - \tau)]|^2 + |F[E_r(t - \tau) \beta E_0(t)]|^2 + 2R\{F[E_r(t - \tau)]^* \cdot F[E_r(t - \tau) \beta E_0(t)]\} \quad (1)$$

を有し、前記フーリエ変換信号の第 2 項の信号（周波数分解光ゲート (FROG) 信号）と前記フーリエ変換信号の第 3 項の信号（電気光学サンプリング (EOS) 信号）から前記被計測光パルスの強度と位相を求めることを特徴とする。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2013/002735
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01J11/00(2006.01)i, G01J9/00(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) G01J11/00, G01J9/00-9/04 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 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), IEEE Xplore		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	Takao Fuji, Yutaka Nomura, Hideto Shirai, Noriaki Tsurumachi, "Frequency-resolved optical gating with electro-optic sampling", [online], EPJ Web of Conferences, 2013.03.13, [retrieval date 25 July 2013 (25.07.2013)], <URL:http://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2013/02/epjconf_up2012_12001.pdf>	1-7
A	US 5754292 A (The Regents of the University of California), 19 May 1998 (19.05.1998), 3rd to 4th columns; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-7
A	WU Q, ZHANG X-C, "Free-space electro-optic sampling of terahertz beams.", Appl Phys Lett, 1995.12.11, Vol.67 No.24, Page.3523-3525	1-7
<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 25 July, 2013 (25.07.13)		Date of mailing of the international search report 06 August, 2013 (06.08.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer Telephone No.
Facsimile No.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/002735

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CUNDIFF S T, "Phase stabilization of ultrashort optical pulses.", J Phys D, 2002.04.21, Vol.35 No.8, Page.R43-R59	1-7
A	JP 2000-514549 A (Rensselaer Polytechnic Institute), 31 October 2000 (31.10.2000), claim 1; fig. 1 & US 5952818 A & EP 902896 A & WO 1997/045747 A1	1-7

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2013/002735	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01J11/00(2006.01)i, G01J9/00(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. G01J11/00, G01J9/00-9/04			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013年			
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), IEEE Xplore			
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	
P, X	Takao Fuji, Yutaka Nomura, Hideto Shirai, Noriaki Tsurumachi, "Frequency-resolved optical gating with electro-optic sampling", [online], EPJ Web of Conferences, 2013.03.13, [検索日 2013.07.25], <URL:http://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2013/02/epjconf_up2012_12001.pdf>	1-7	
A	US 5754292 A (The Regents of the University of California) 1998.05.19, 第3-4欄, 第1-3図 (ファミリーなし)	1-7	
<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 25.07.2013	国際調査報告の発送日 06.08.2013		
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 森口 正治	2W	4842
	電話番号 03-3581-1101 内線 3292		

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2013/002735

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WU Q, ZHANG X - C, "Free-space electro-optic sampling of terahertz beams." , Appl Phys Lett, 1995.12.11, Vol.67 No.24, Page.3523-3525	1-7
A	CUNDIFF ST, "Phase stabilization of ultrashort optical pulses." , J Phys D, 2002.04.21, Vol.35 No.8, Page.R43-R59	1-7
A	JP 2000-514549 A (レンセレー ポリテクニク インスティテュート) 2000.10.31. [請求項 1]. 第 1 図 & US 5952818 A & EP 902896 A & WO 1997/045747 A1	1-7

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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

Fターム(参考) 2G065 AA12 AB14 AB26 AB30 BB10 BB14 BB28 BB32 BB36 BC13
BC35

【要約の続き】

気光学サンプリング信号) から前記被計測光パルスの強度と位相を求めることを特徴とする。

(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。